Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

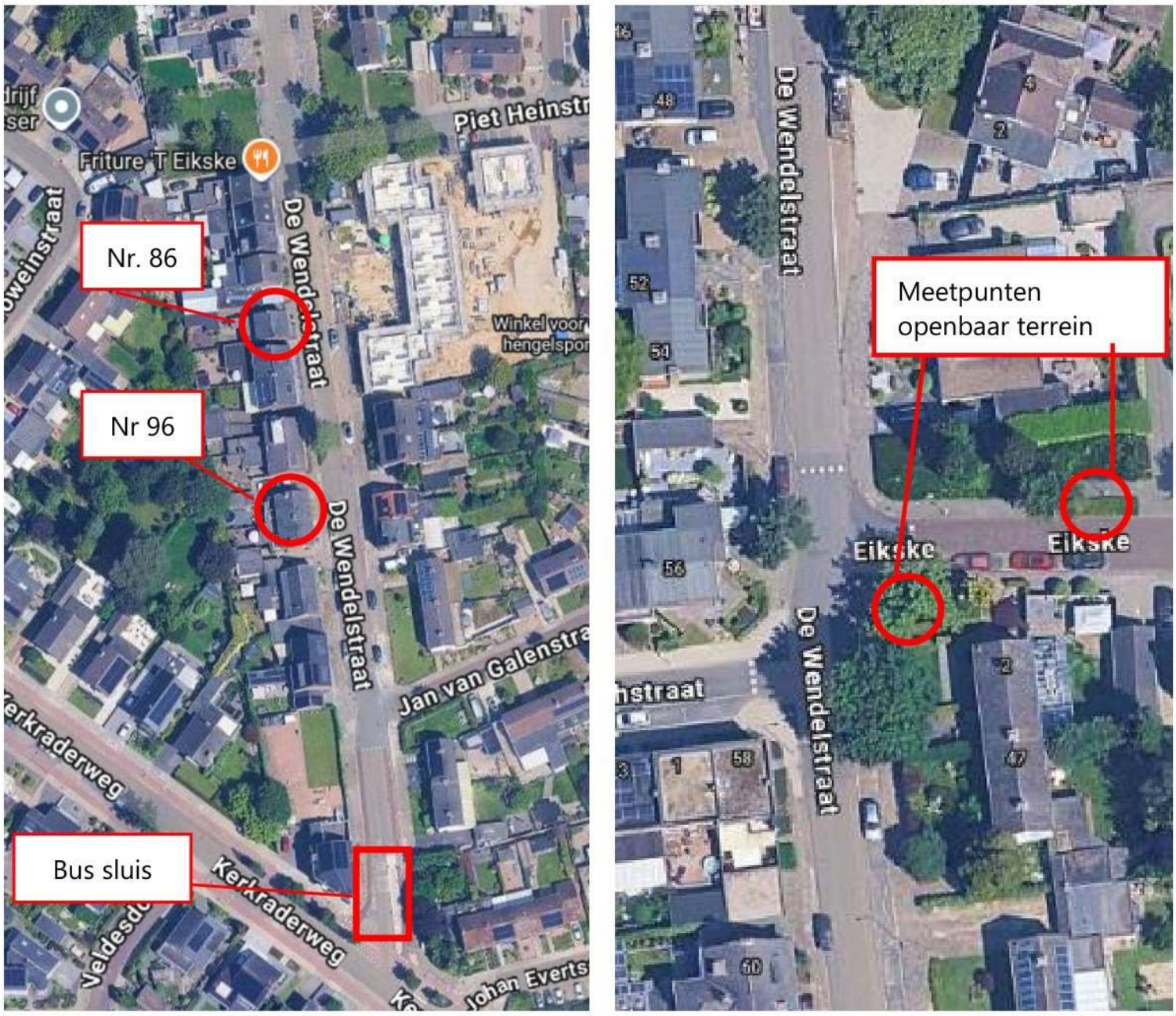
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

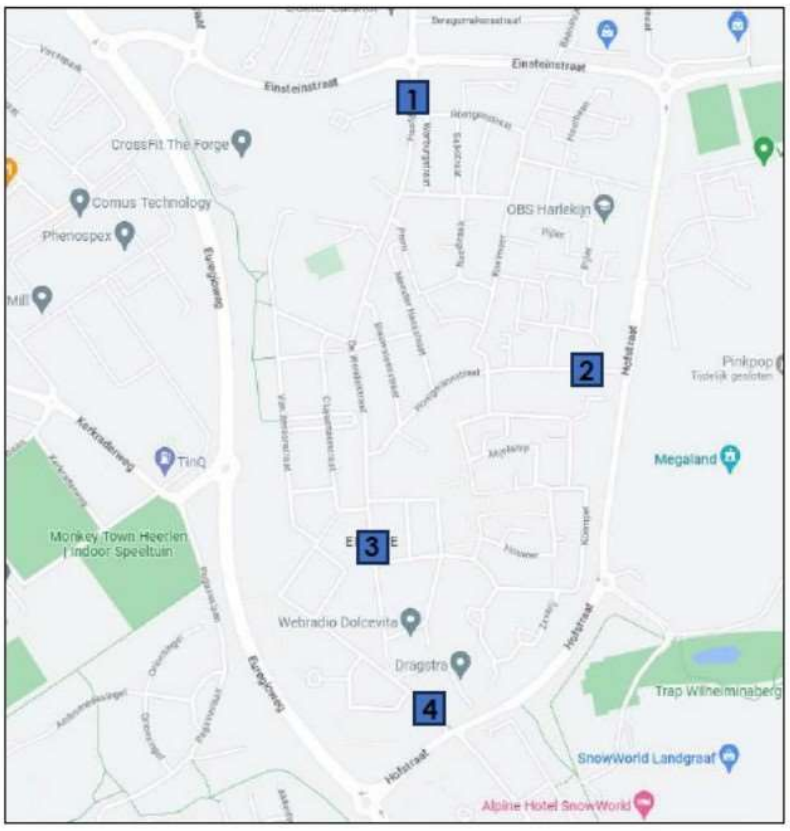
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

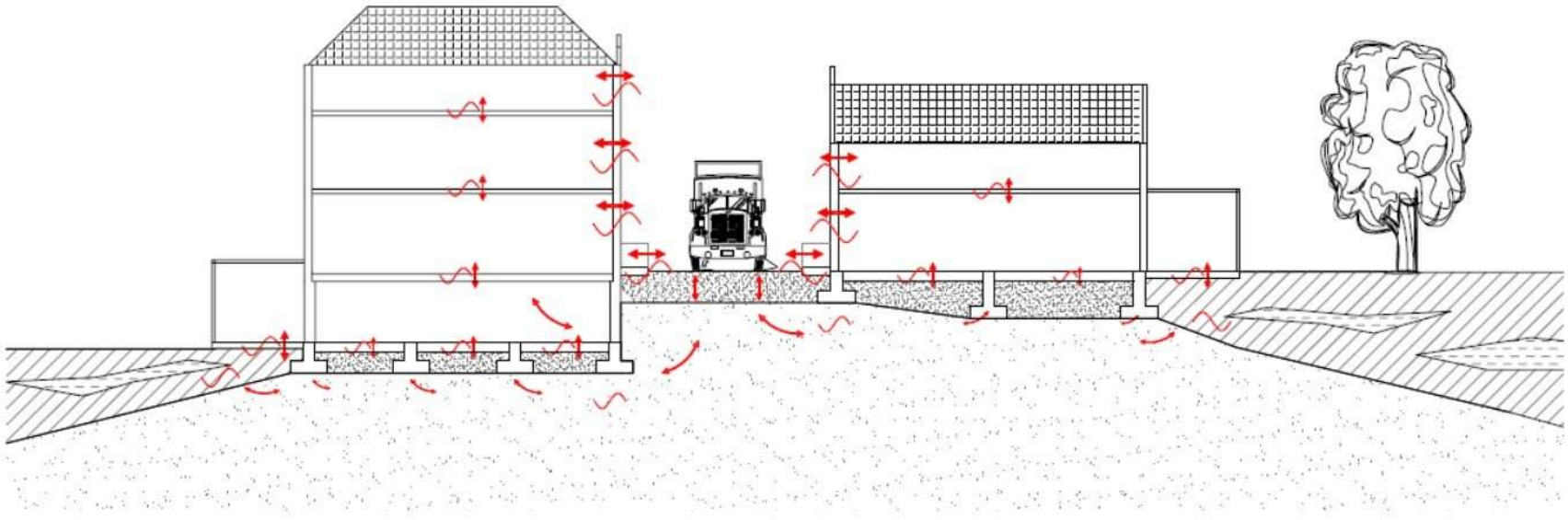
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

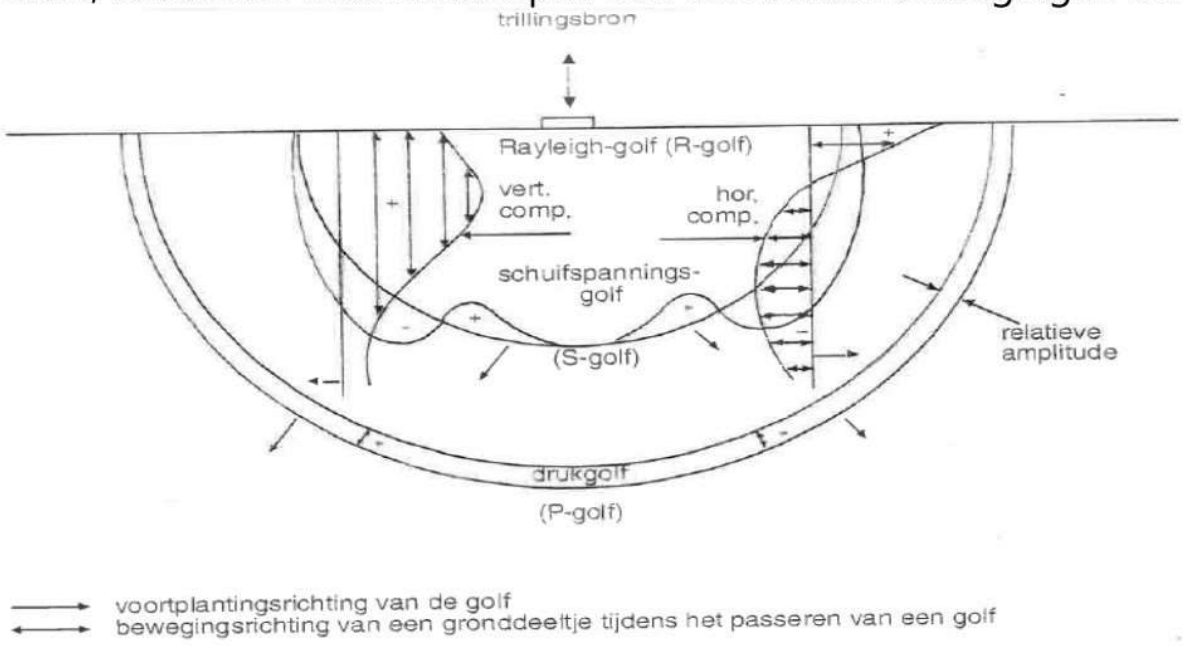
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



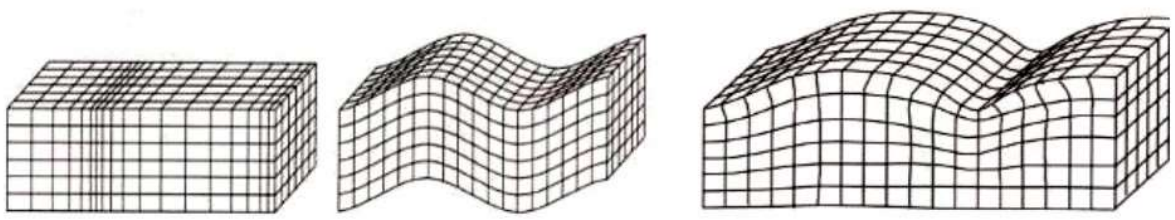
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

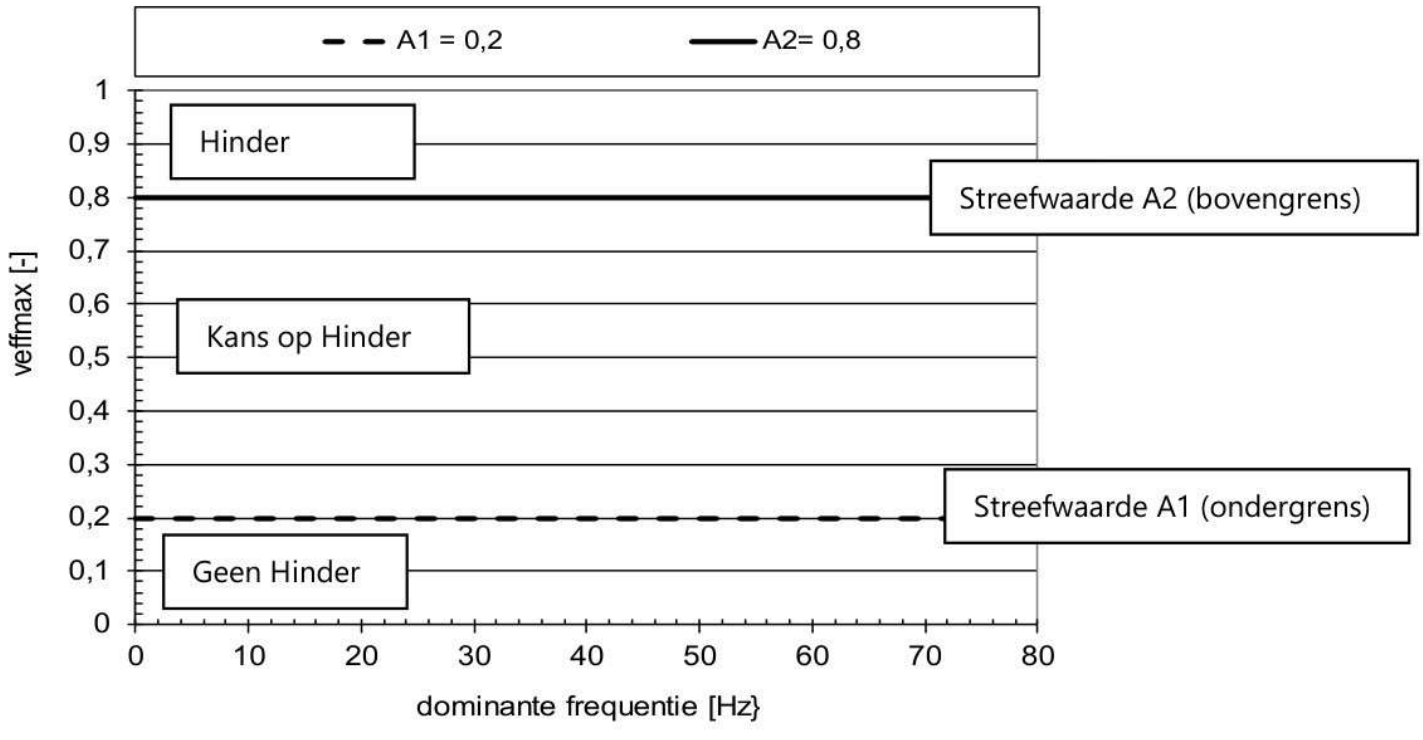
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

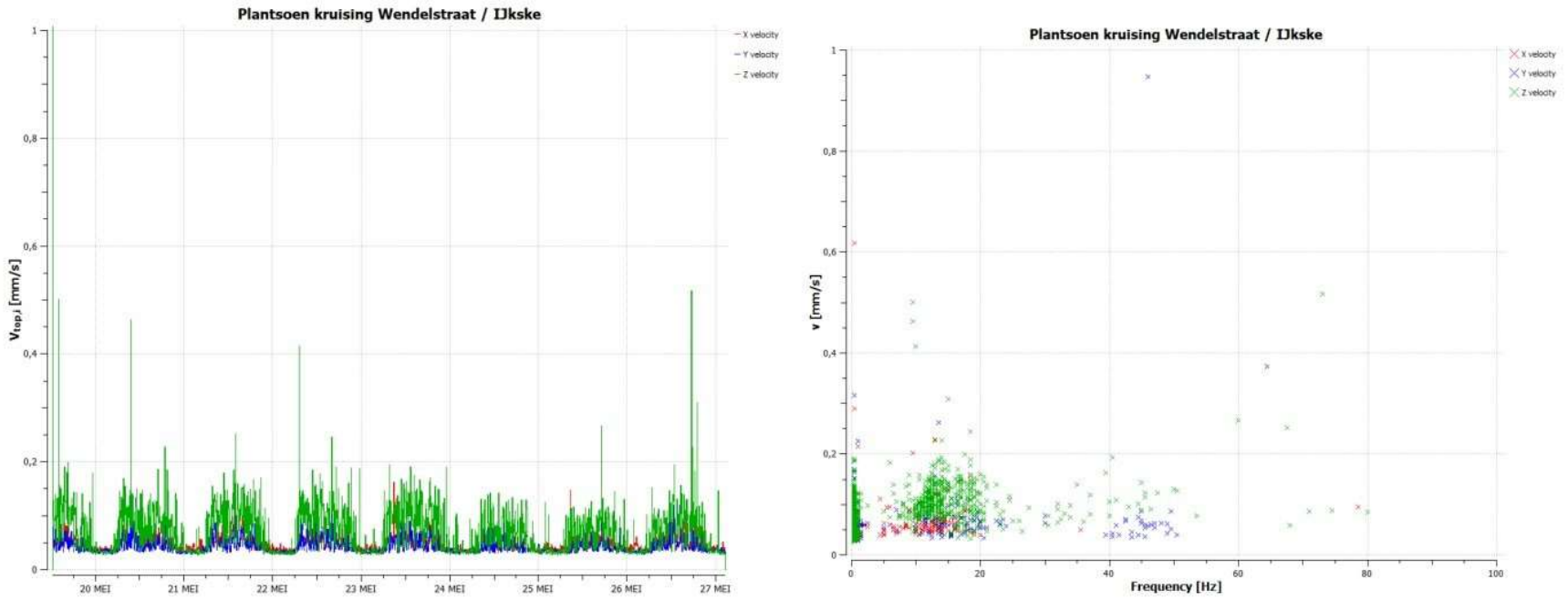
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

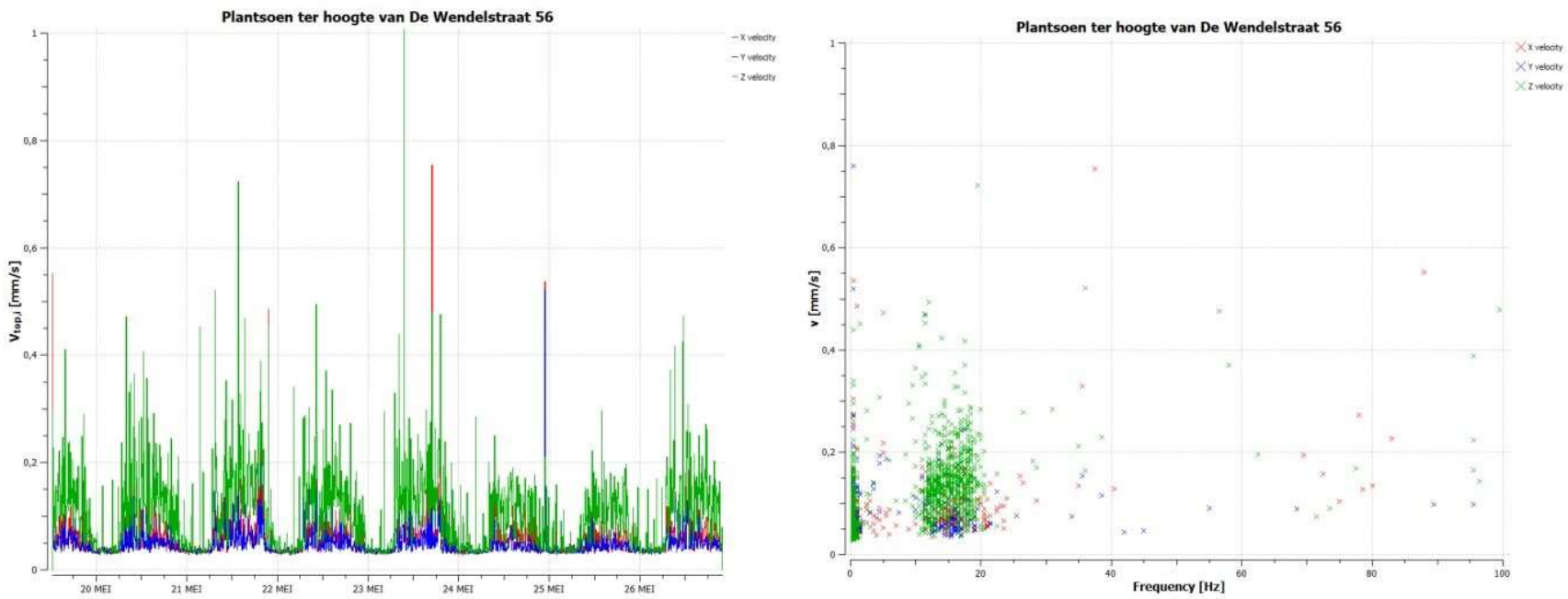
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

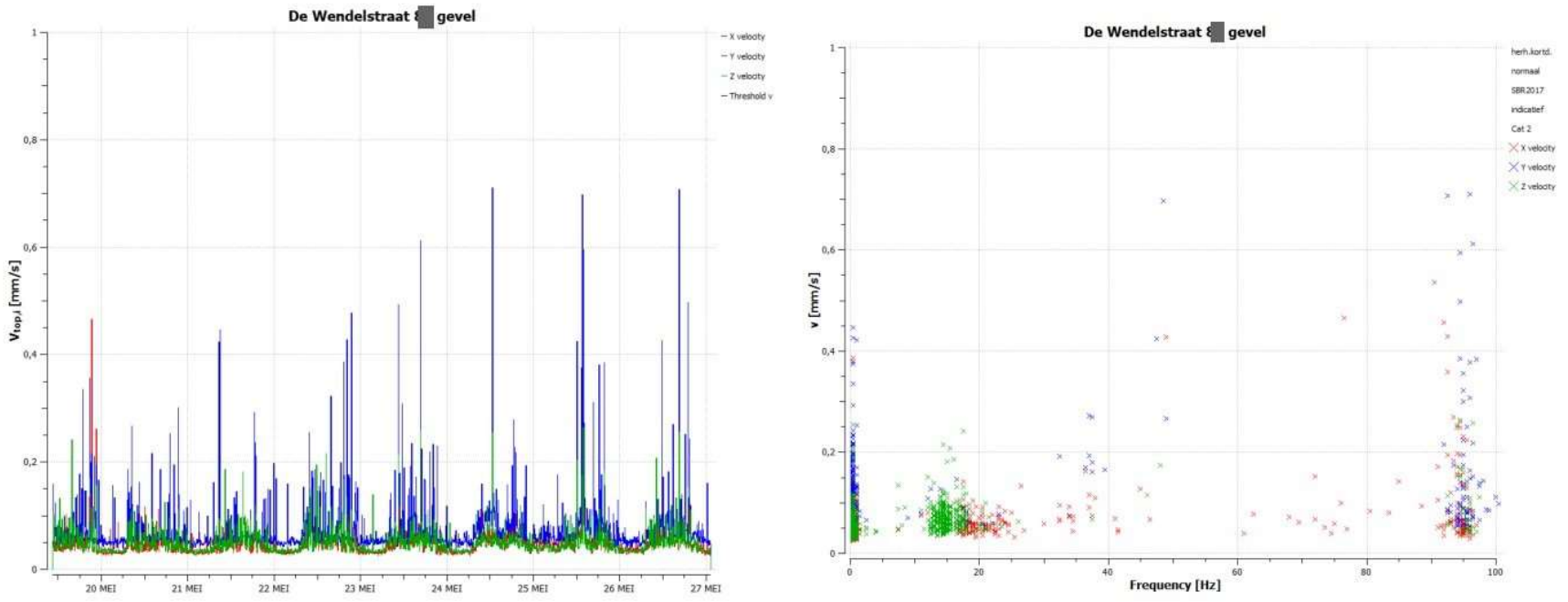


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

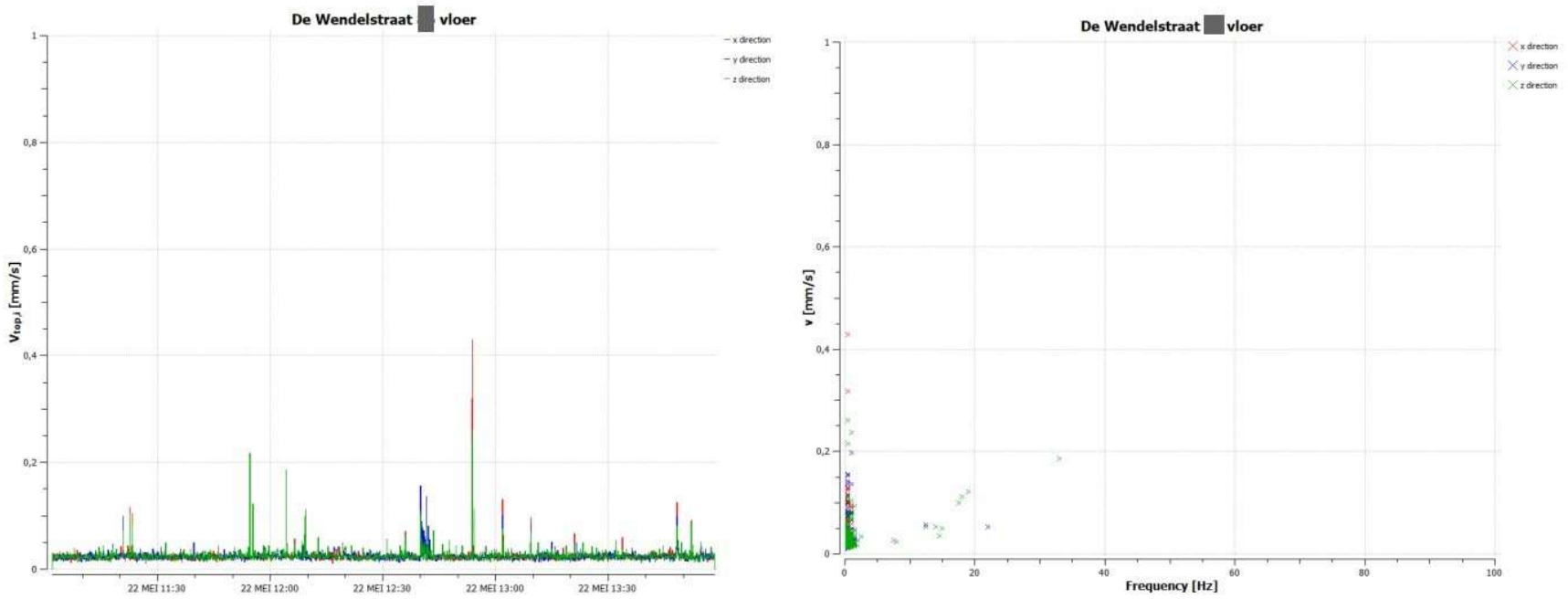
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



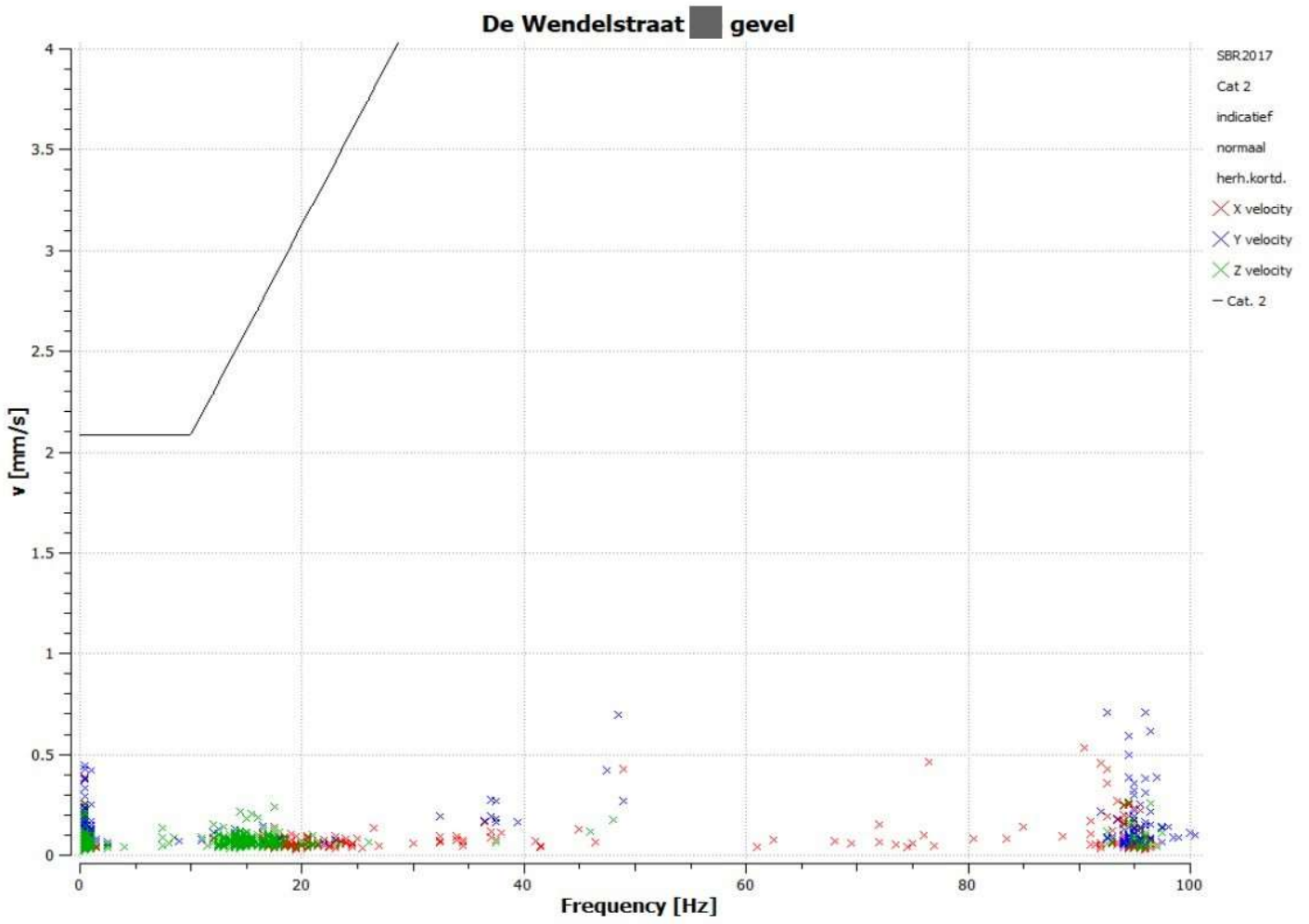
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

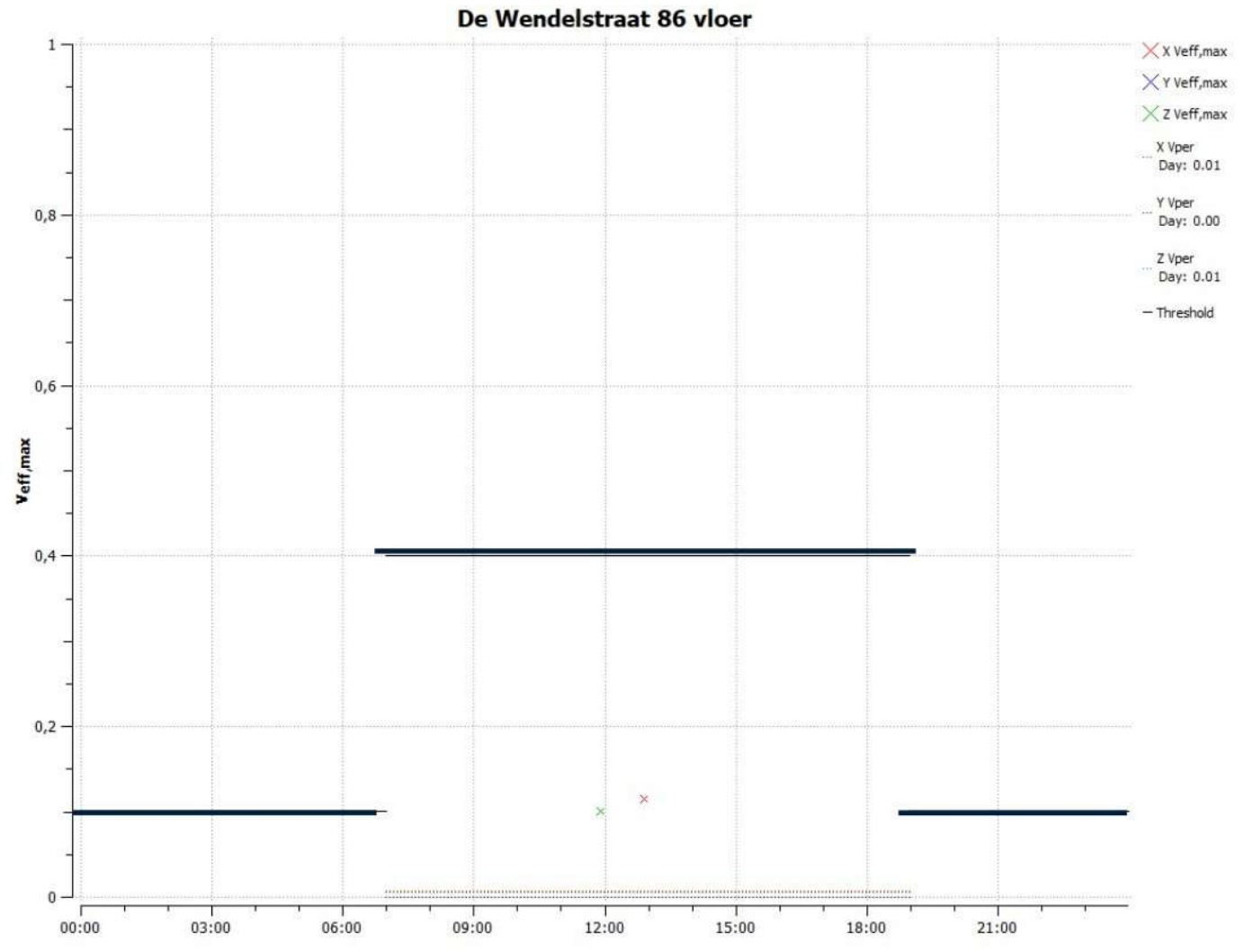
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

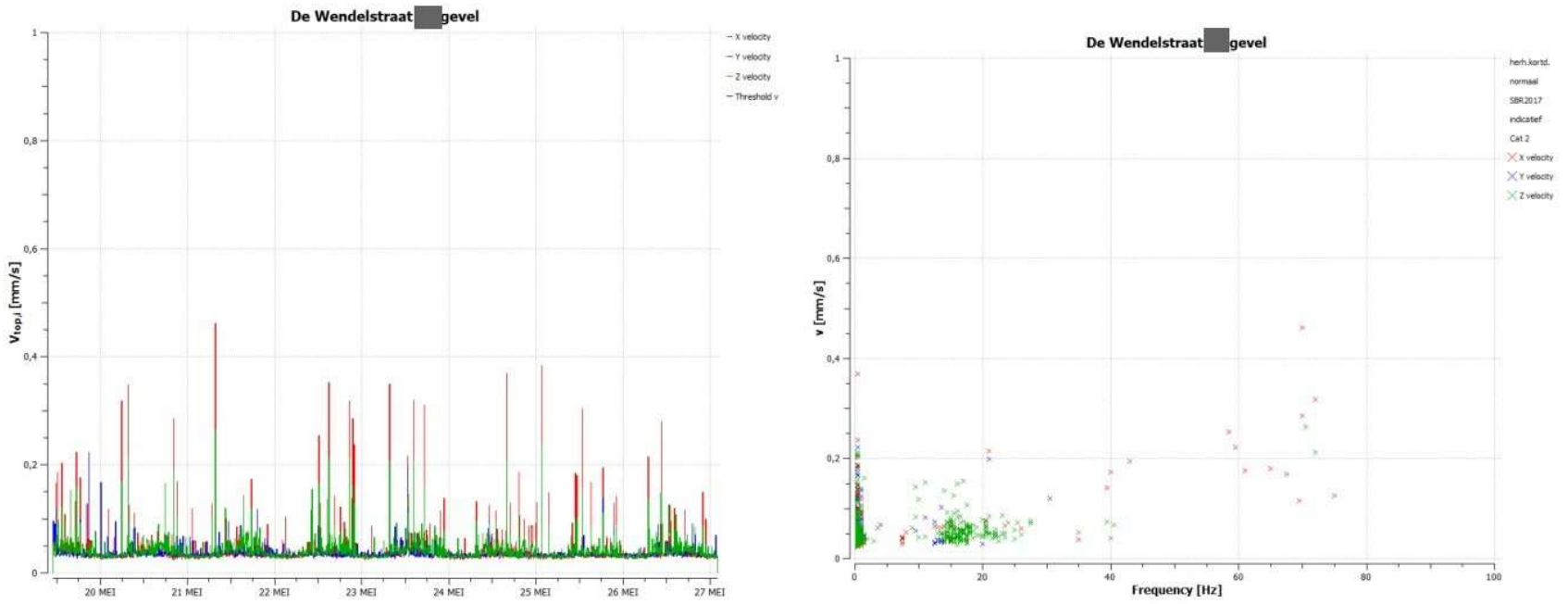


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

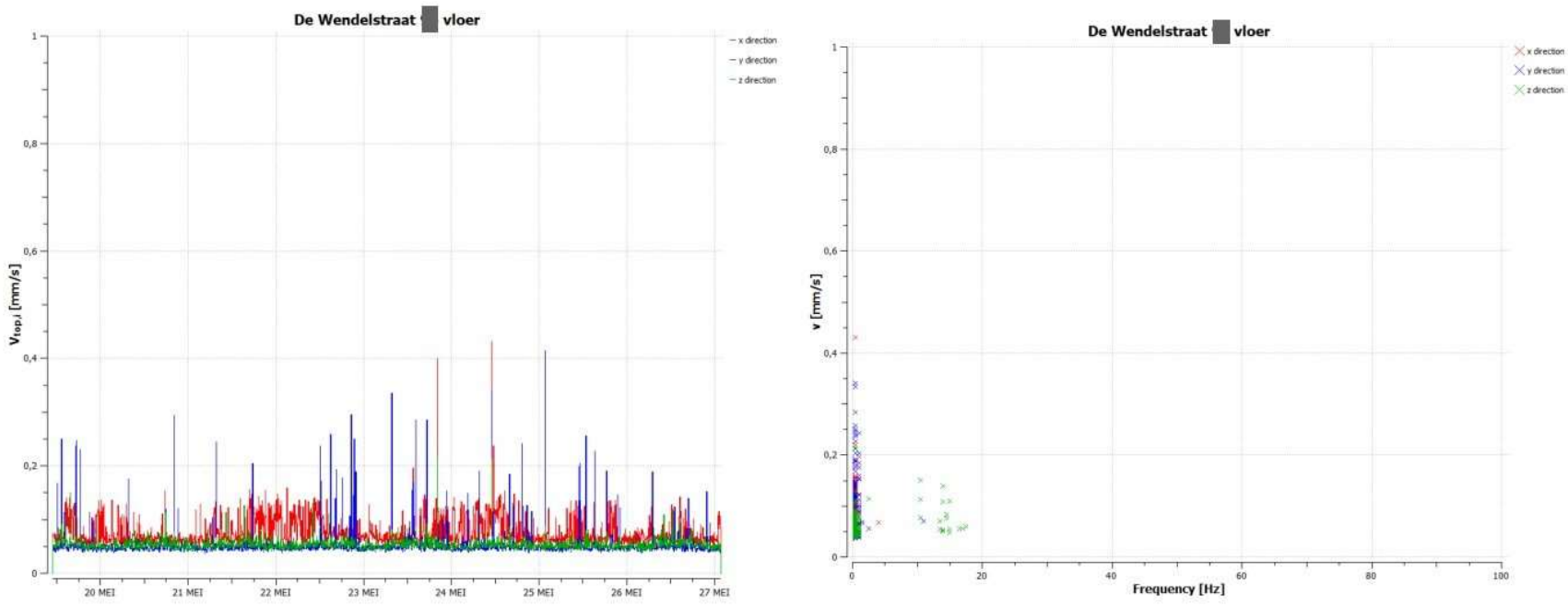
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



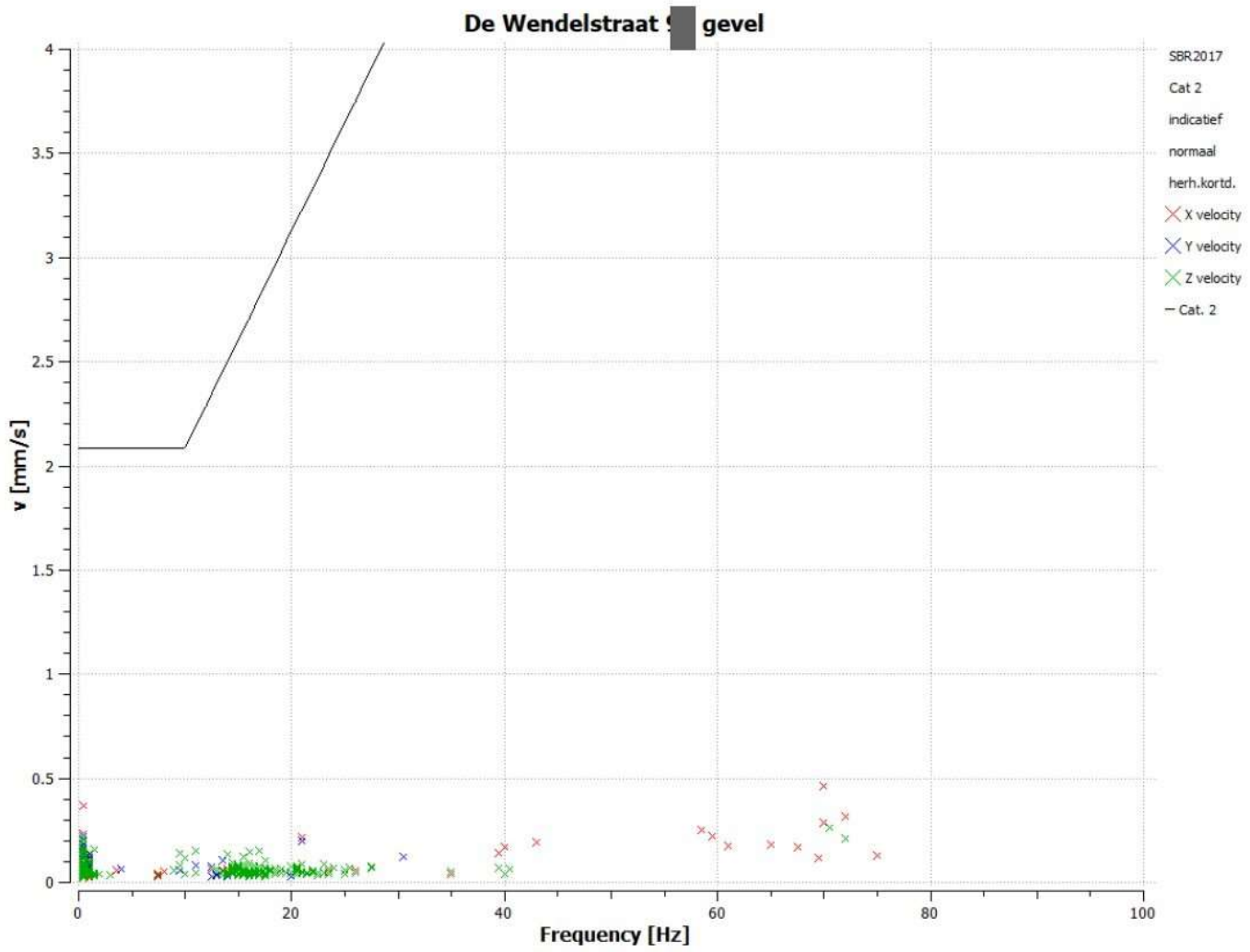
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

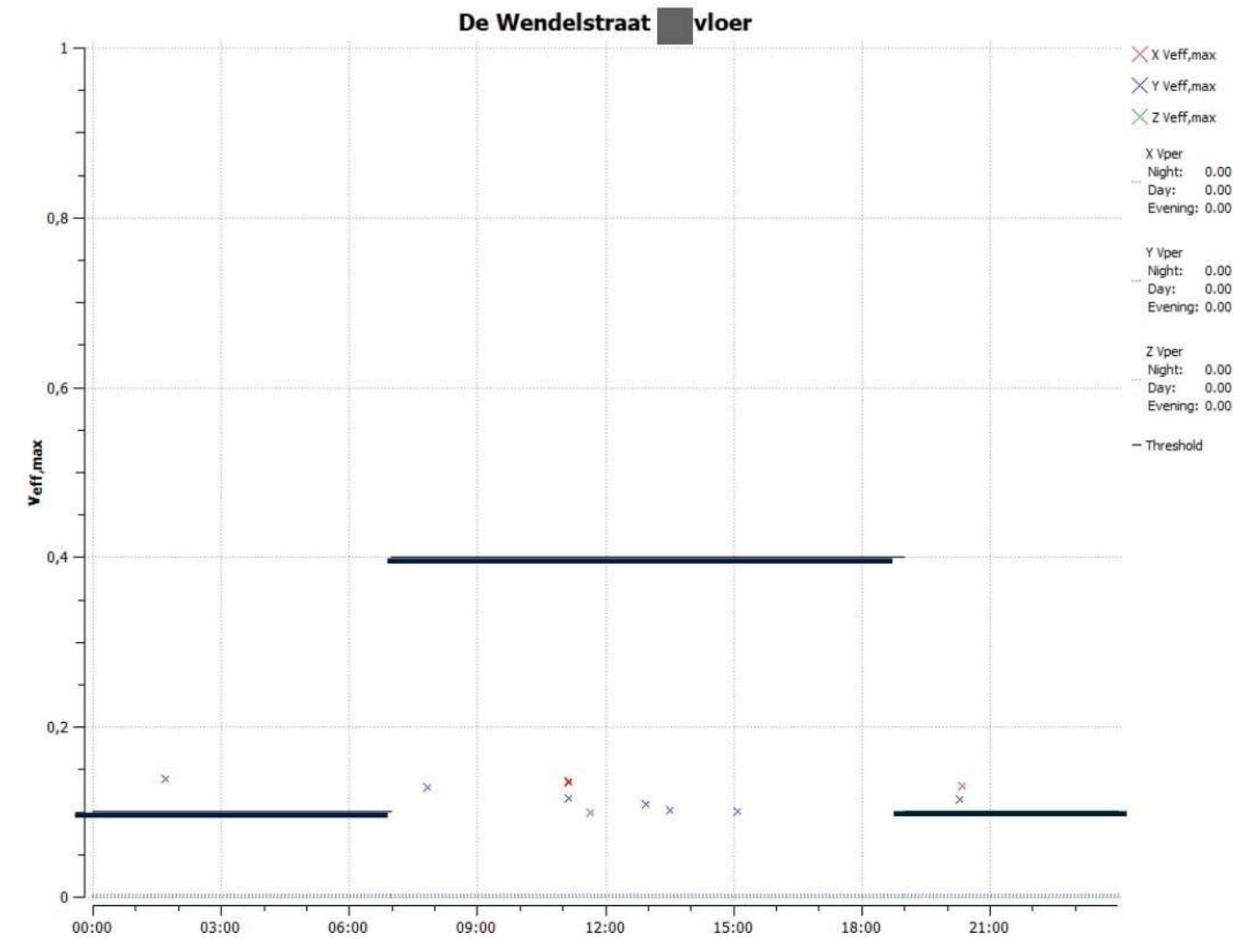
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

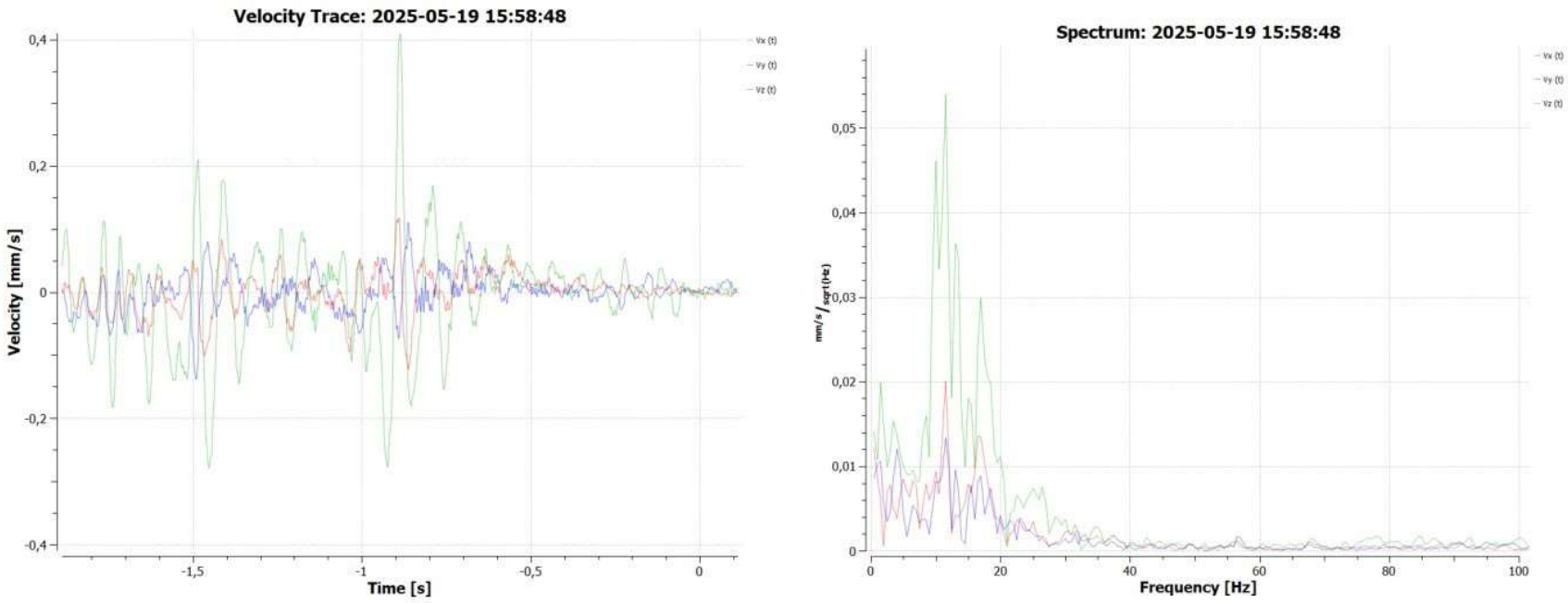
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

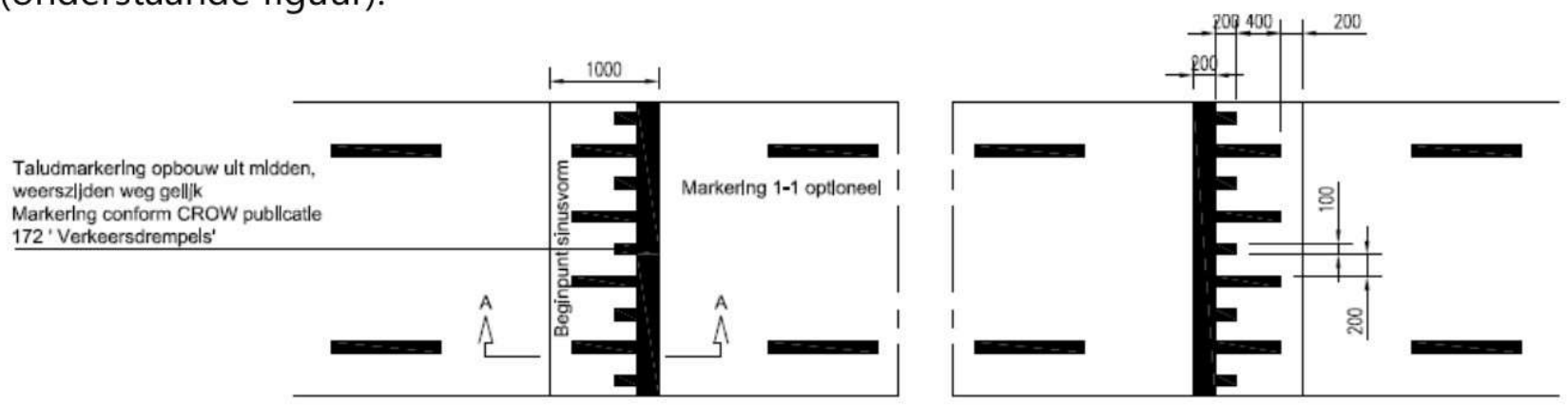
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

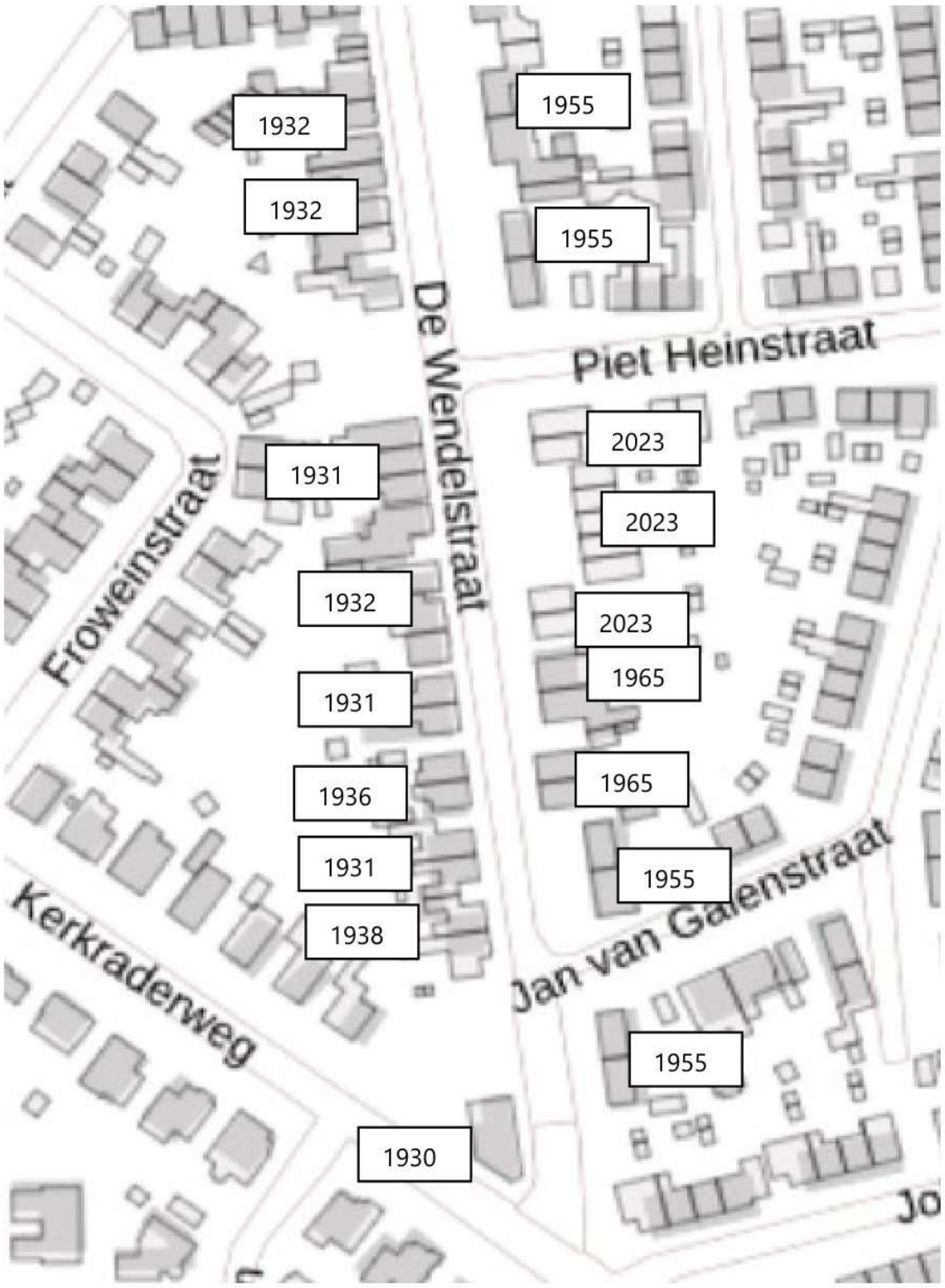
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

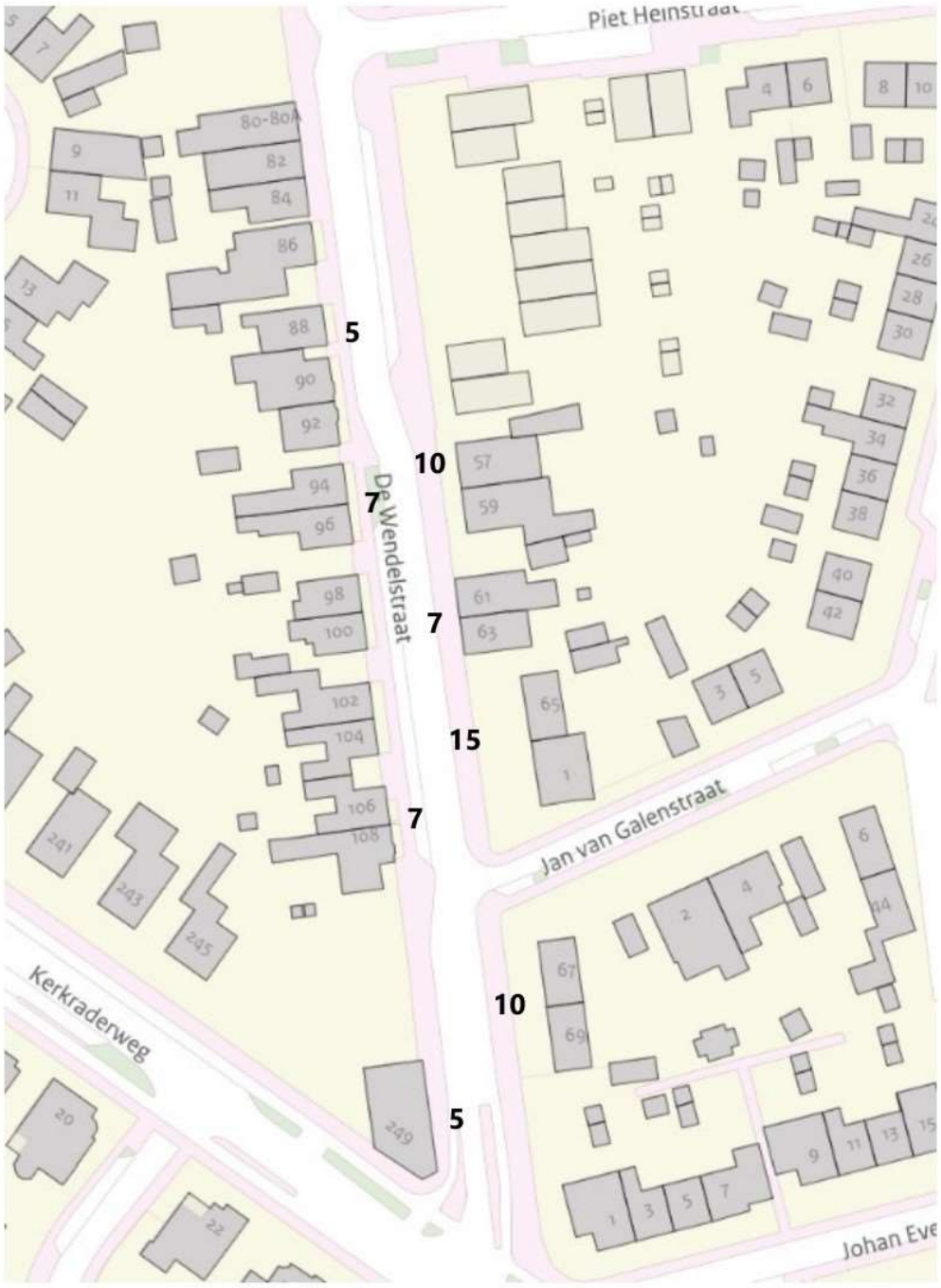
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

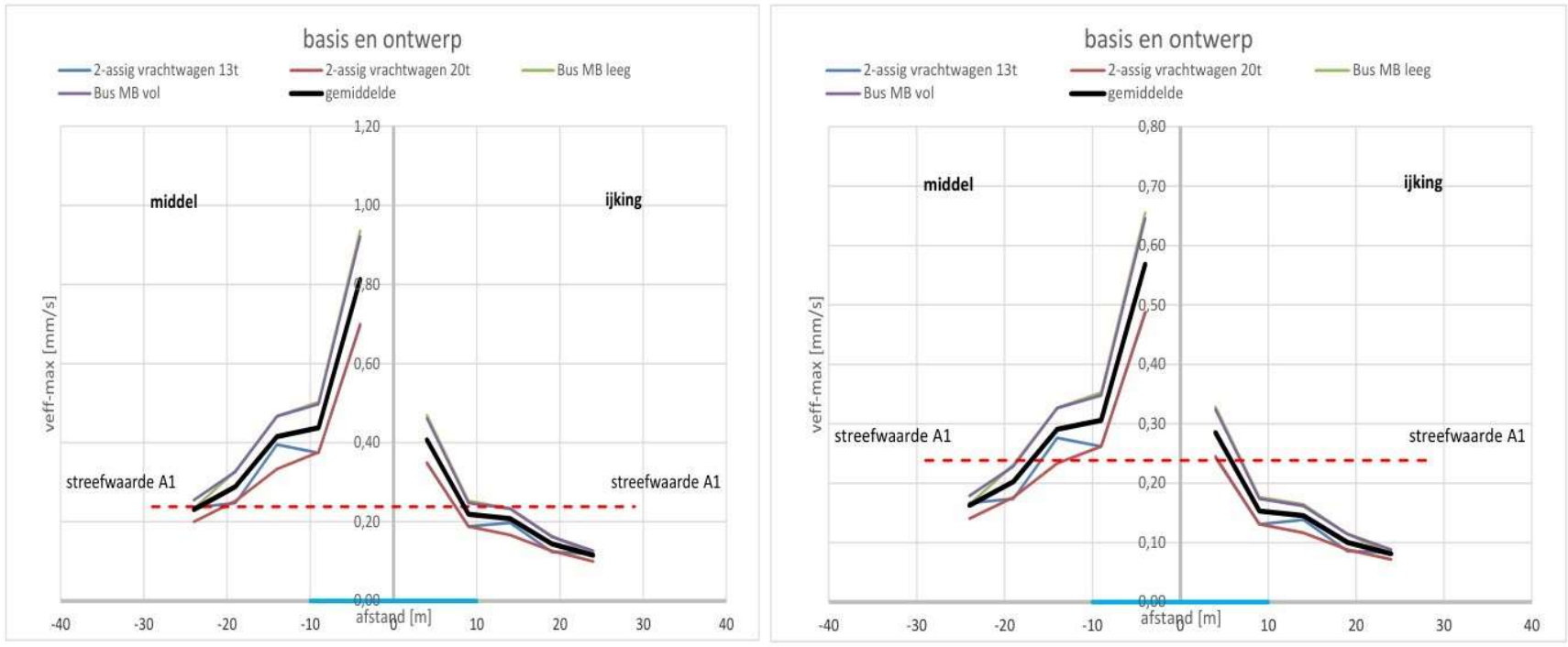
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

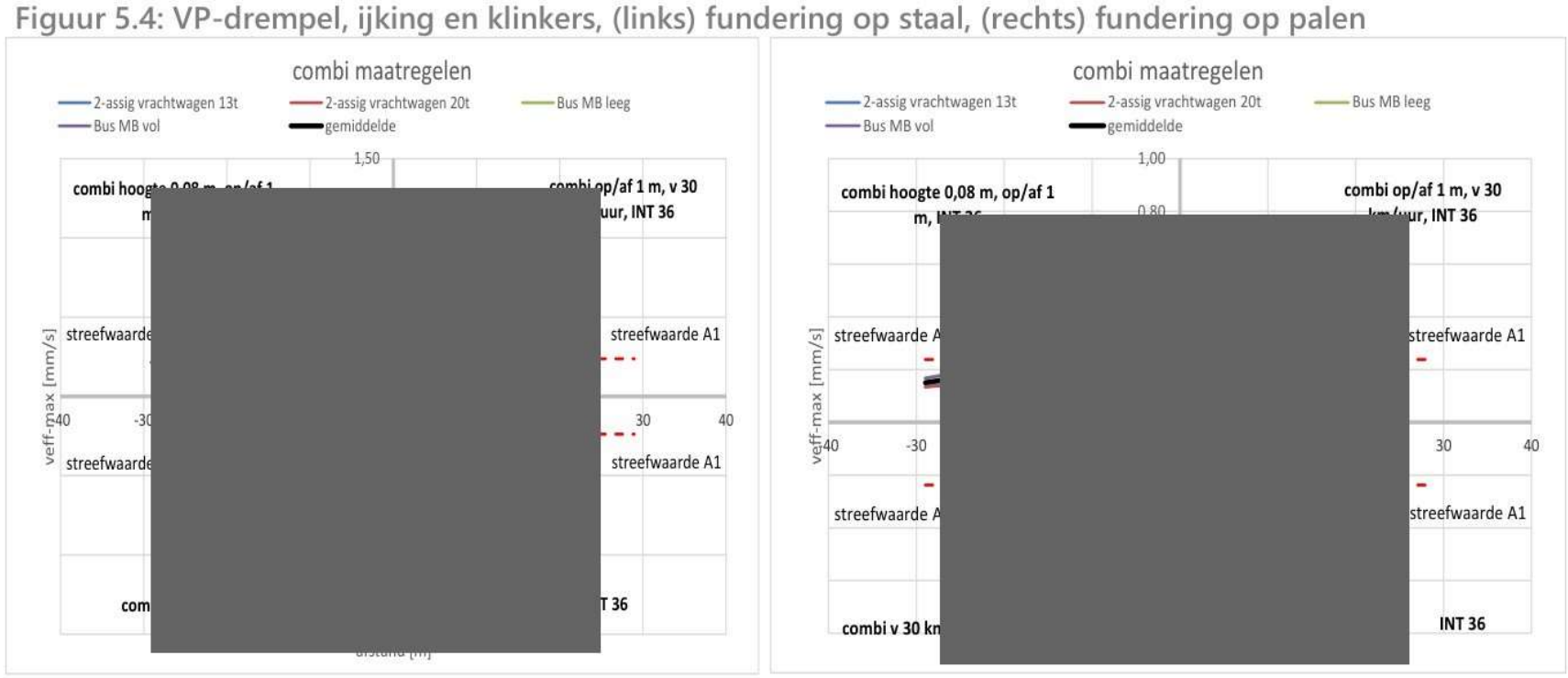
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

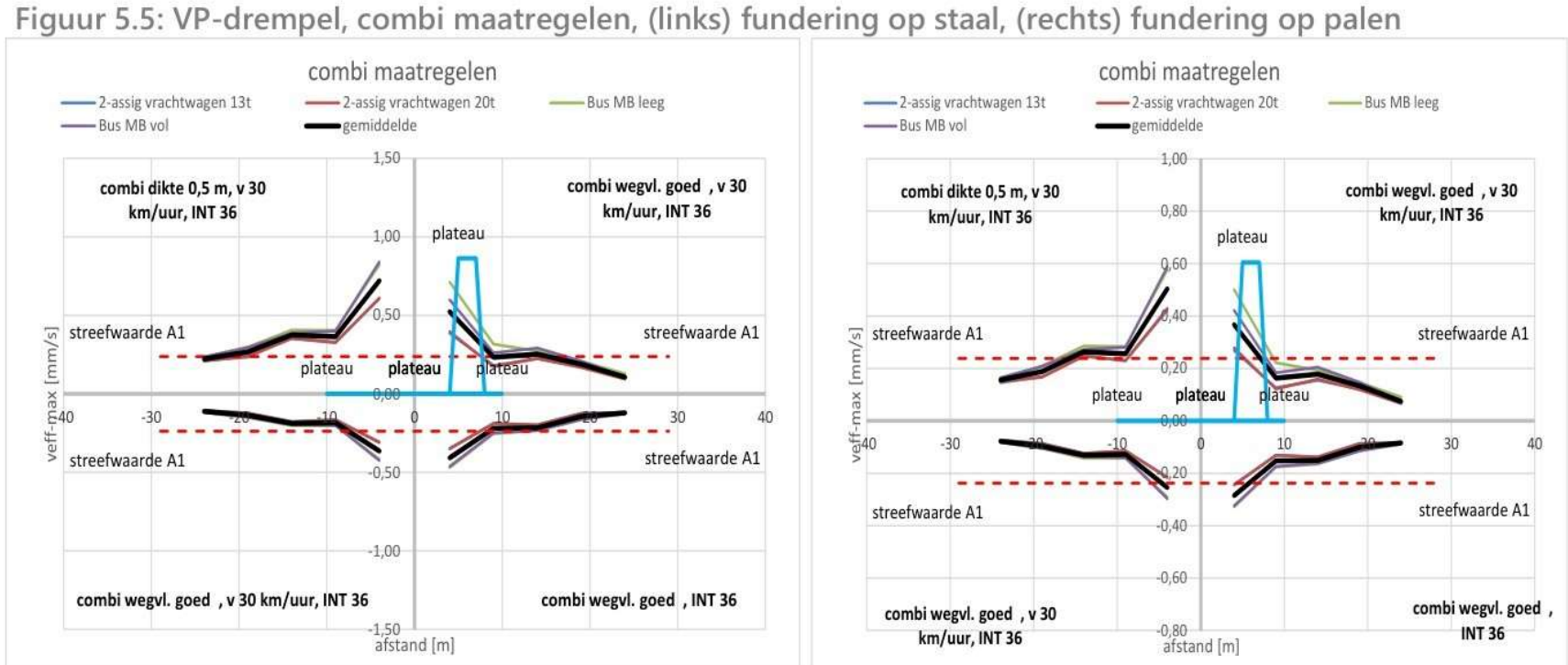
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

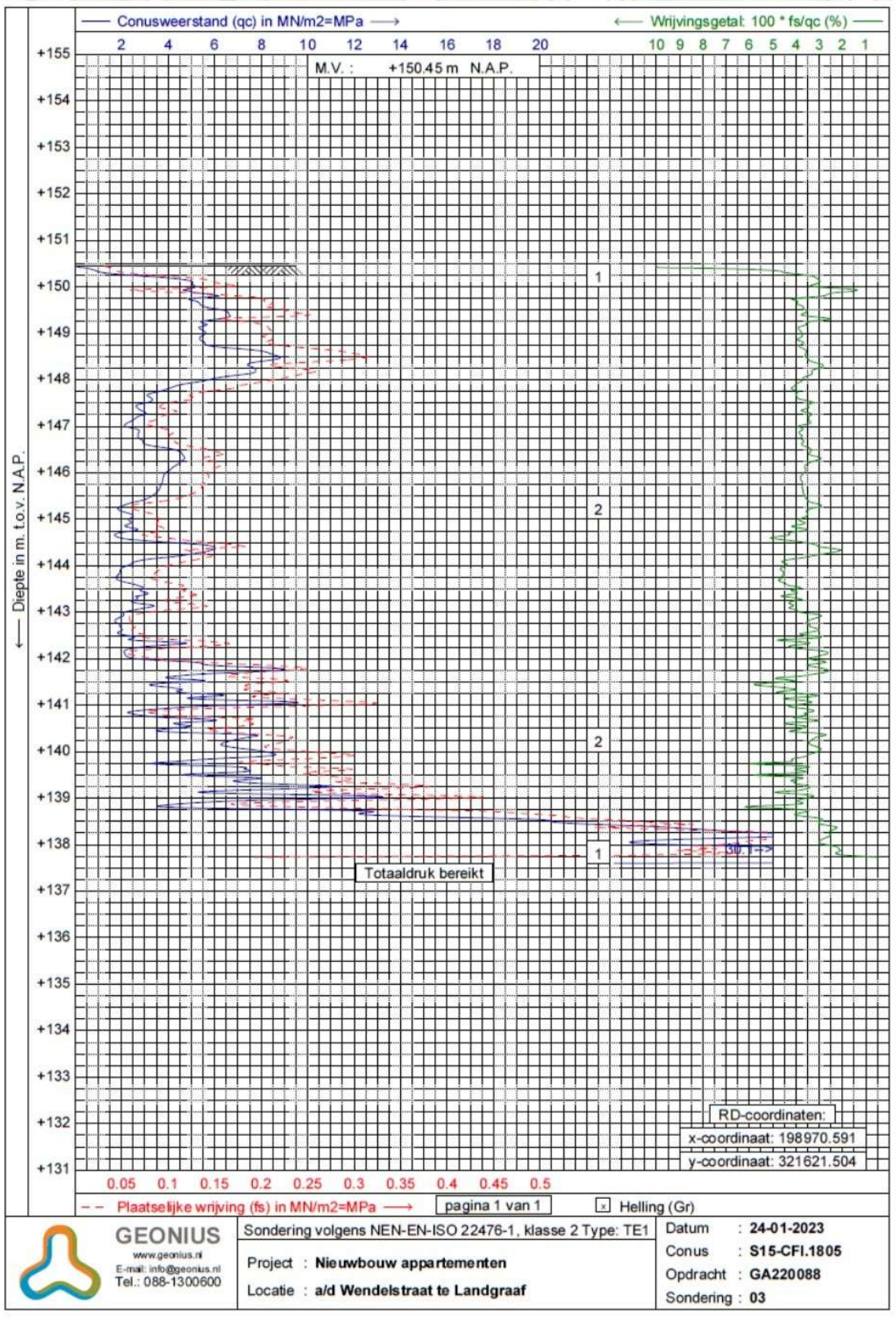
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

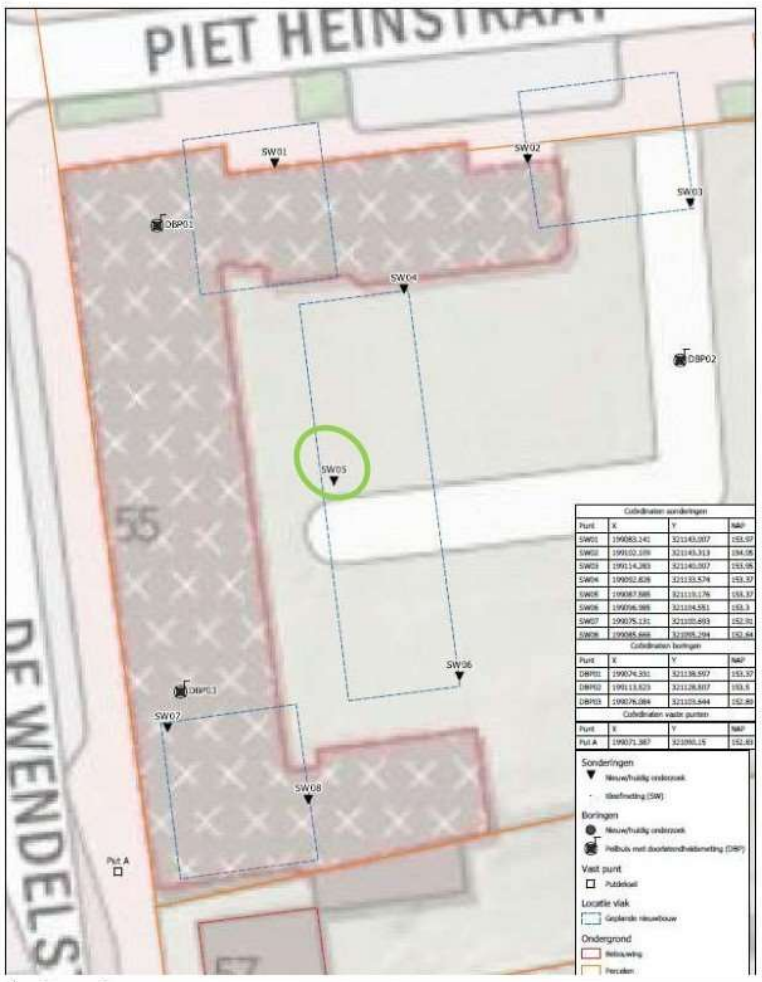
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

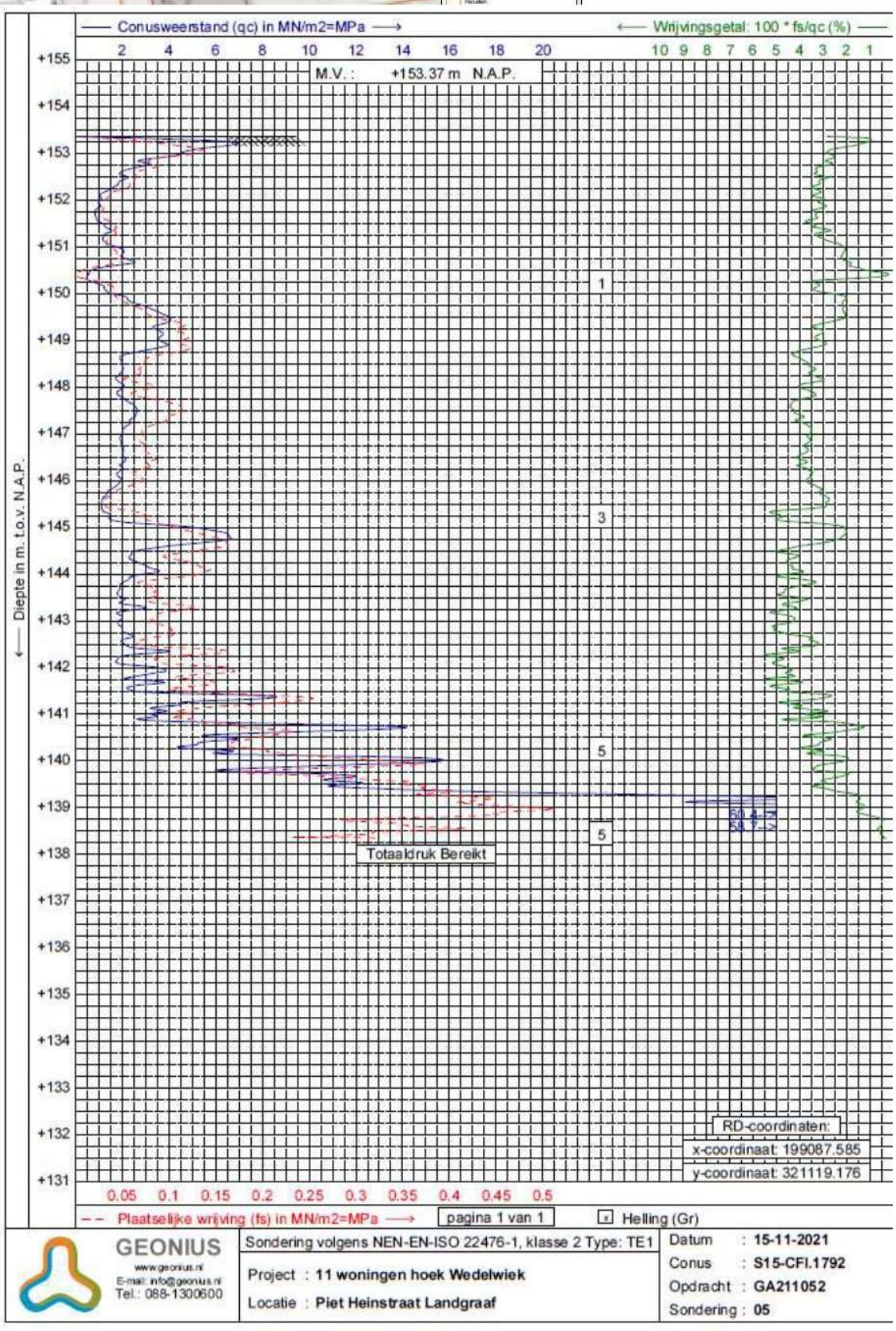
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

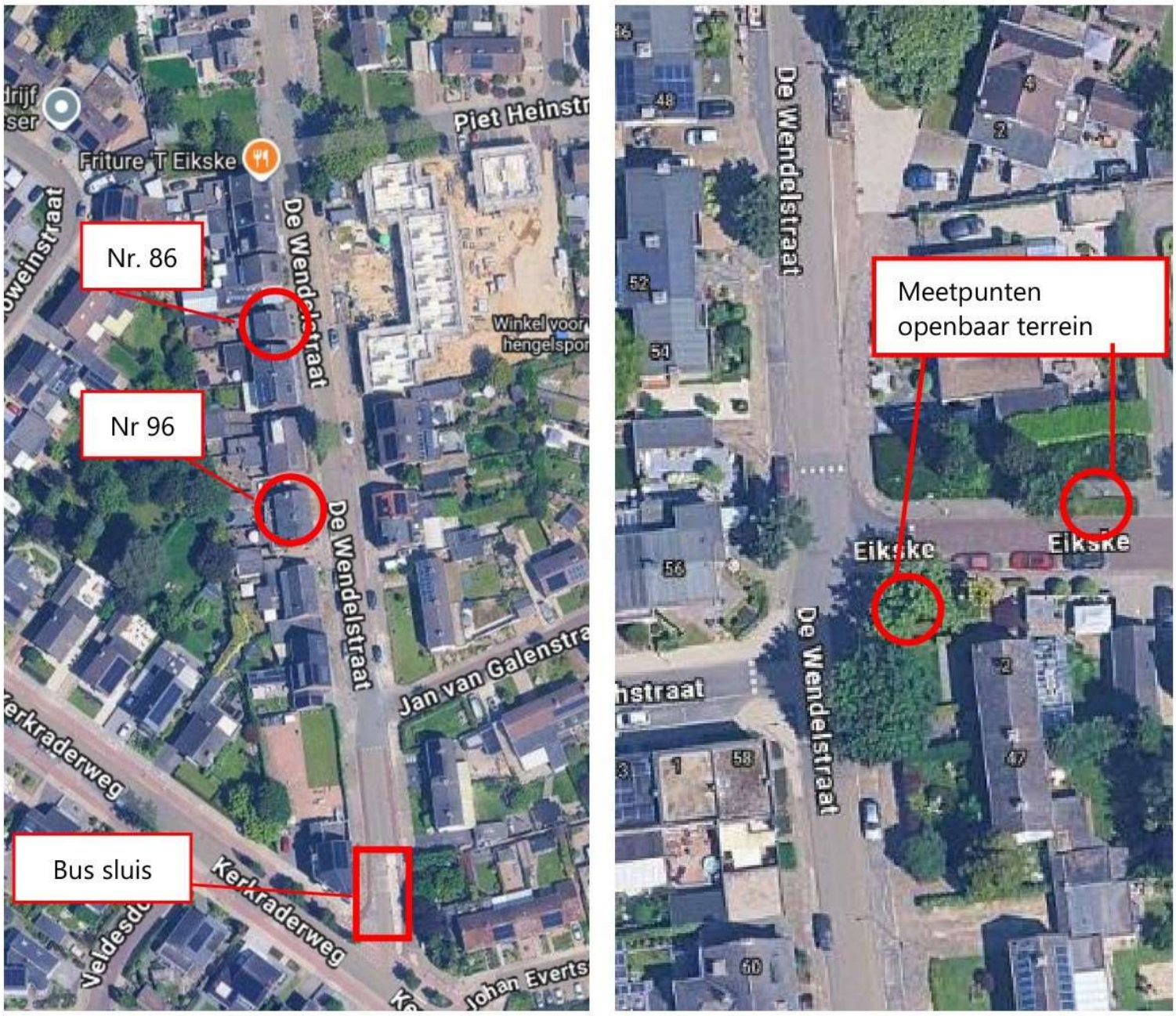
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

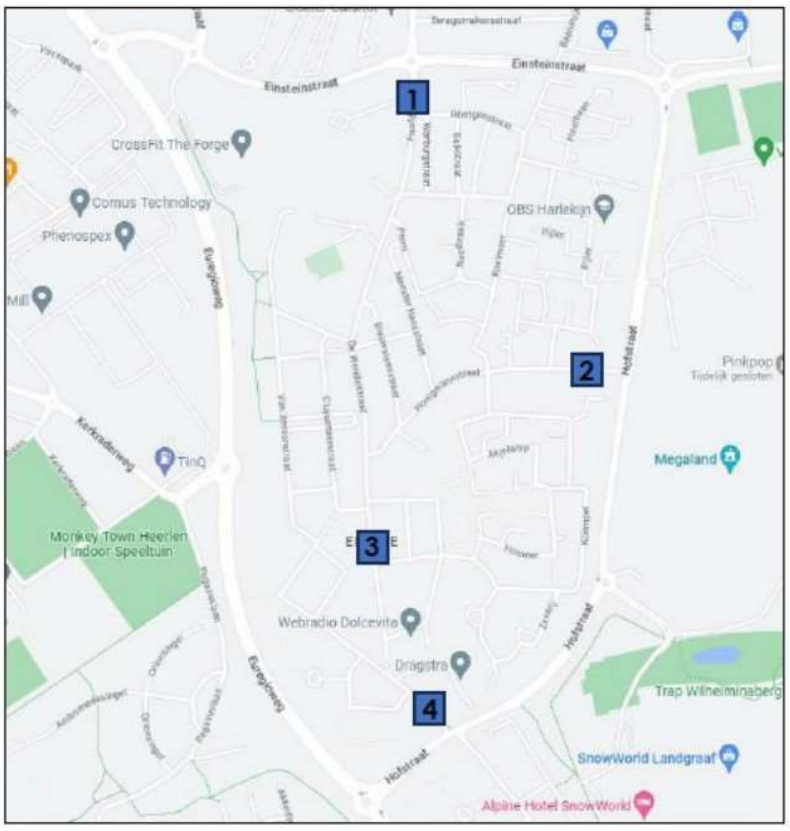
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

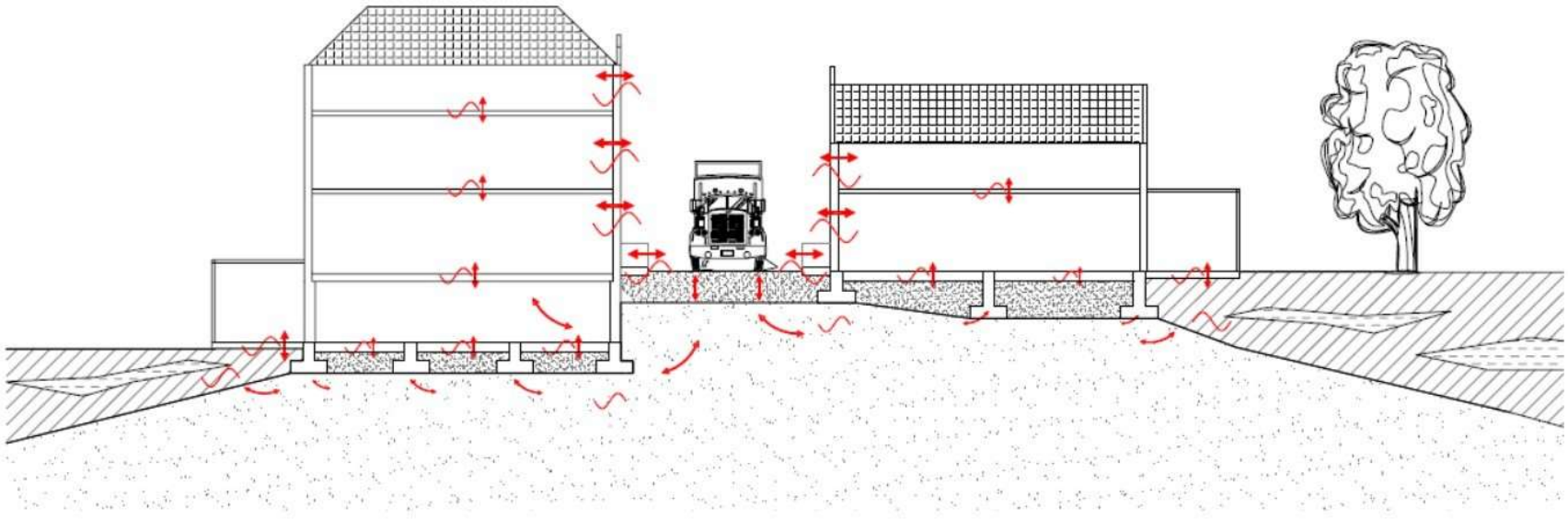
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

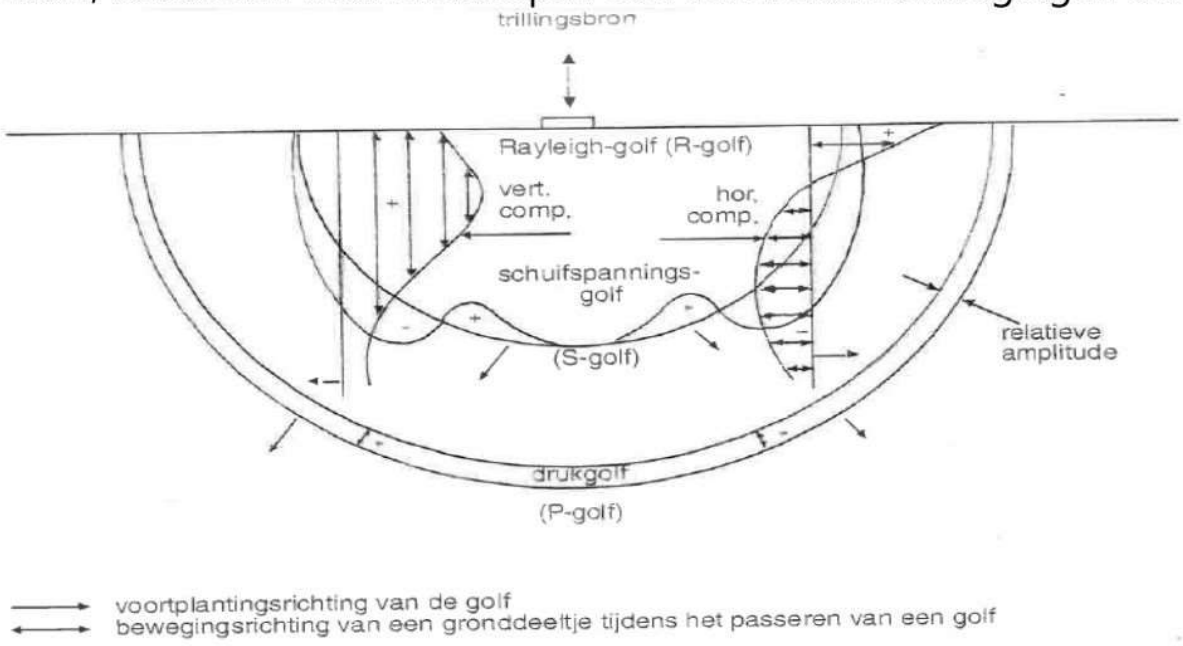
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



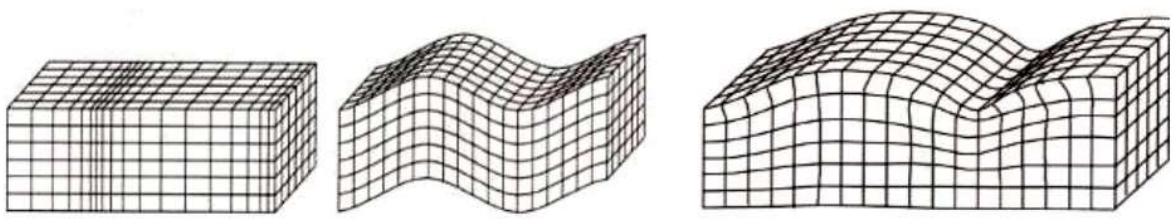
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

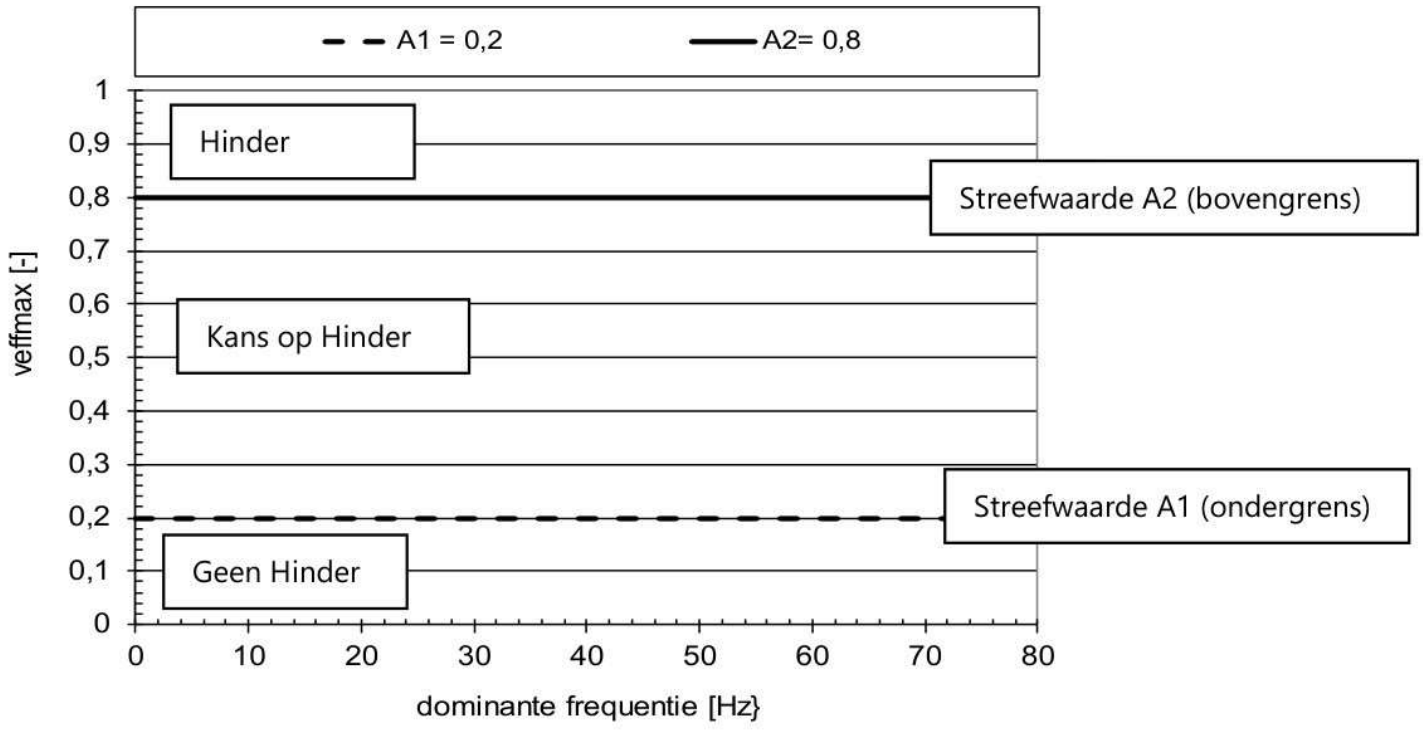
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

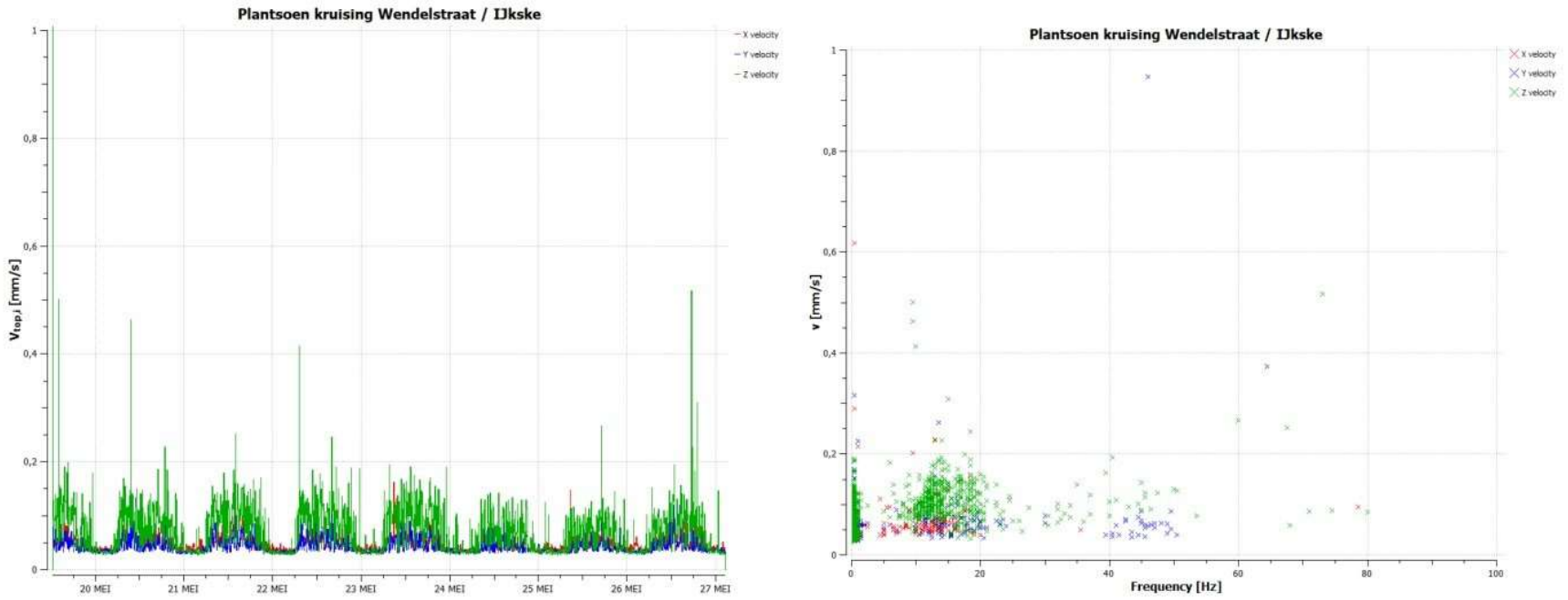
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

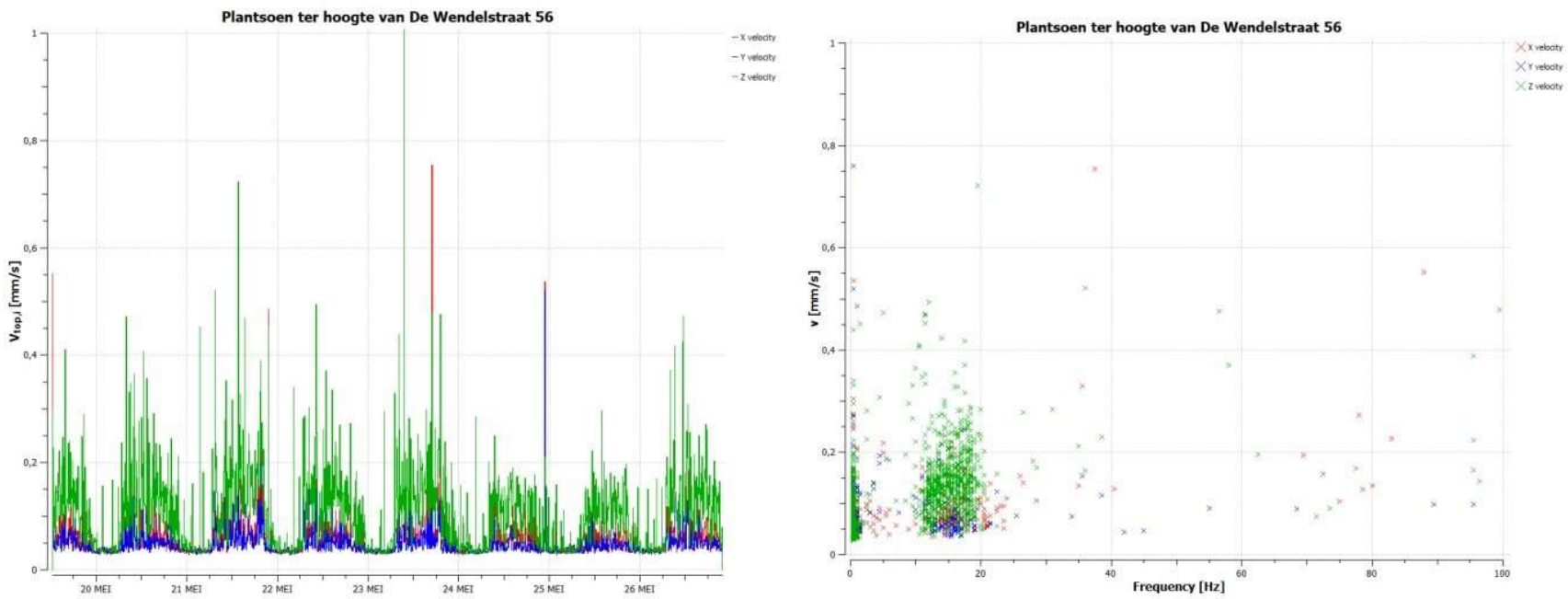
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

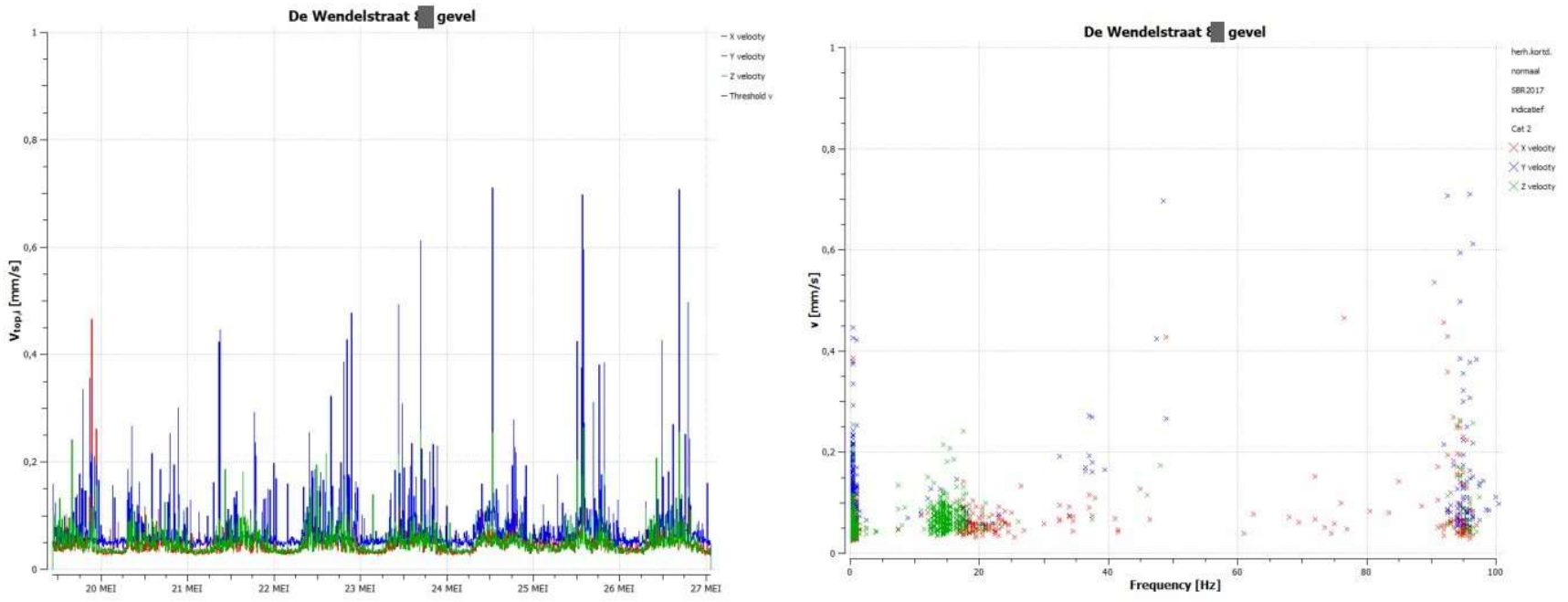


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

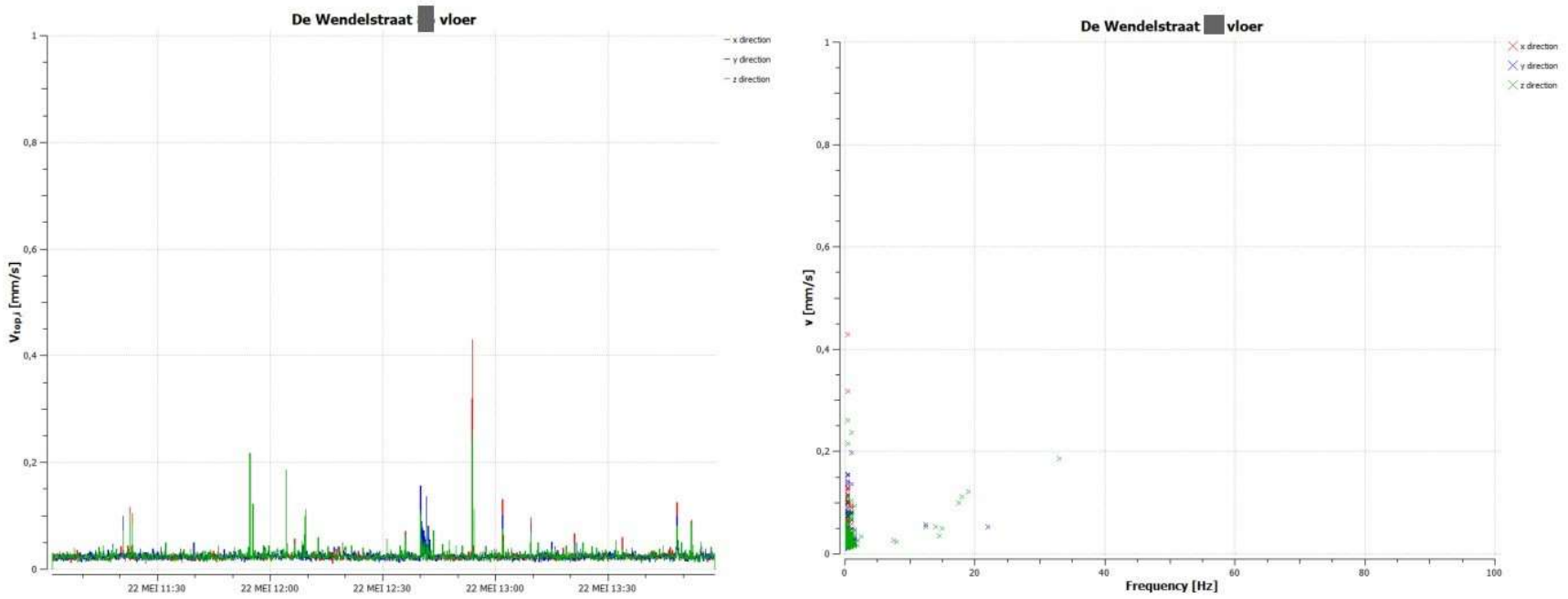
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



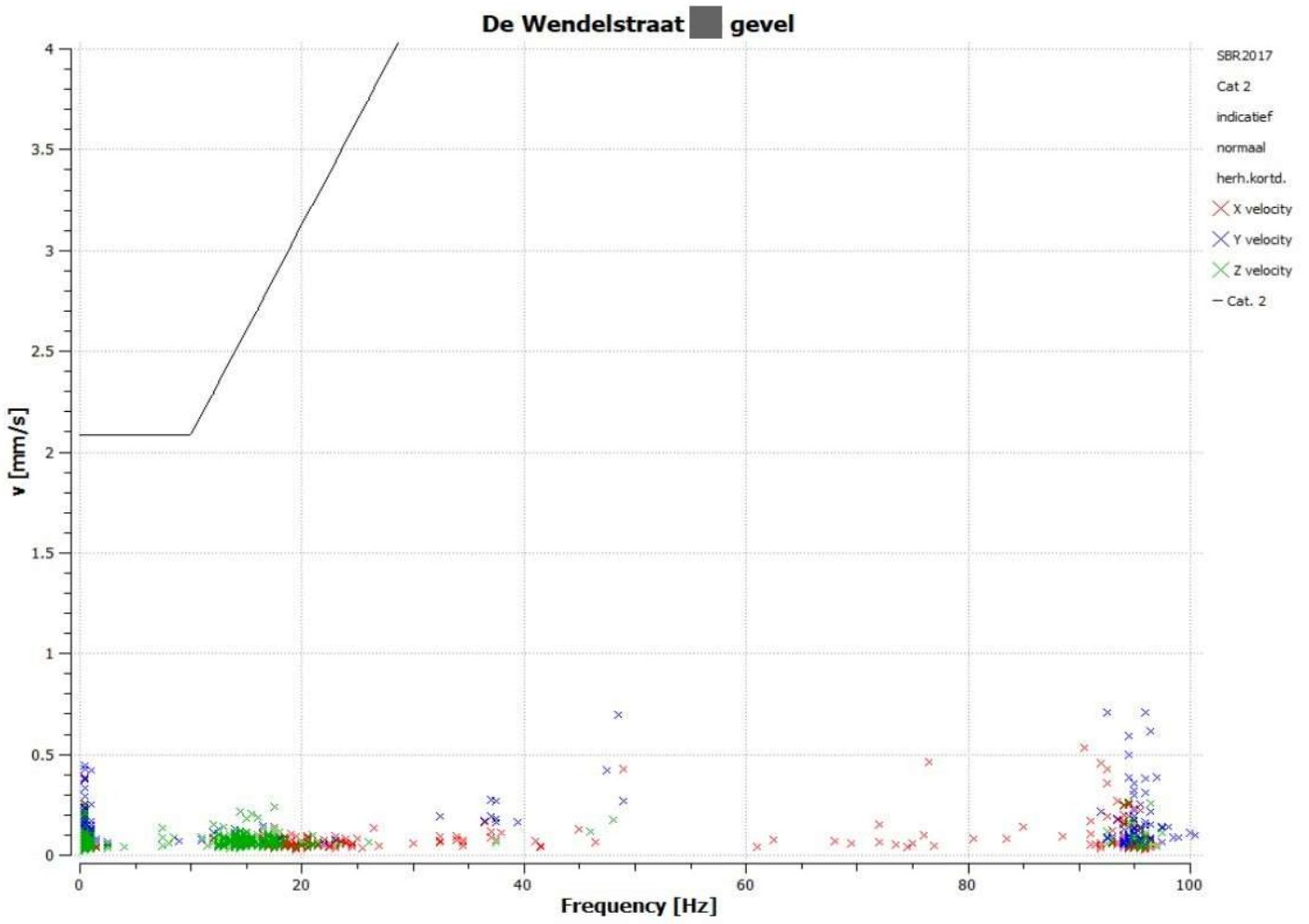
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

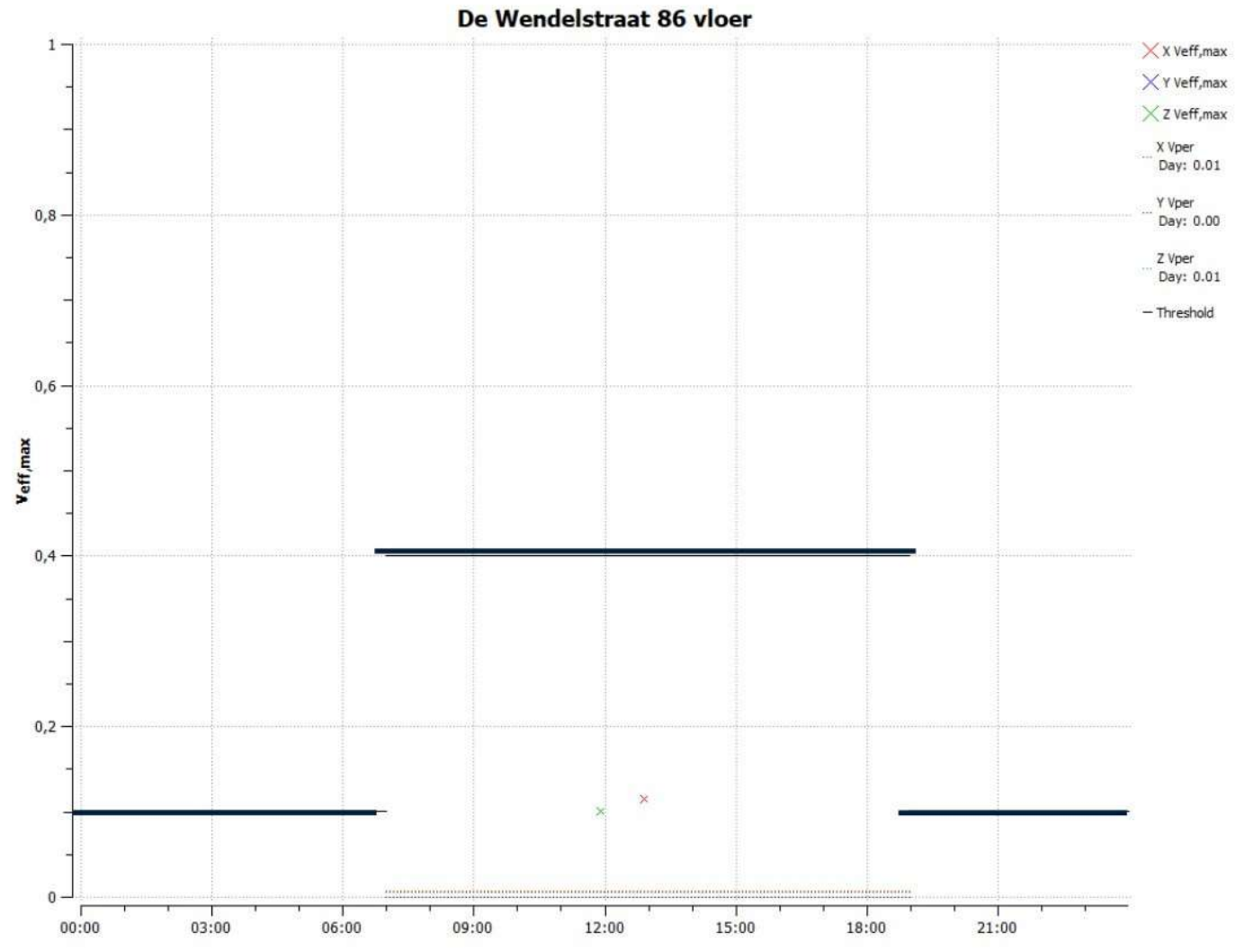
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

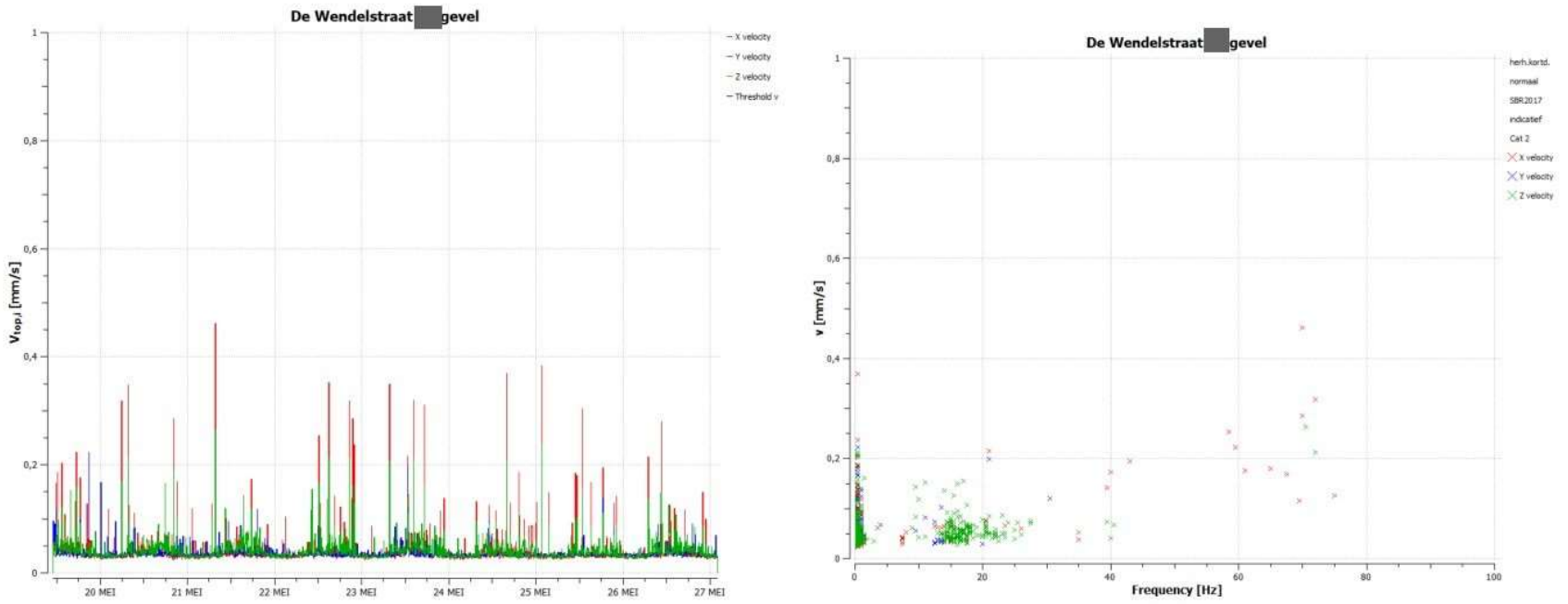


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

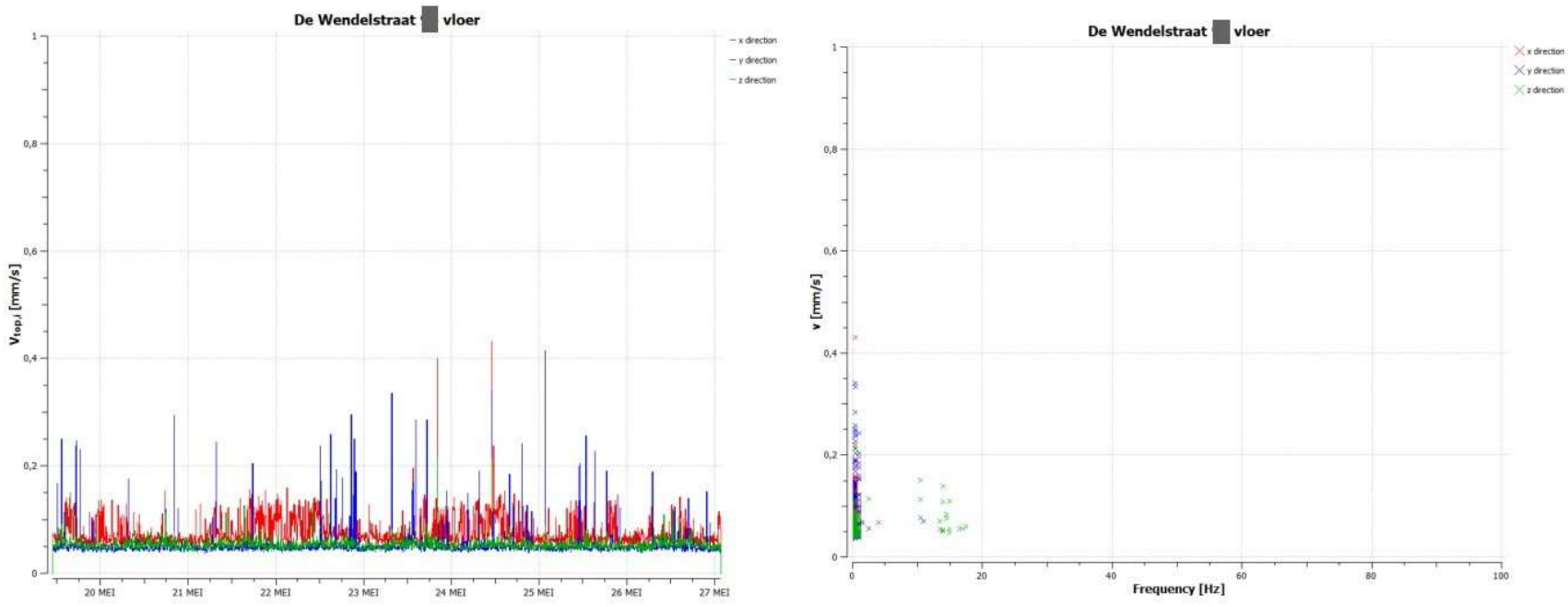
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



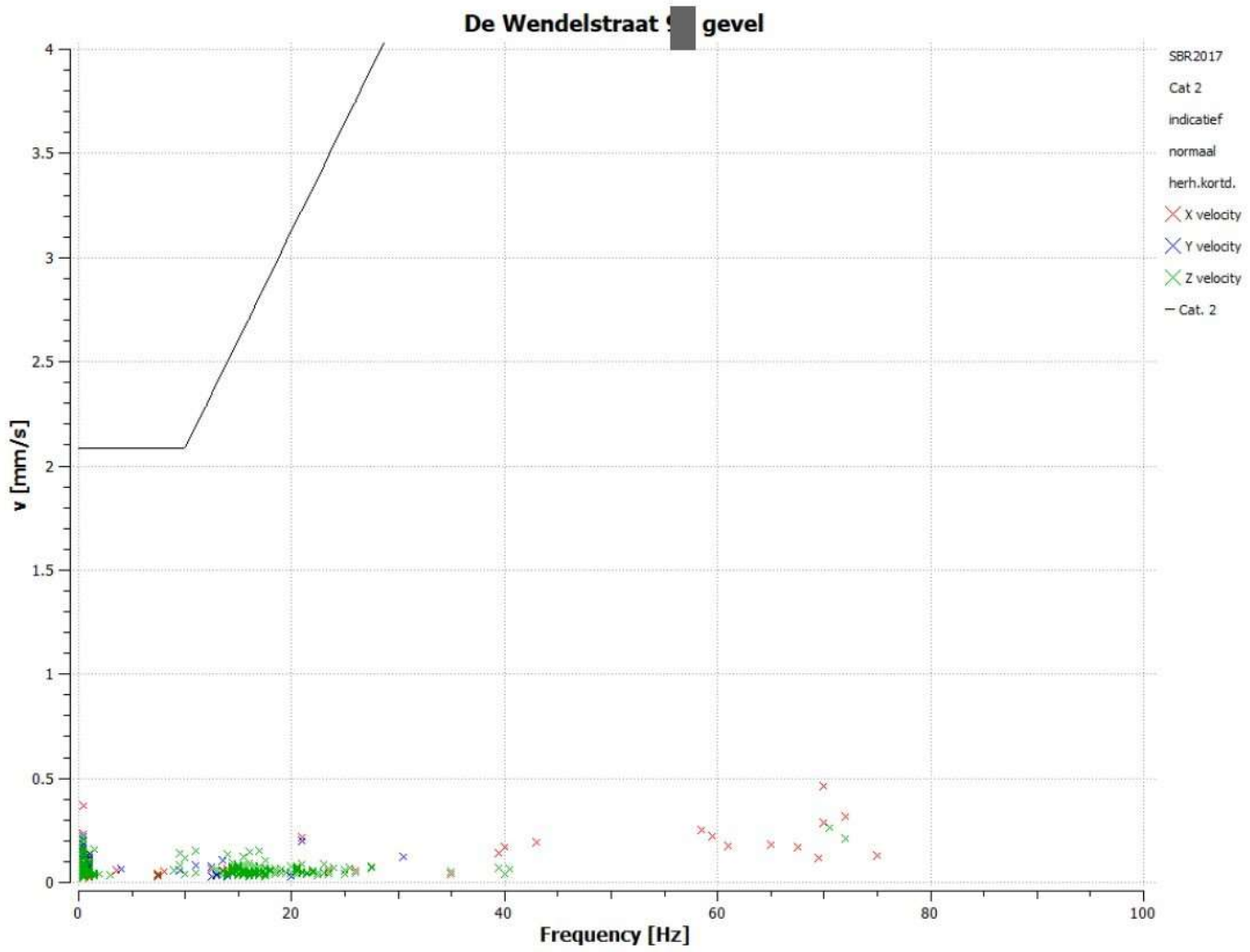
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

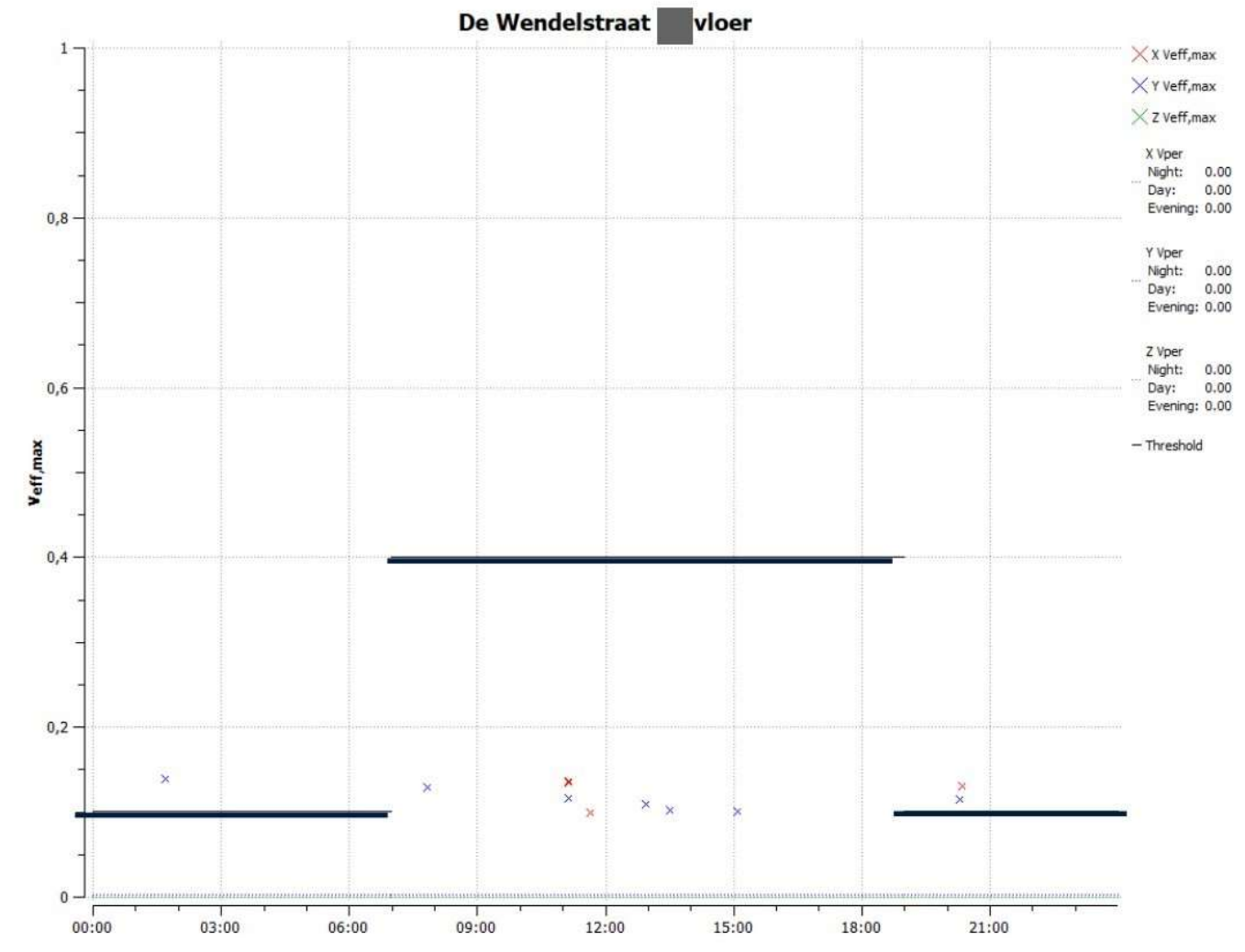
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

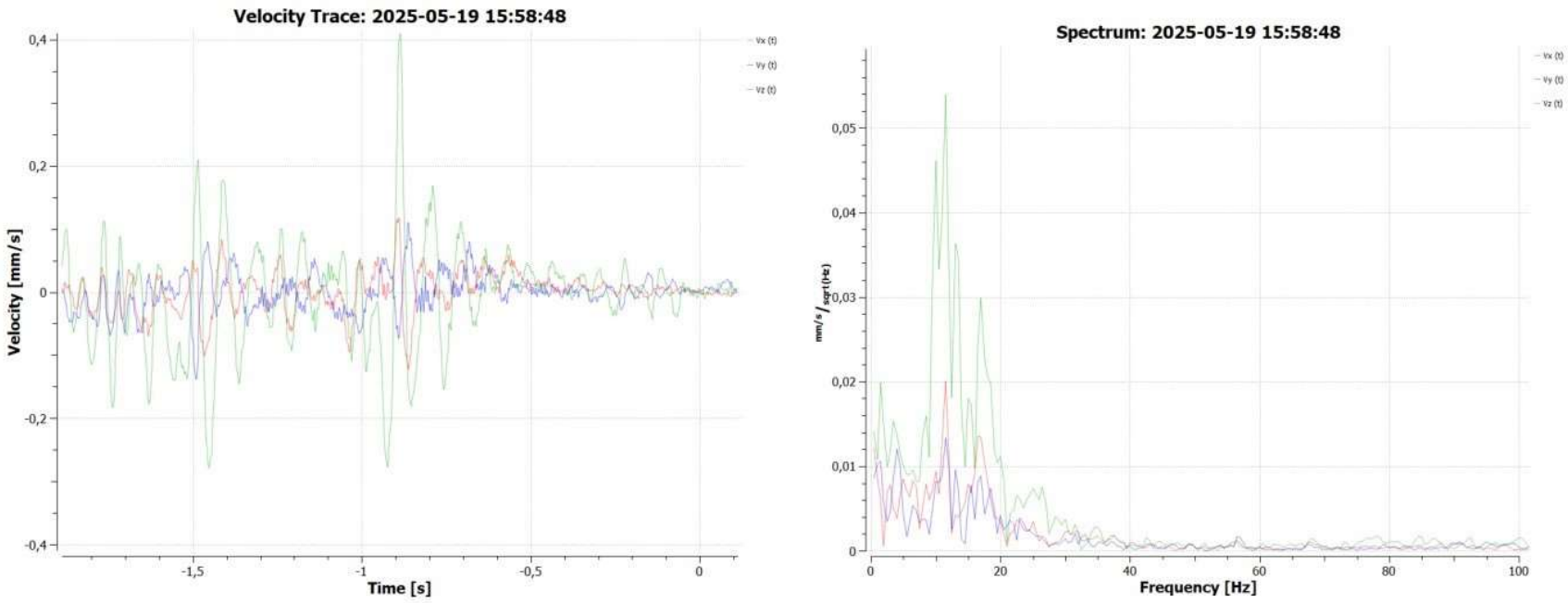
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

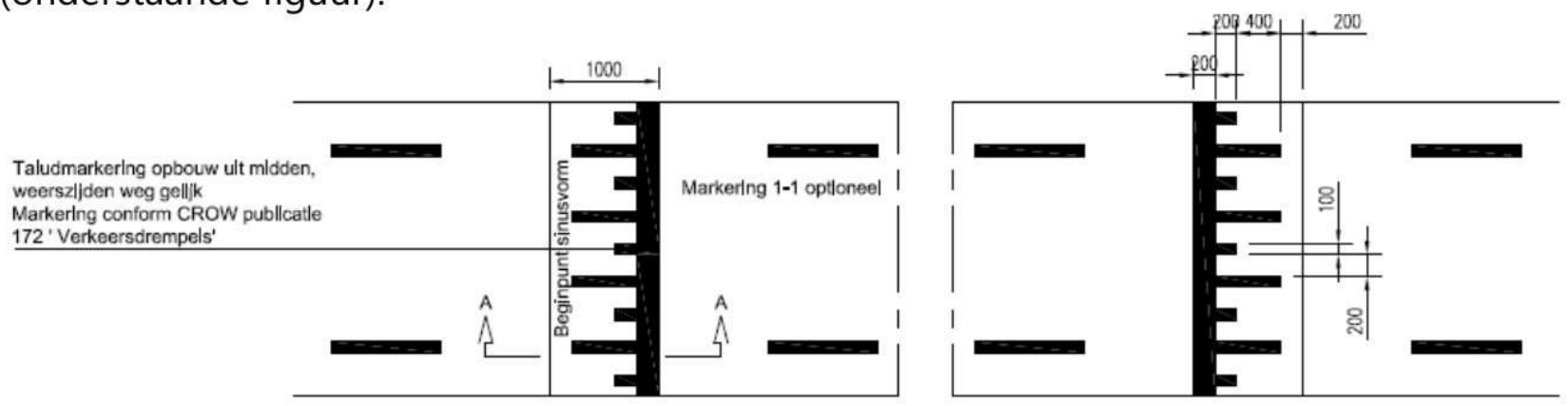
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

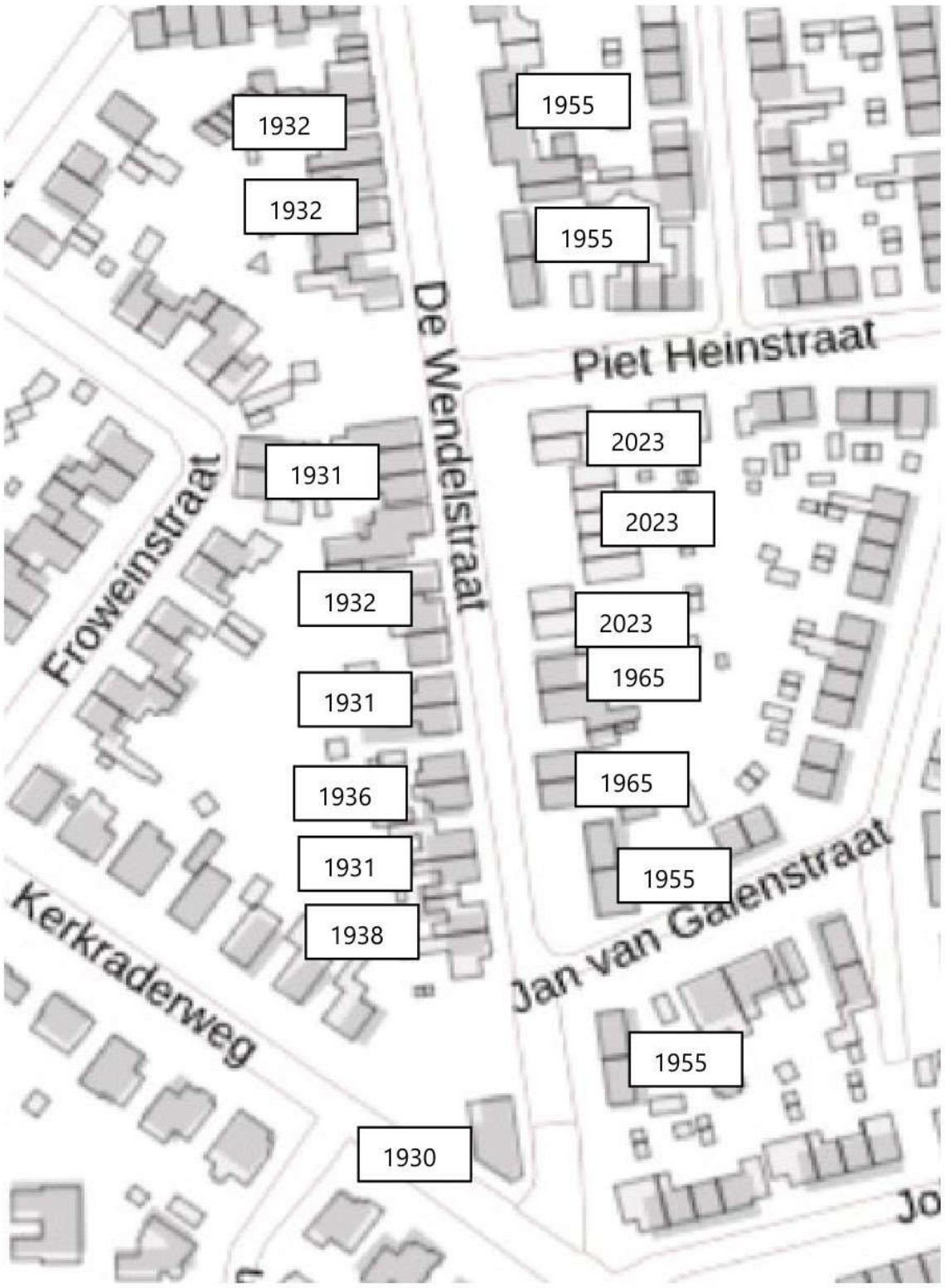
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

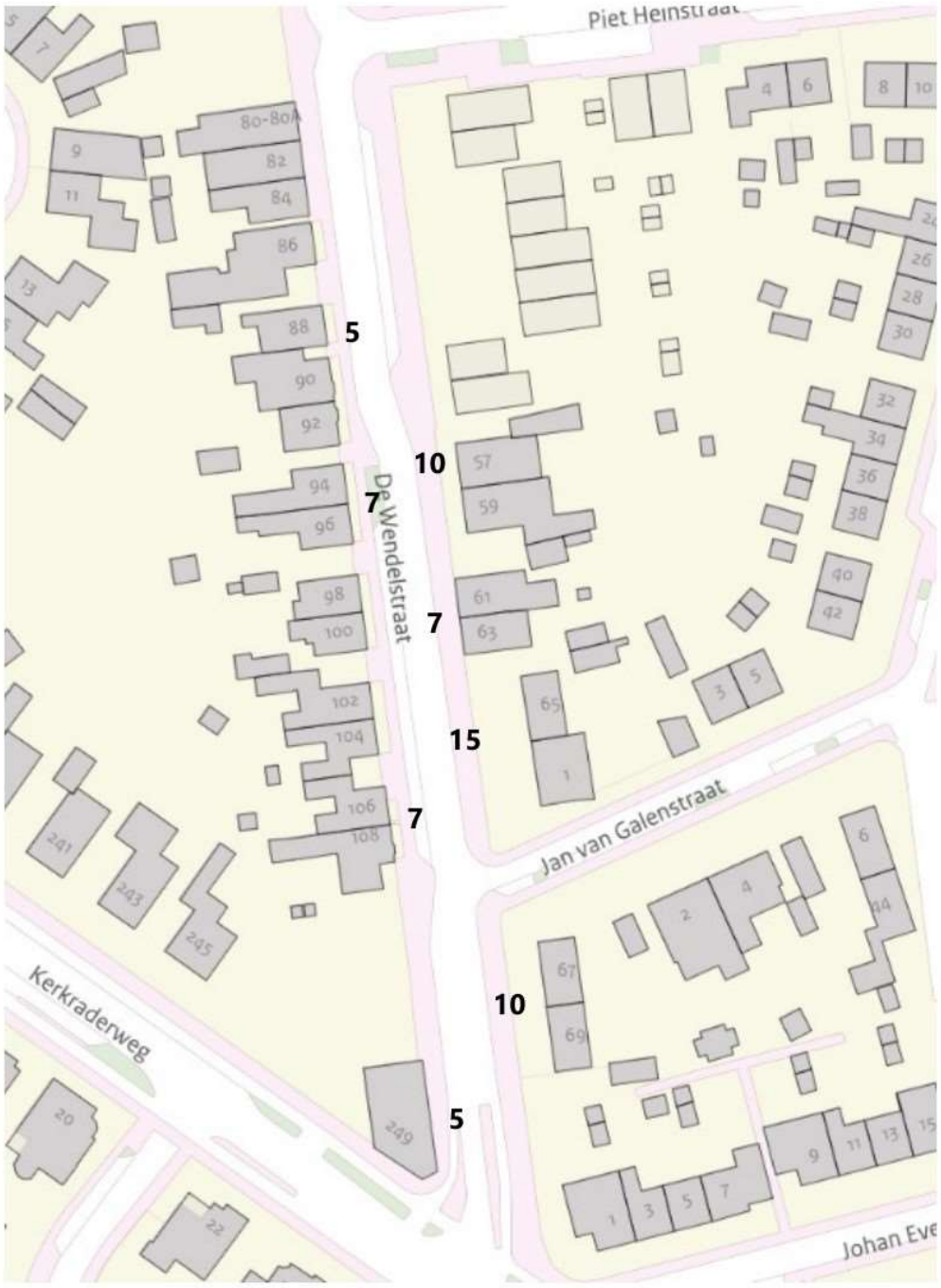
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

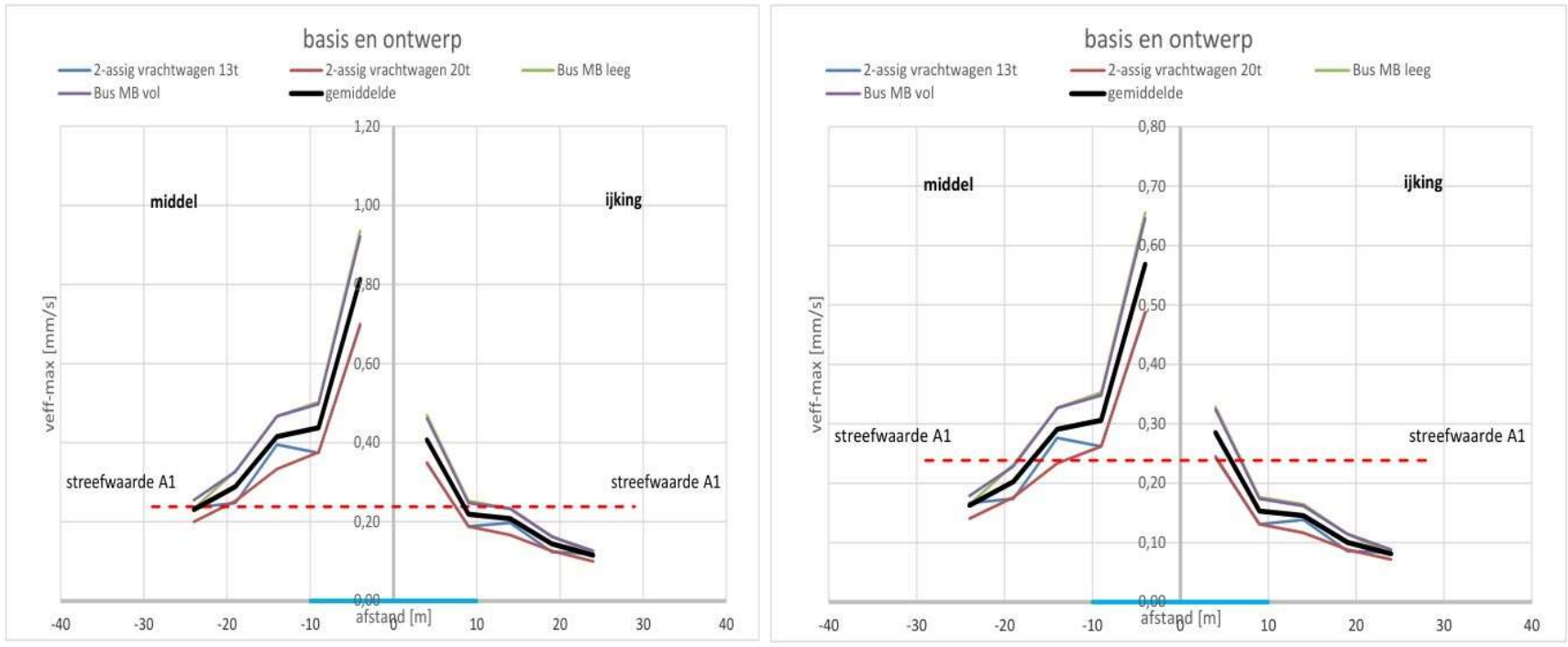
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

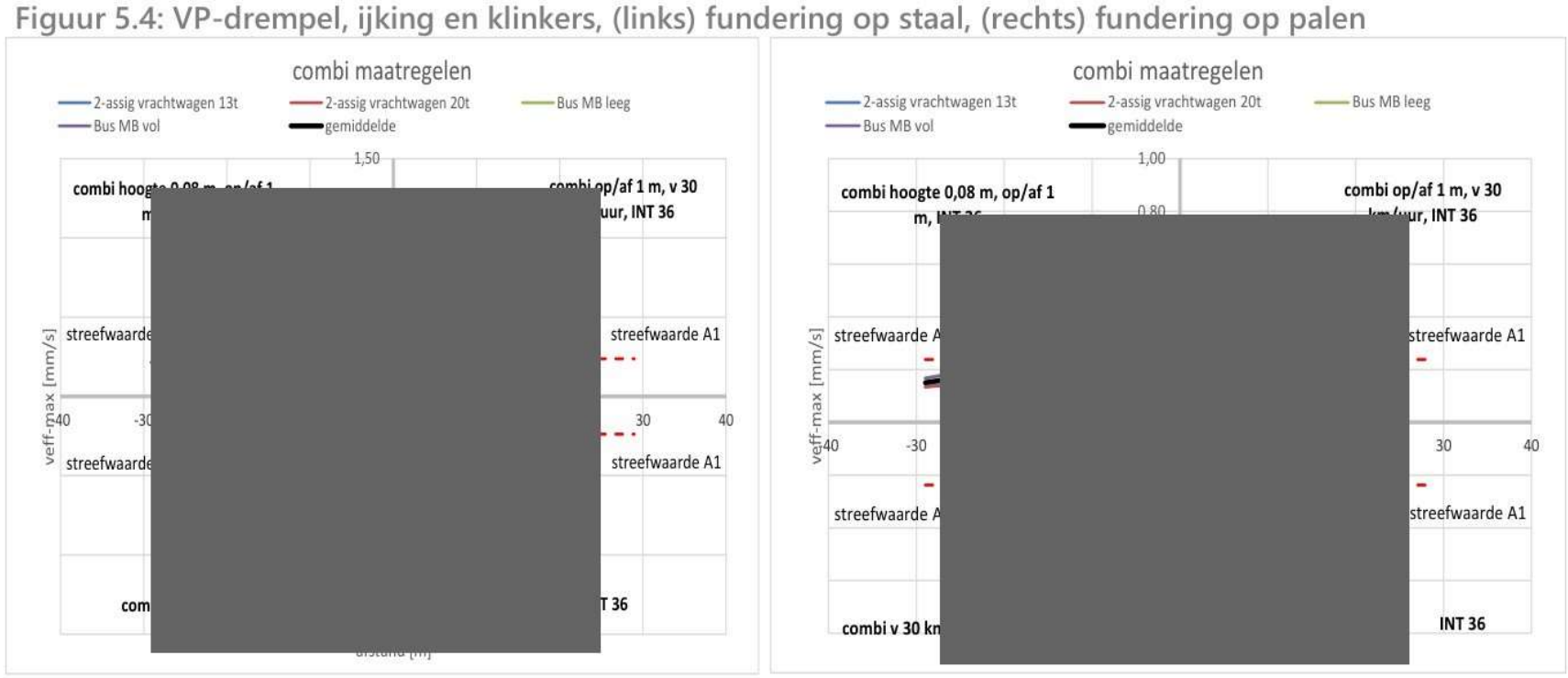
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

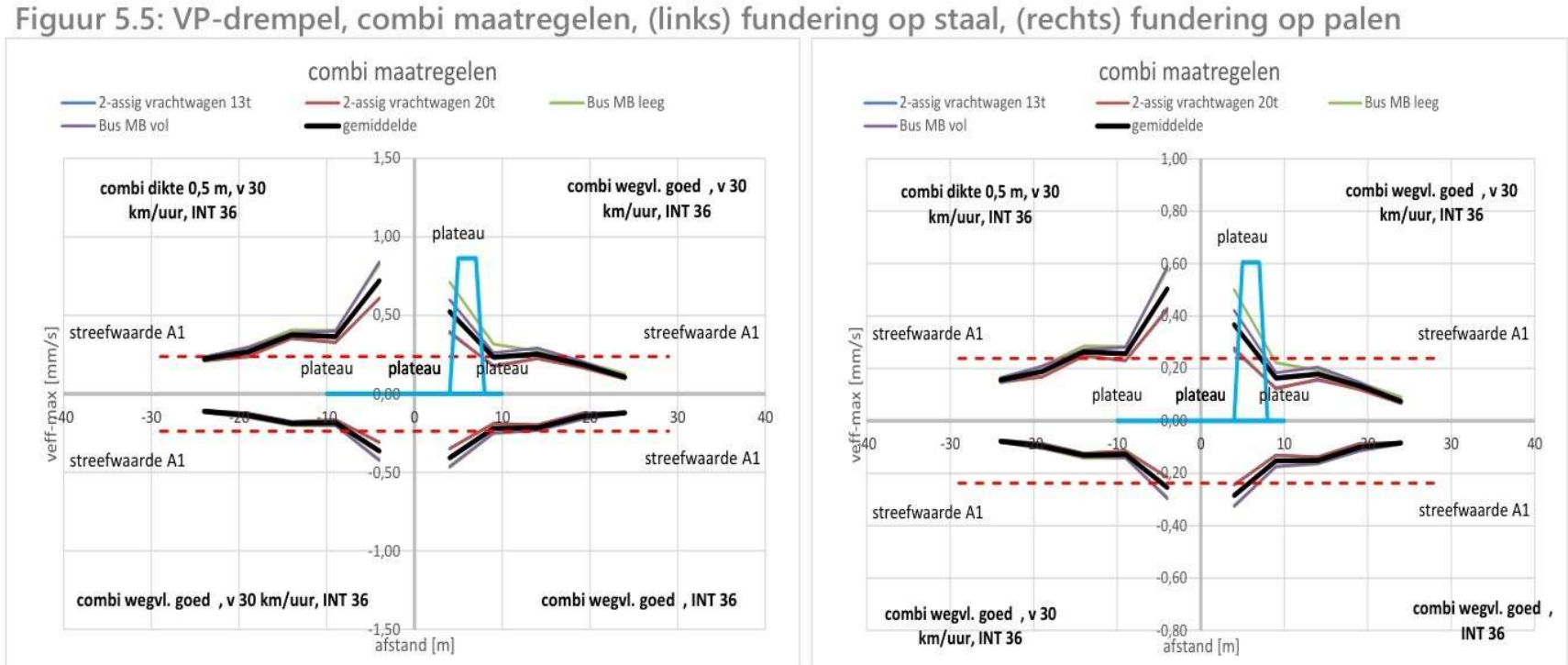
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

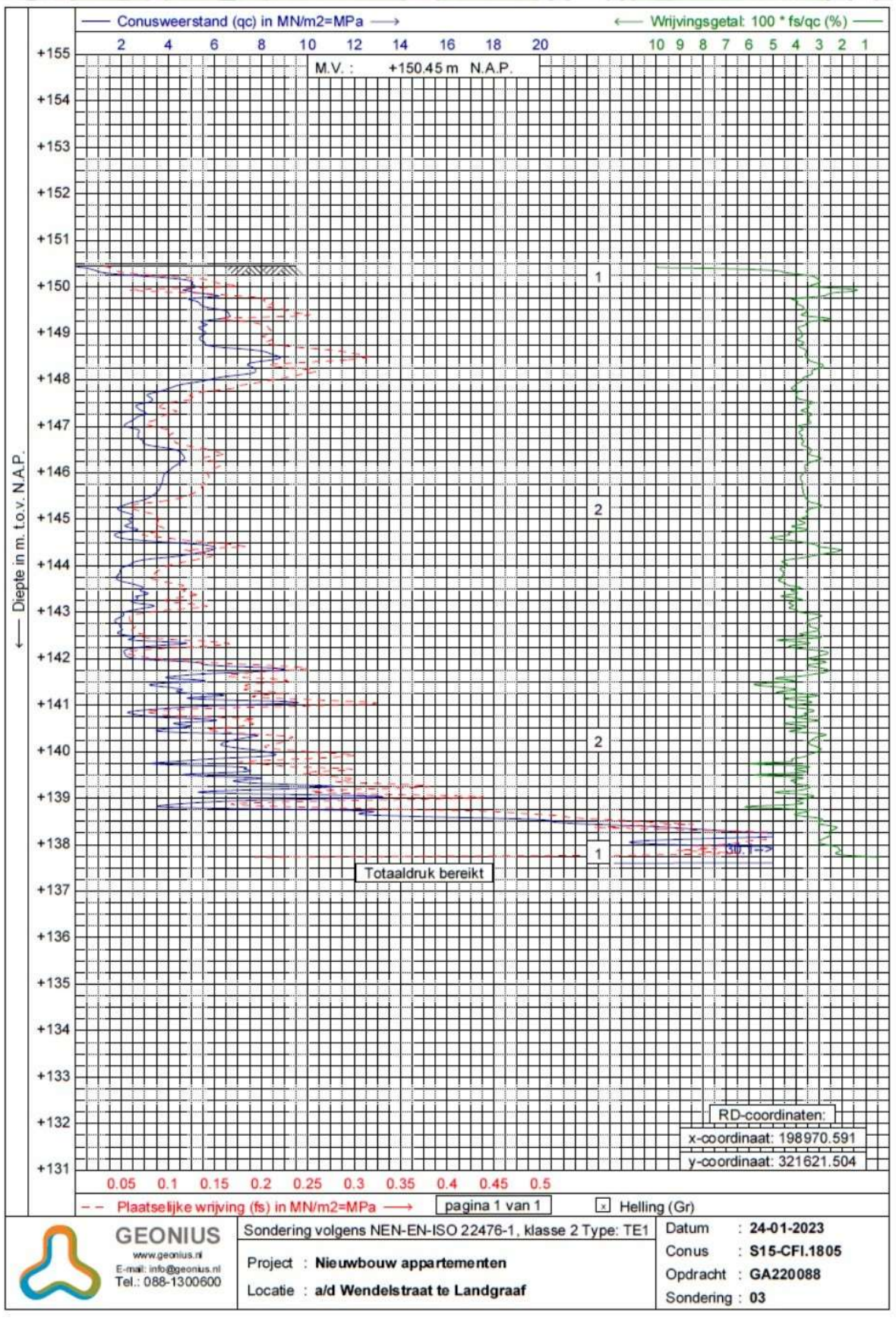
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

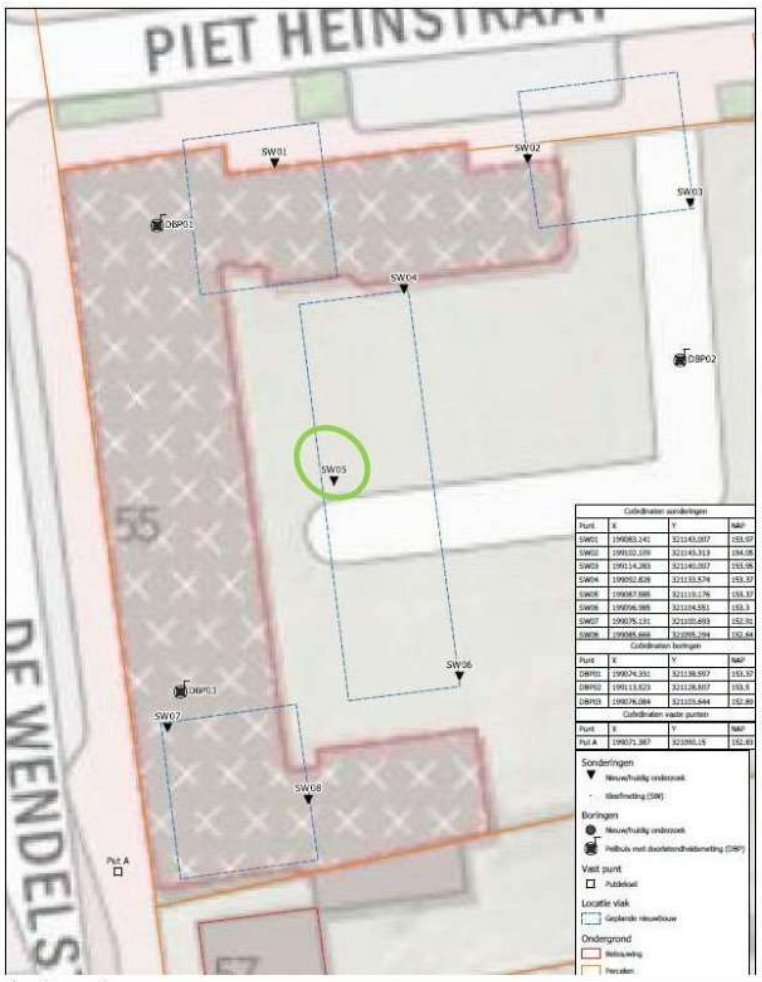
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

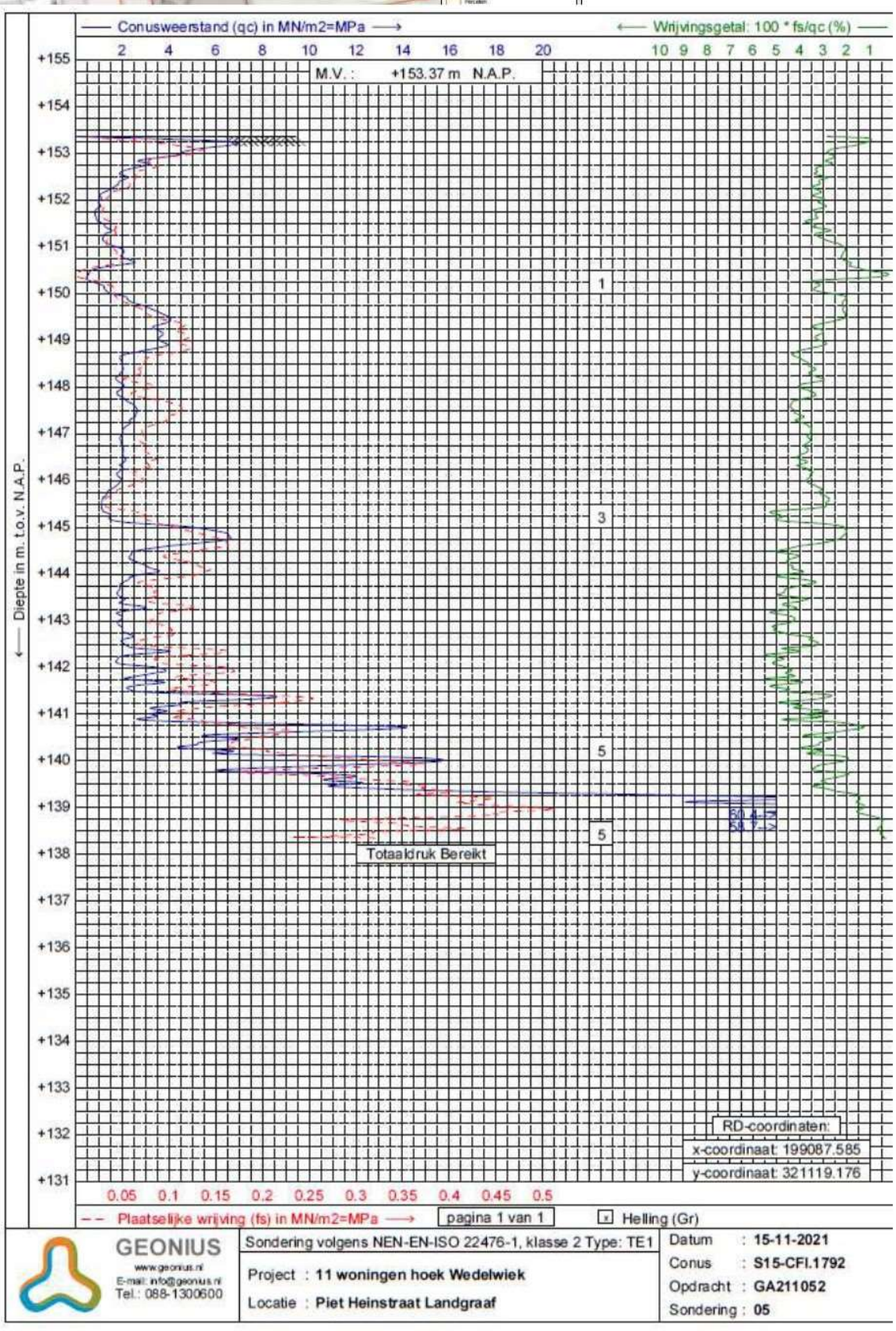
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

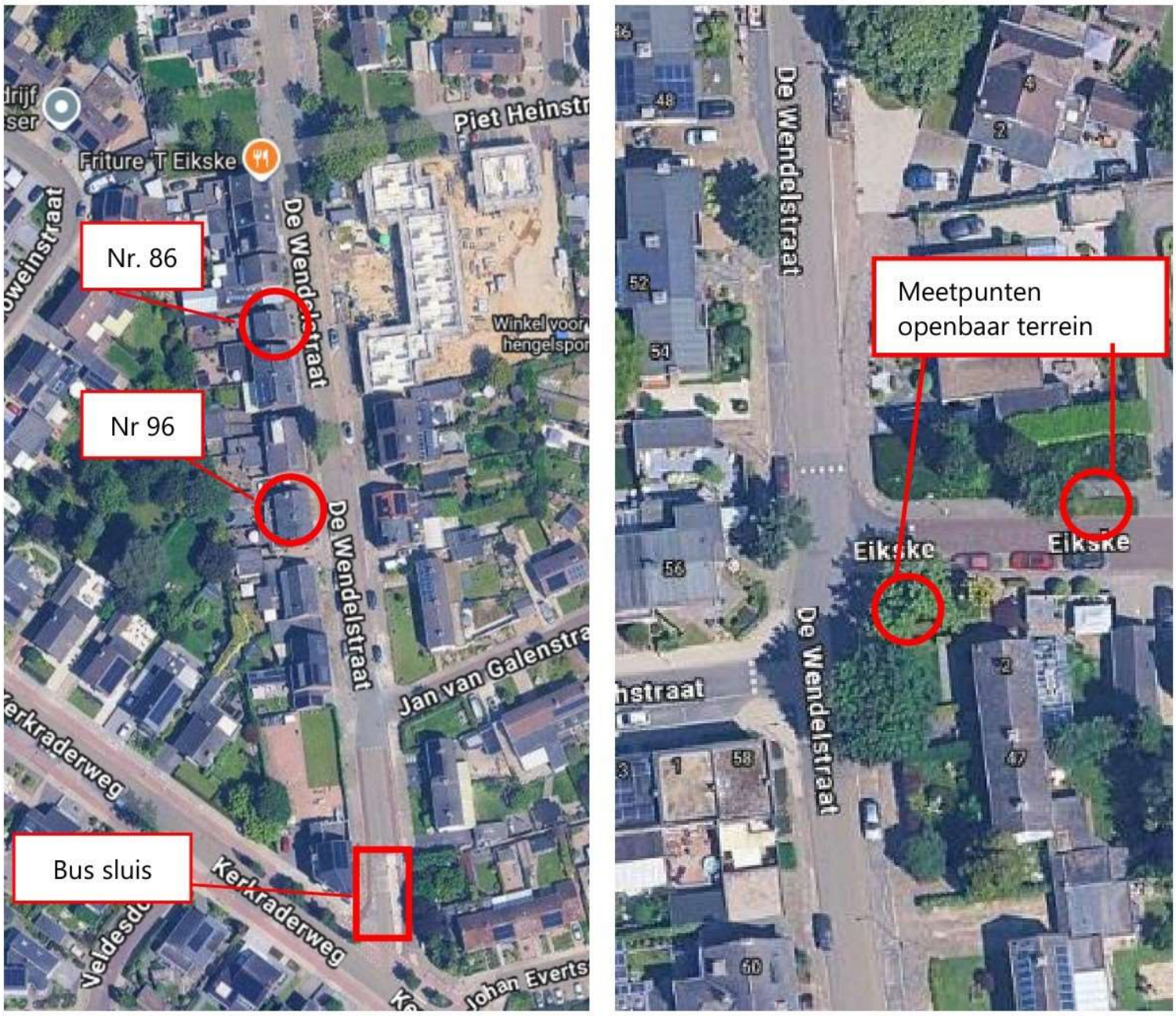
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

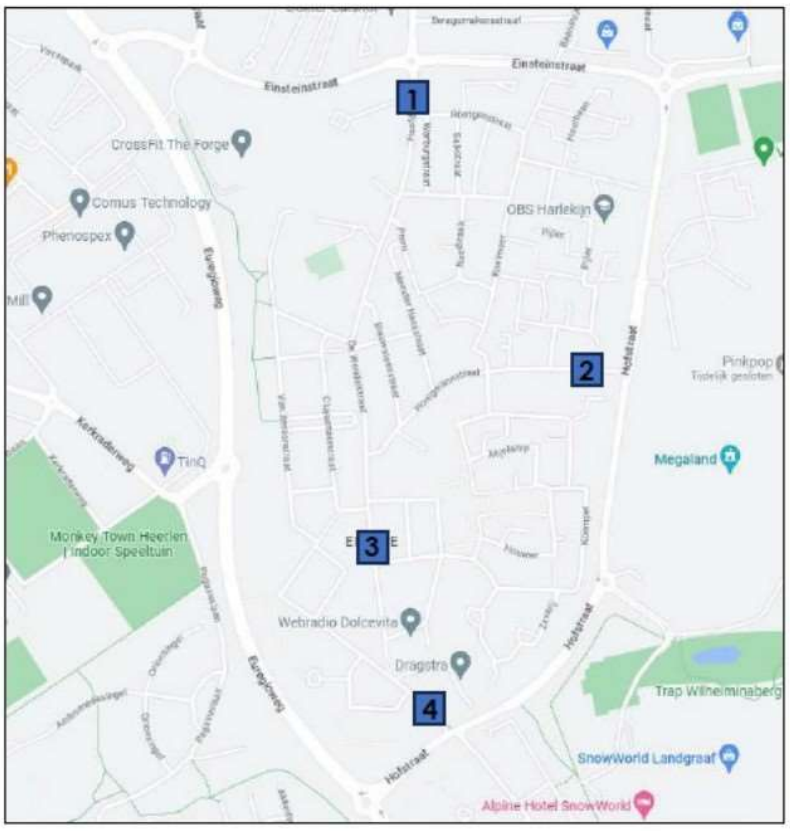
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

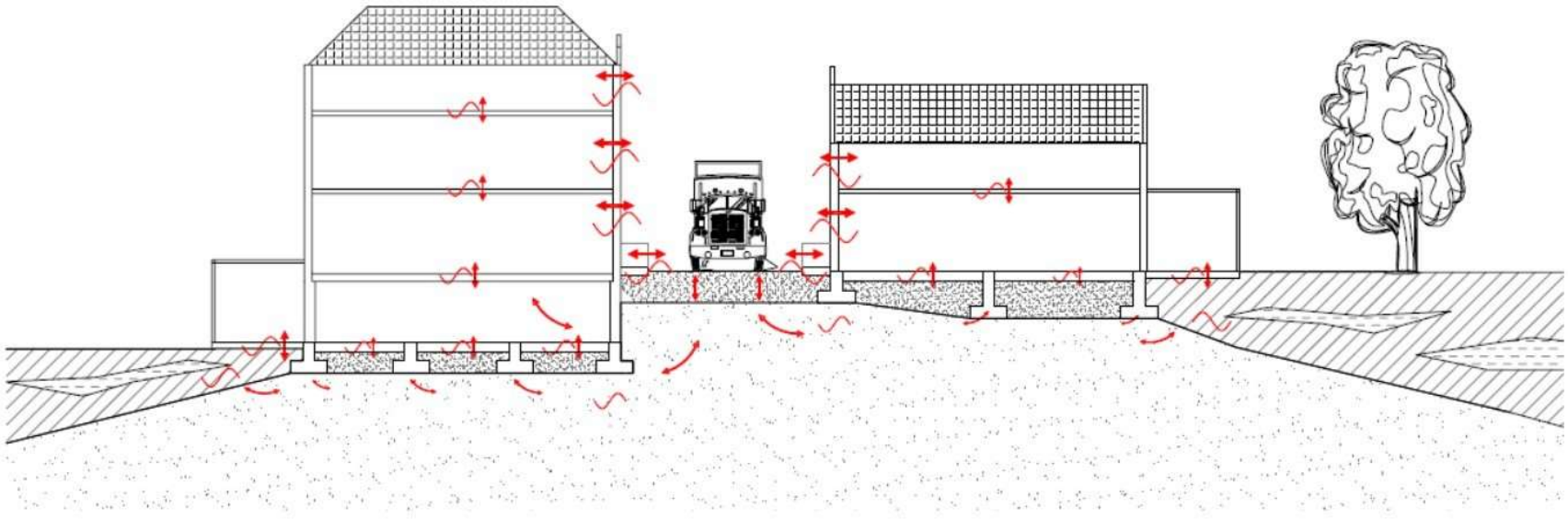
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

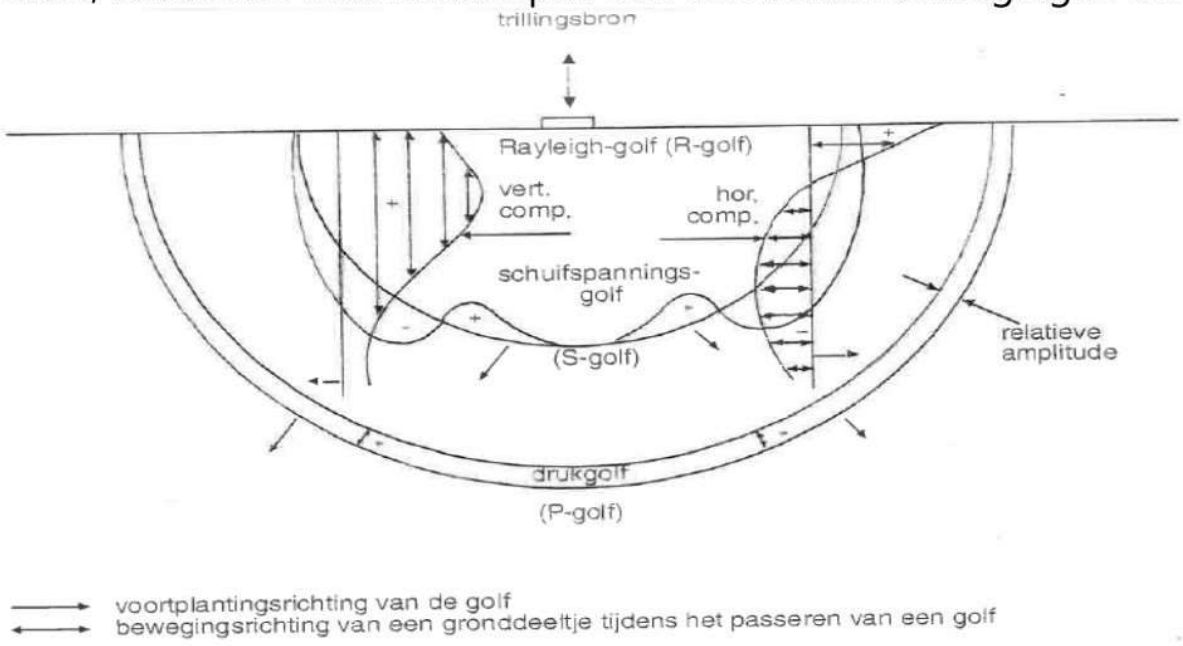
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



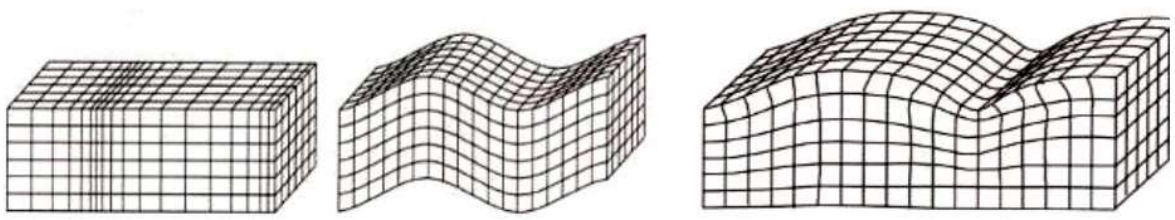
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

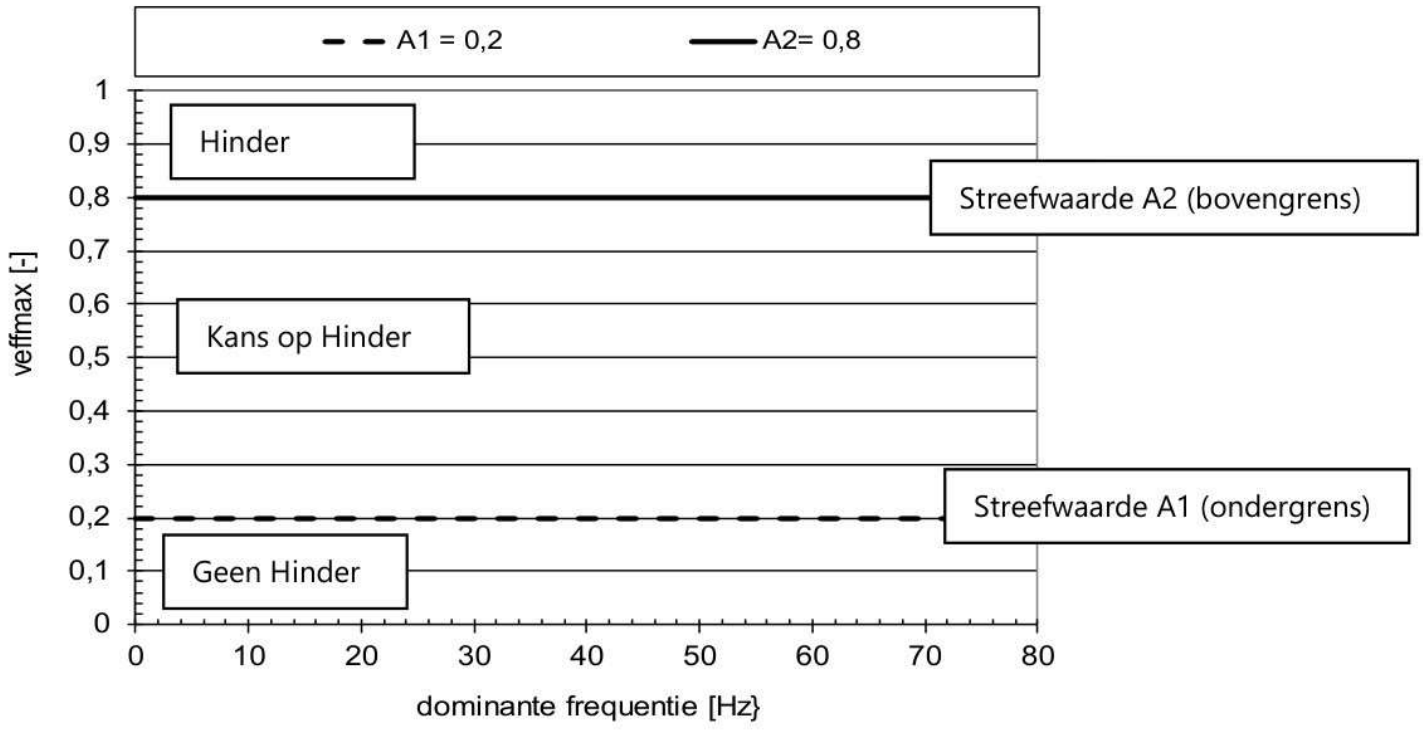
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

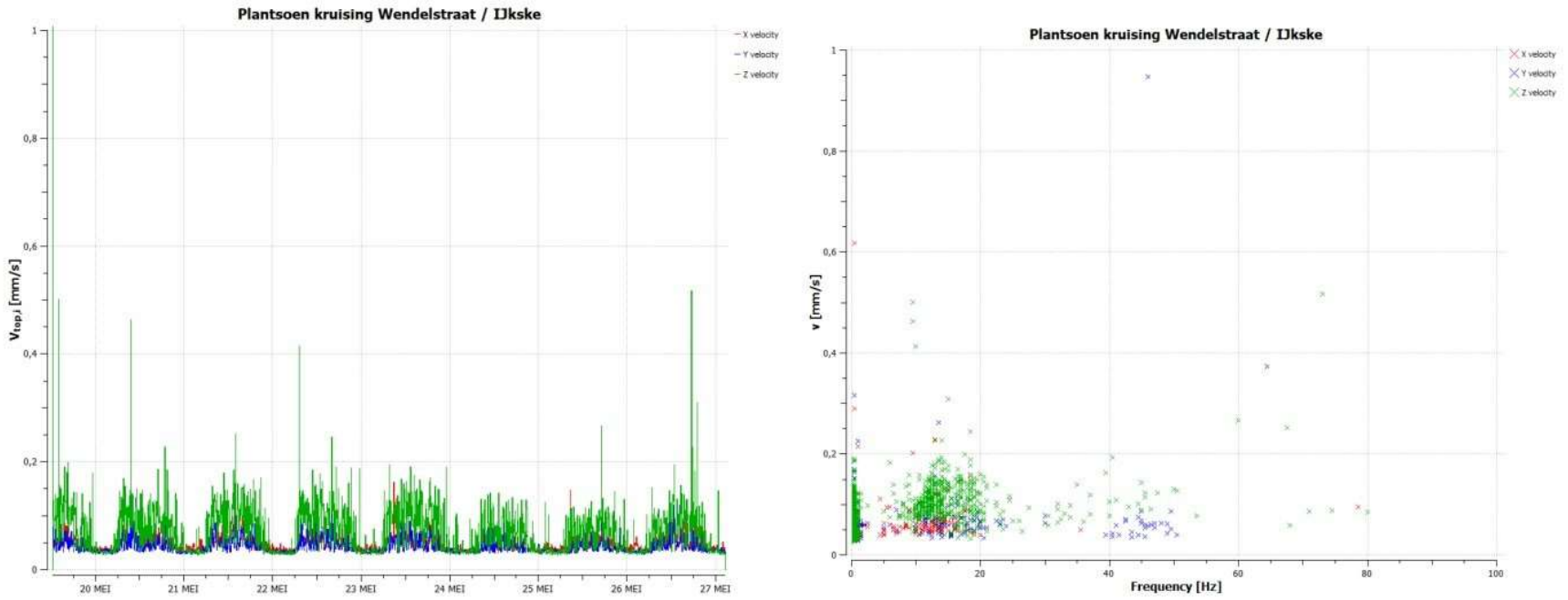
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

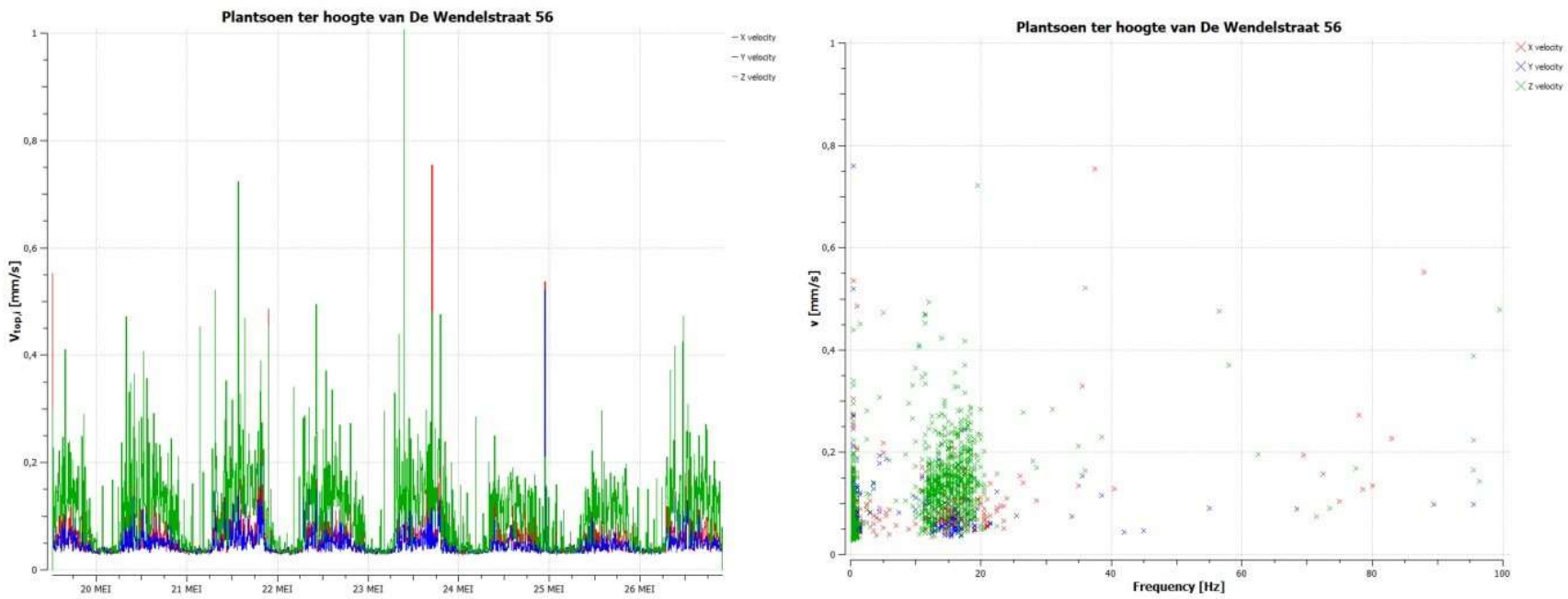
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

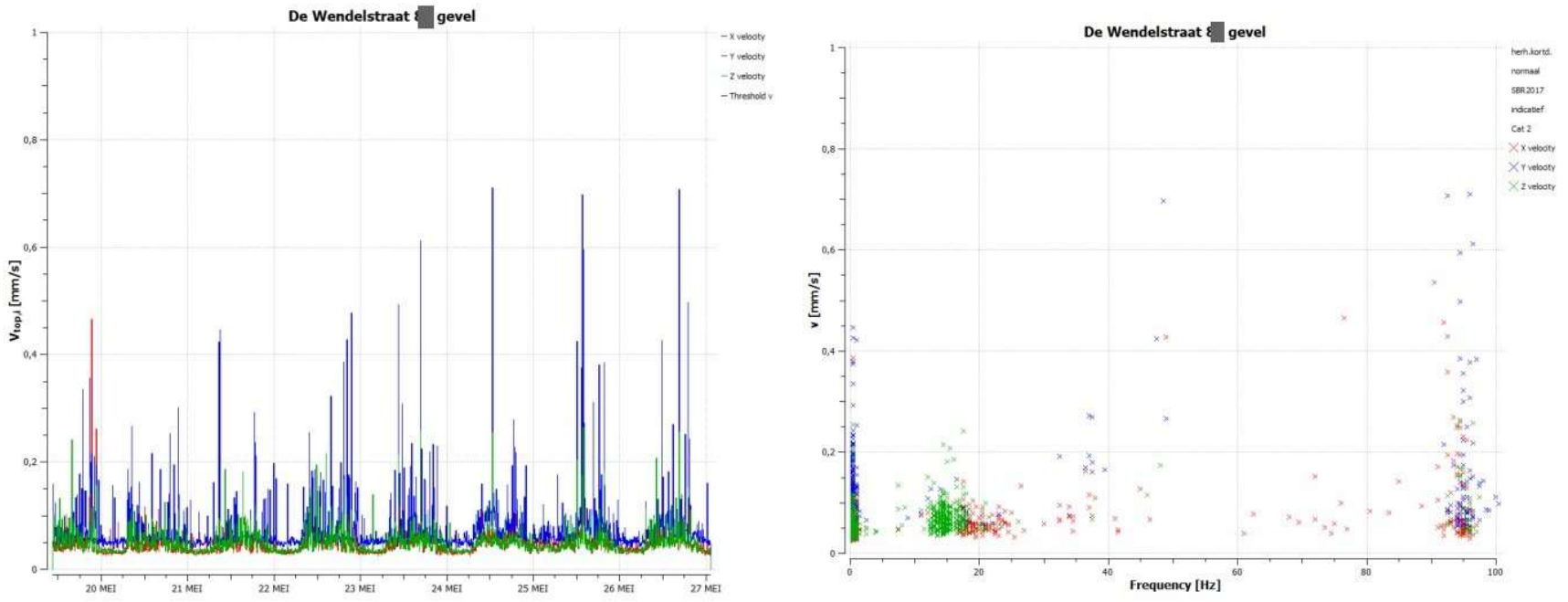


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

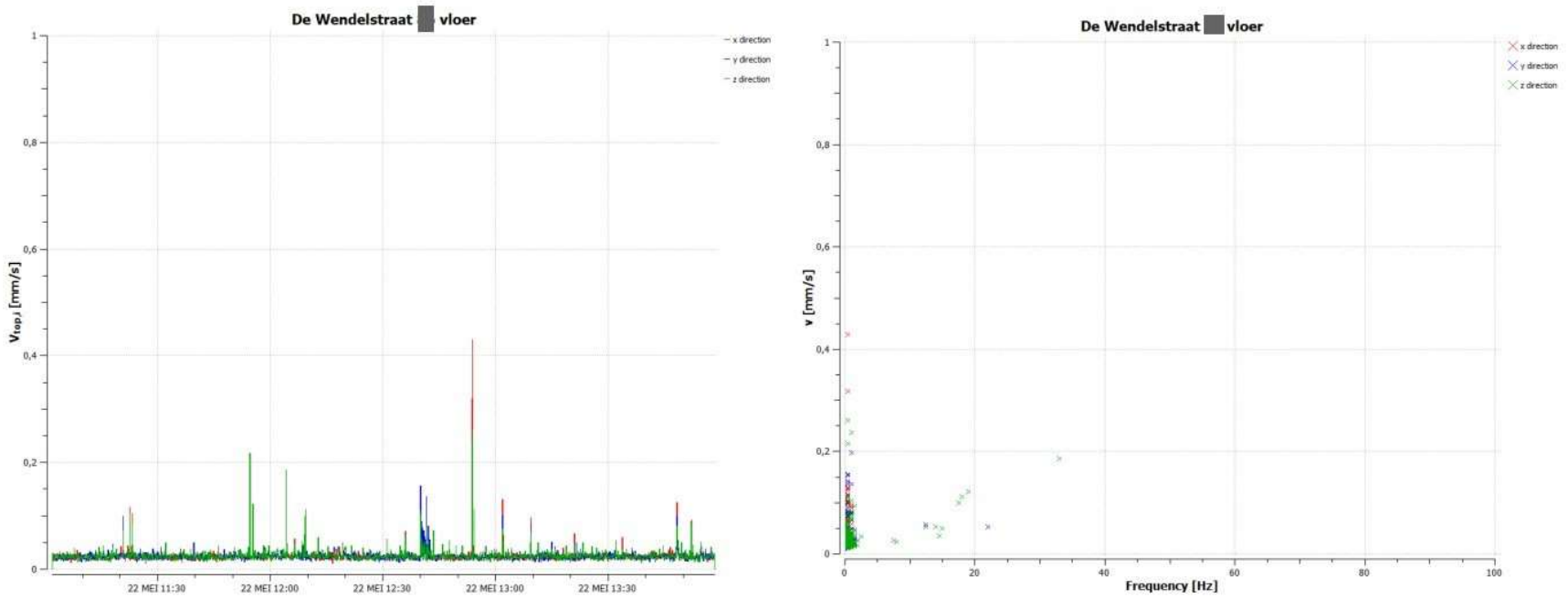
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



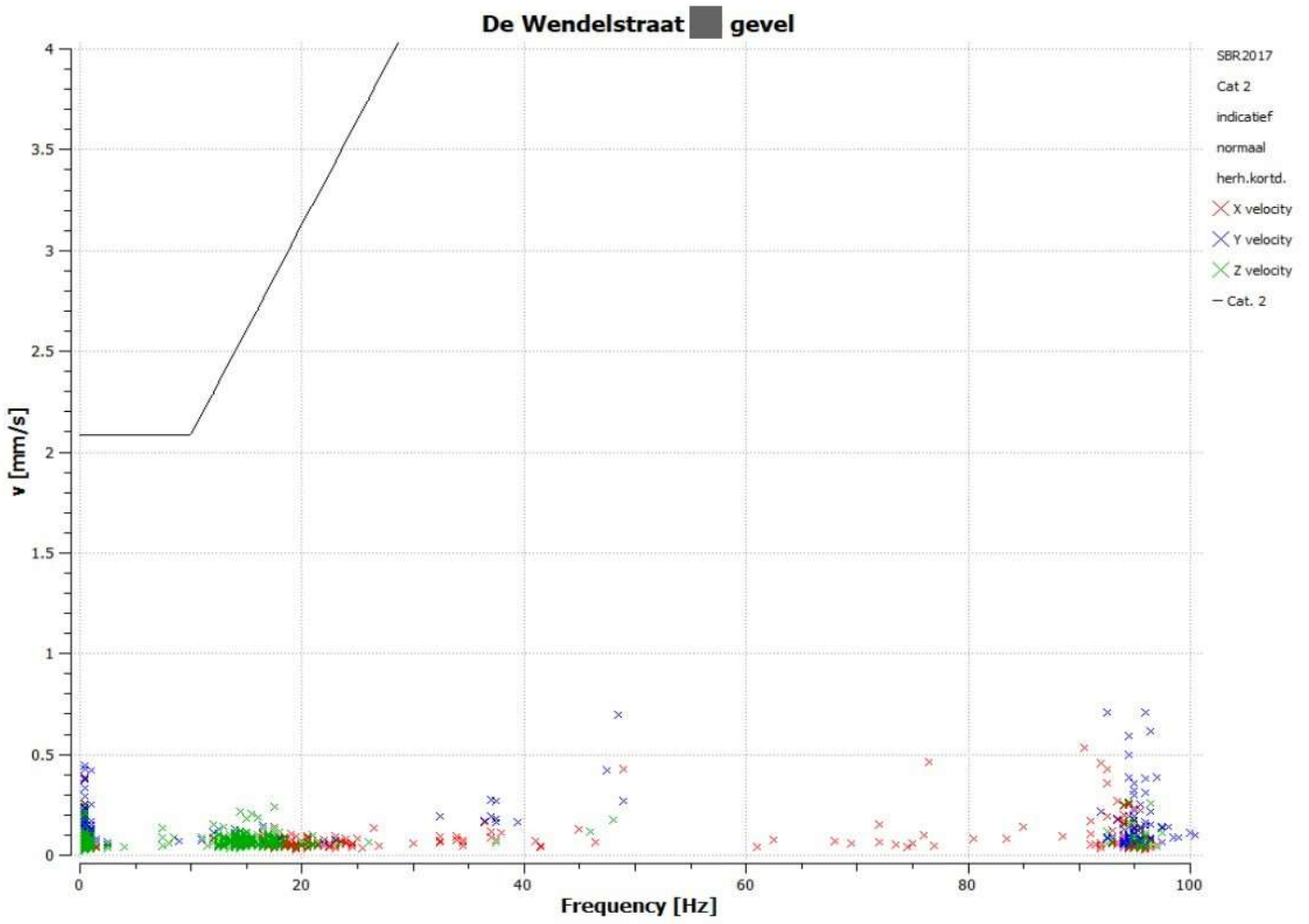
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

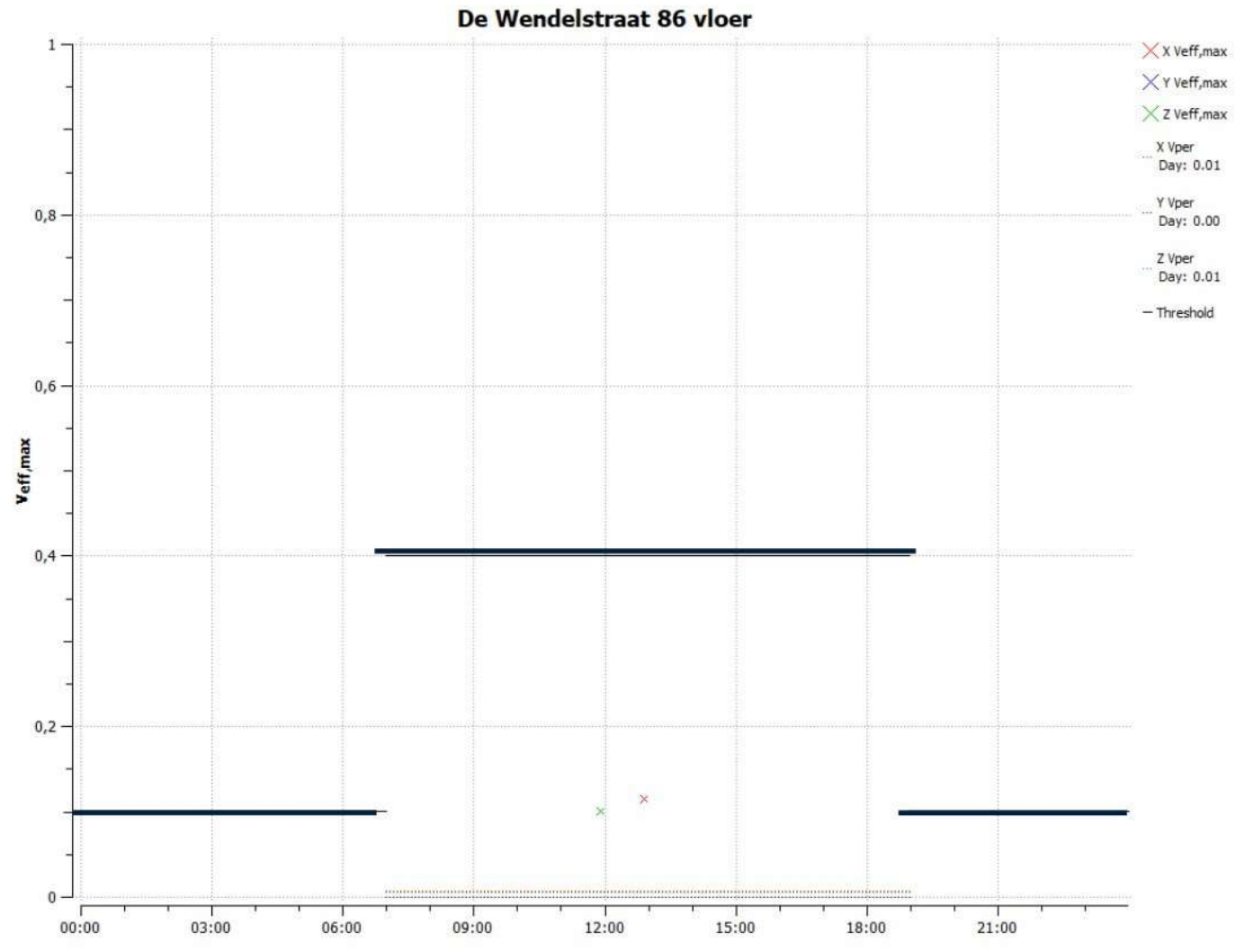
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

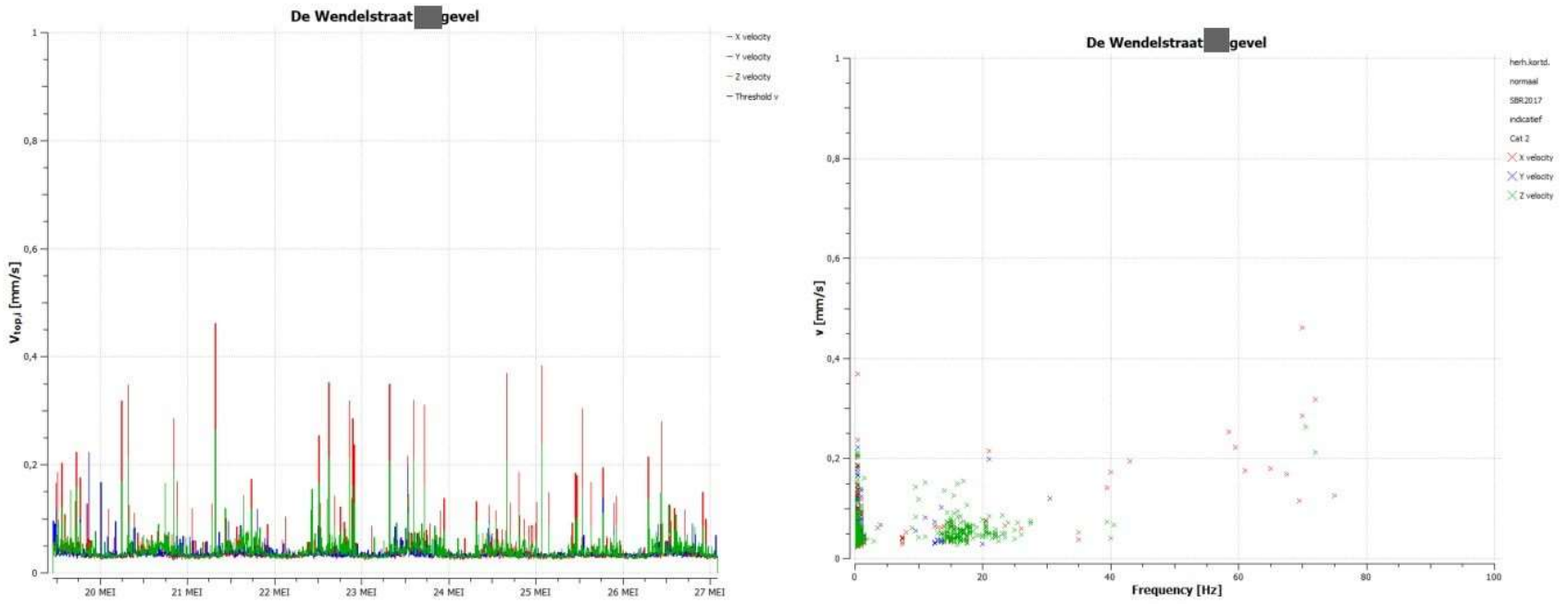


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

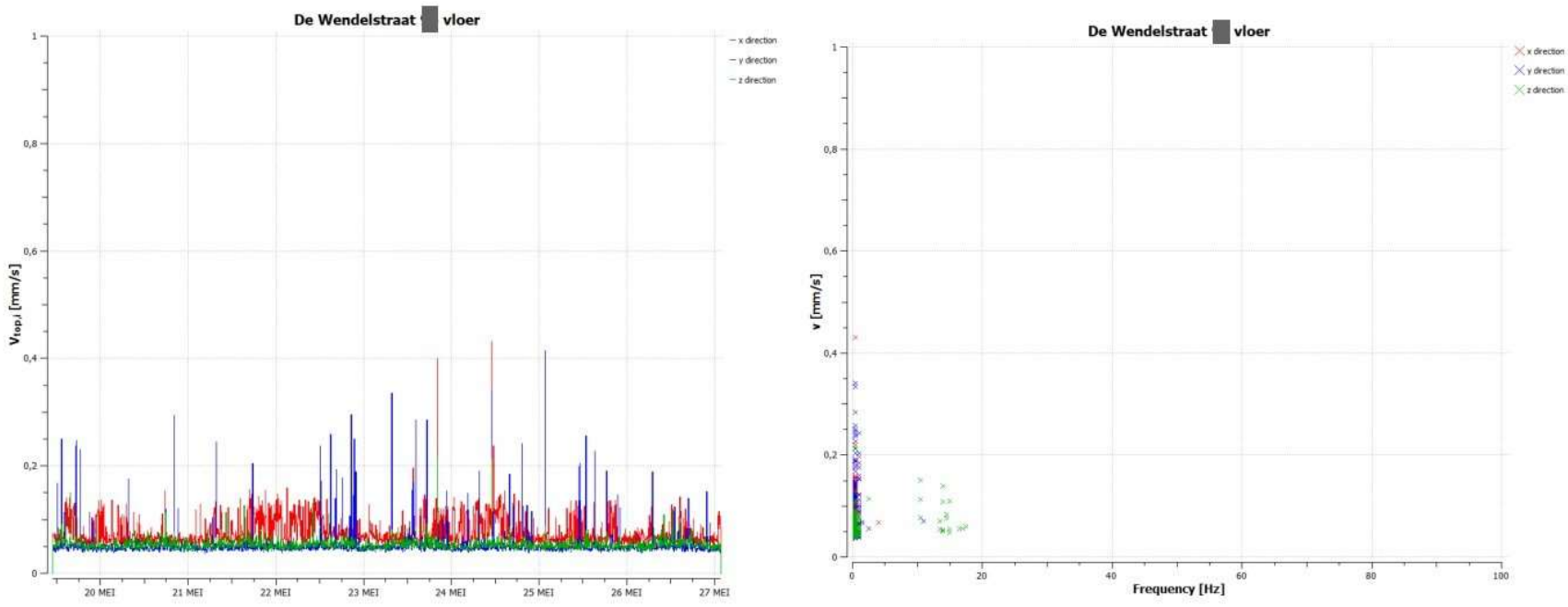
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



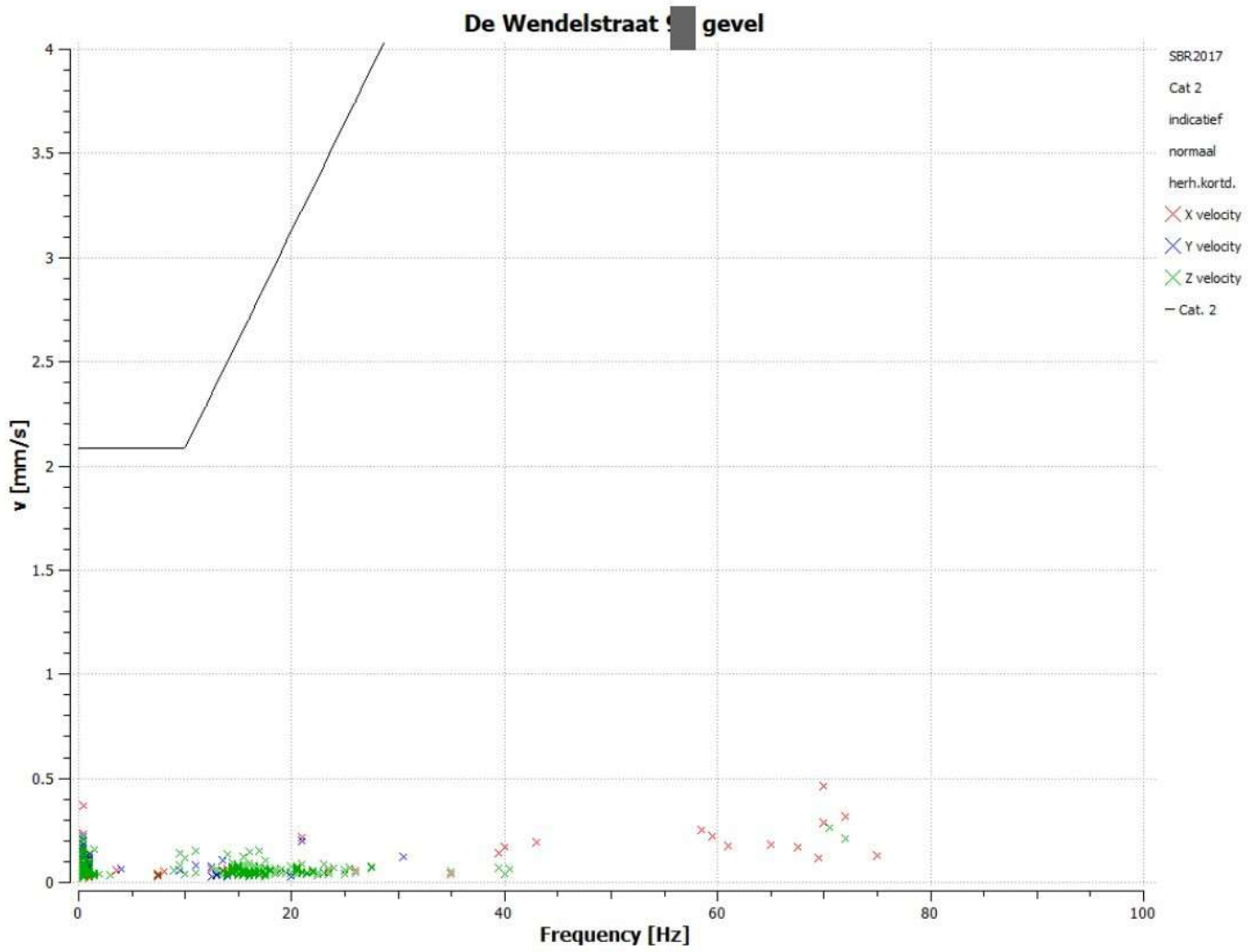
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

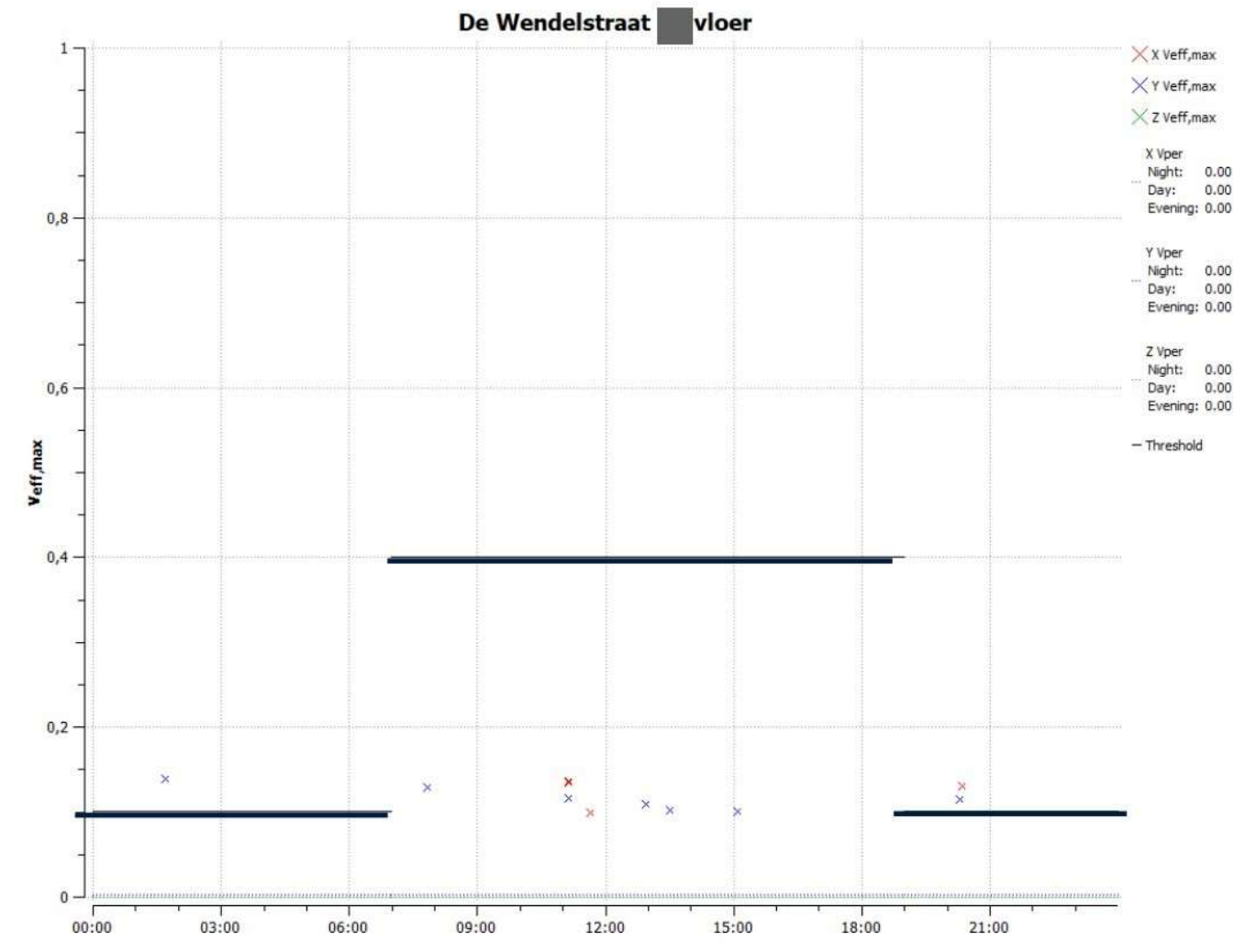
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

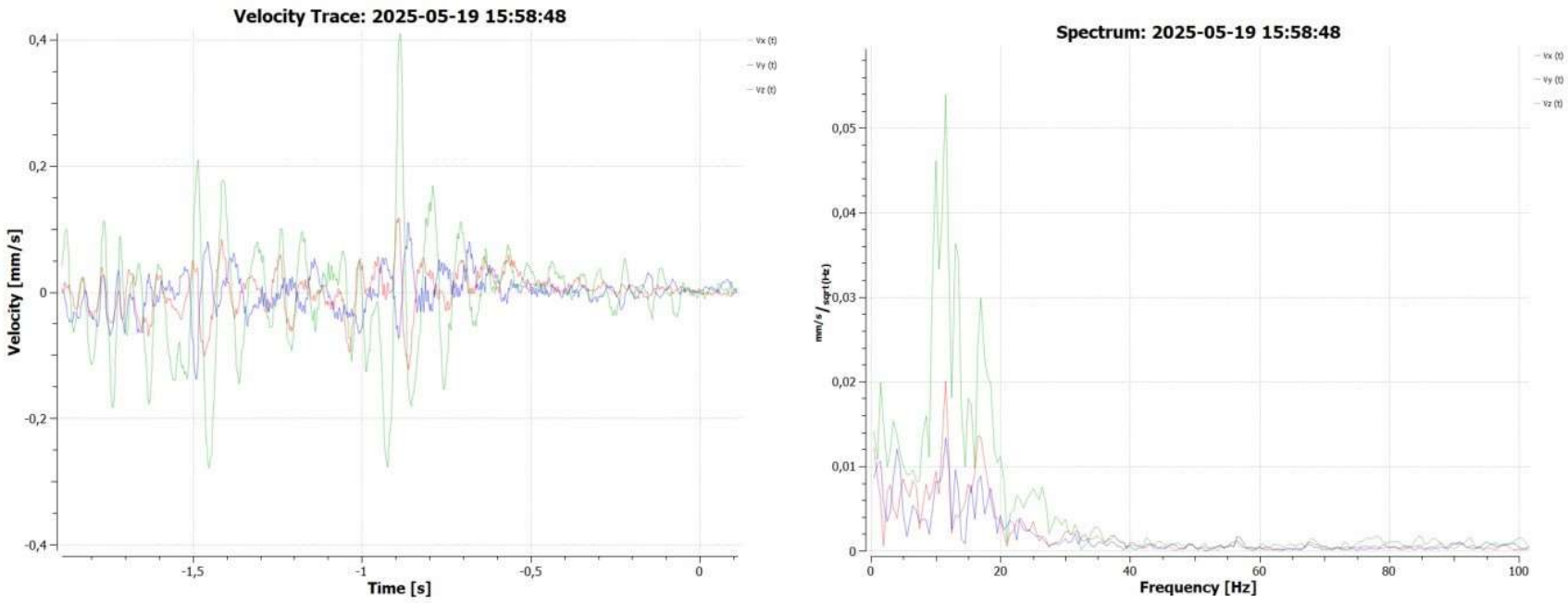
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

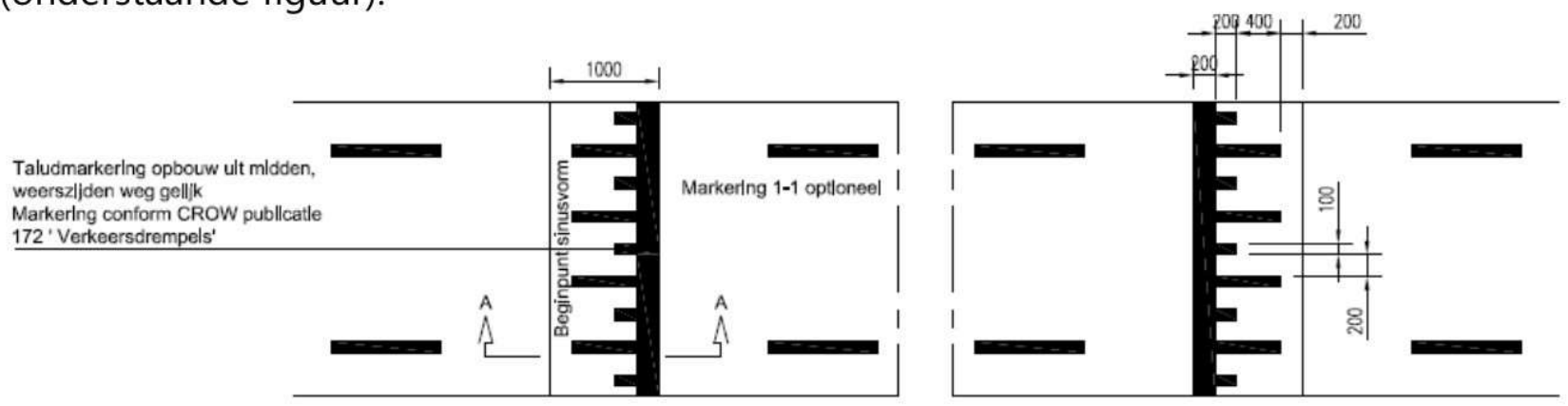
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

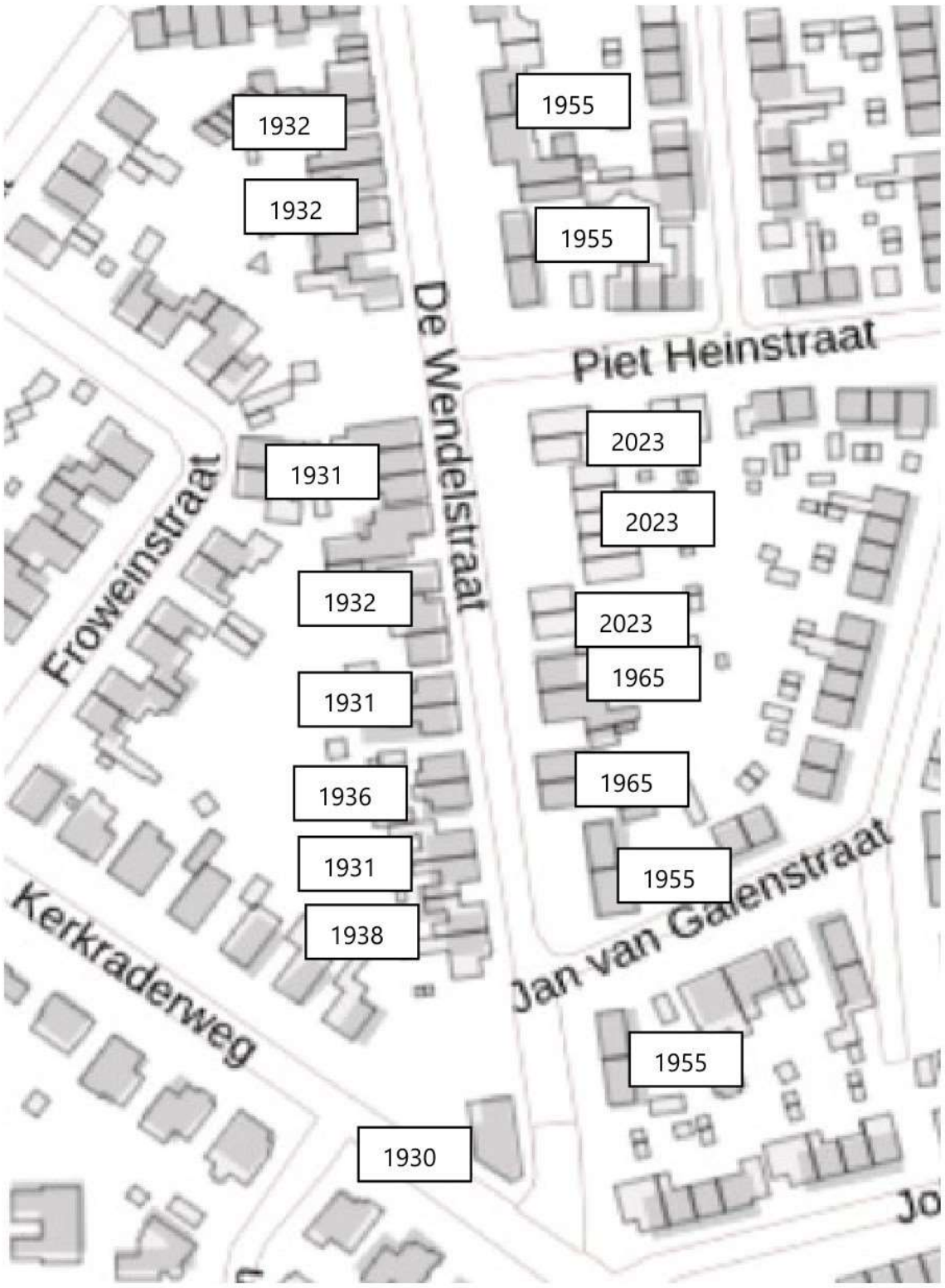
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

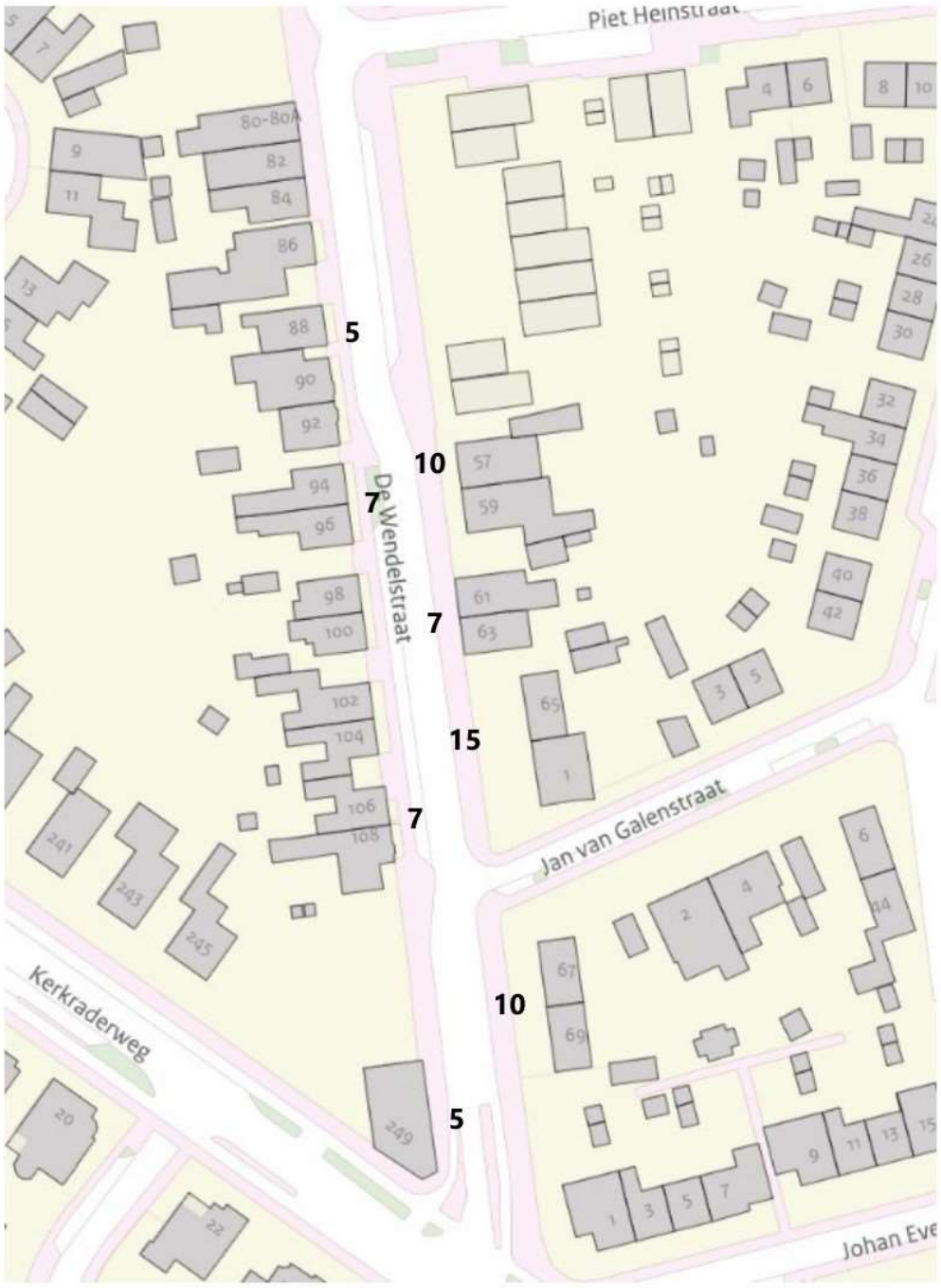
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

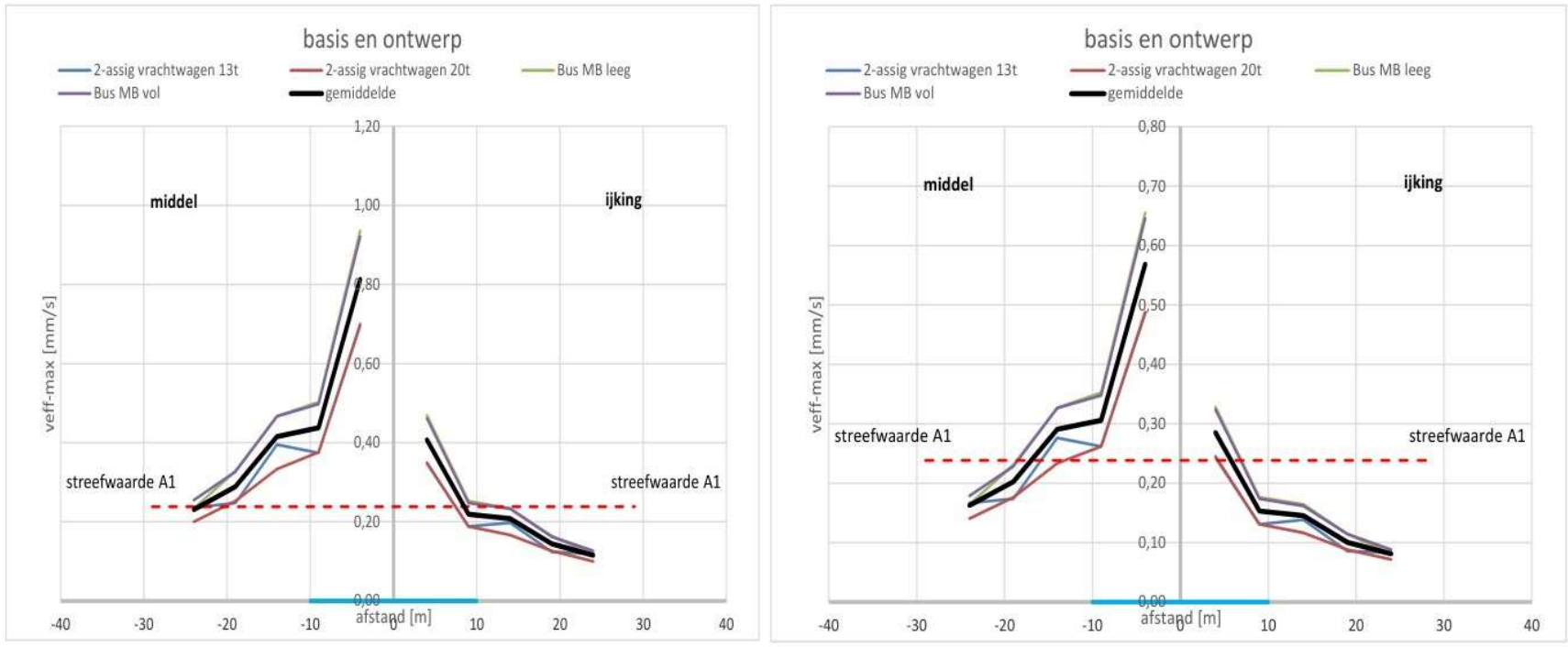
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

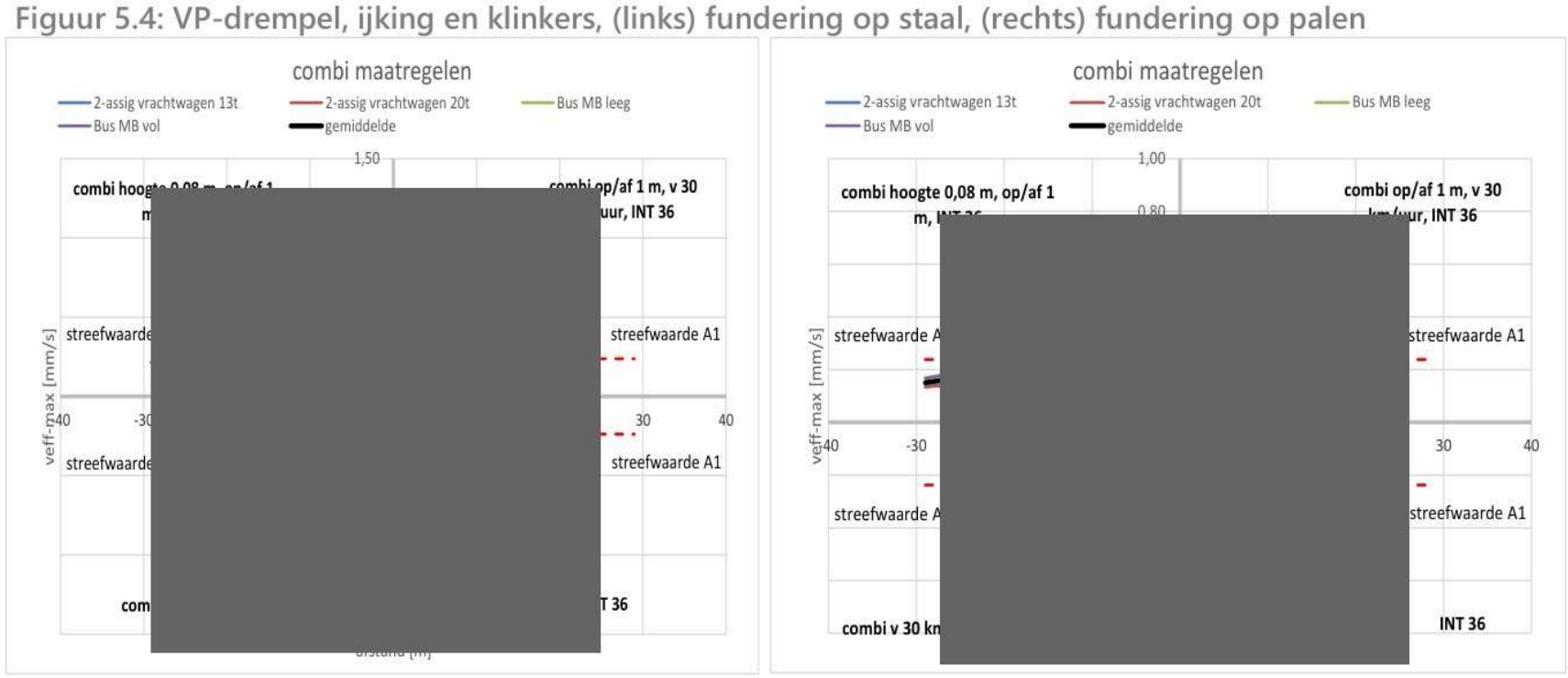
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

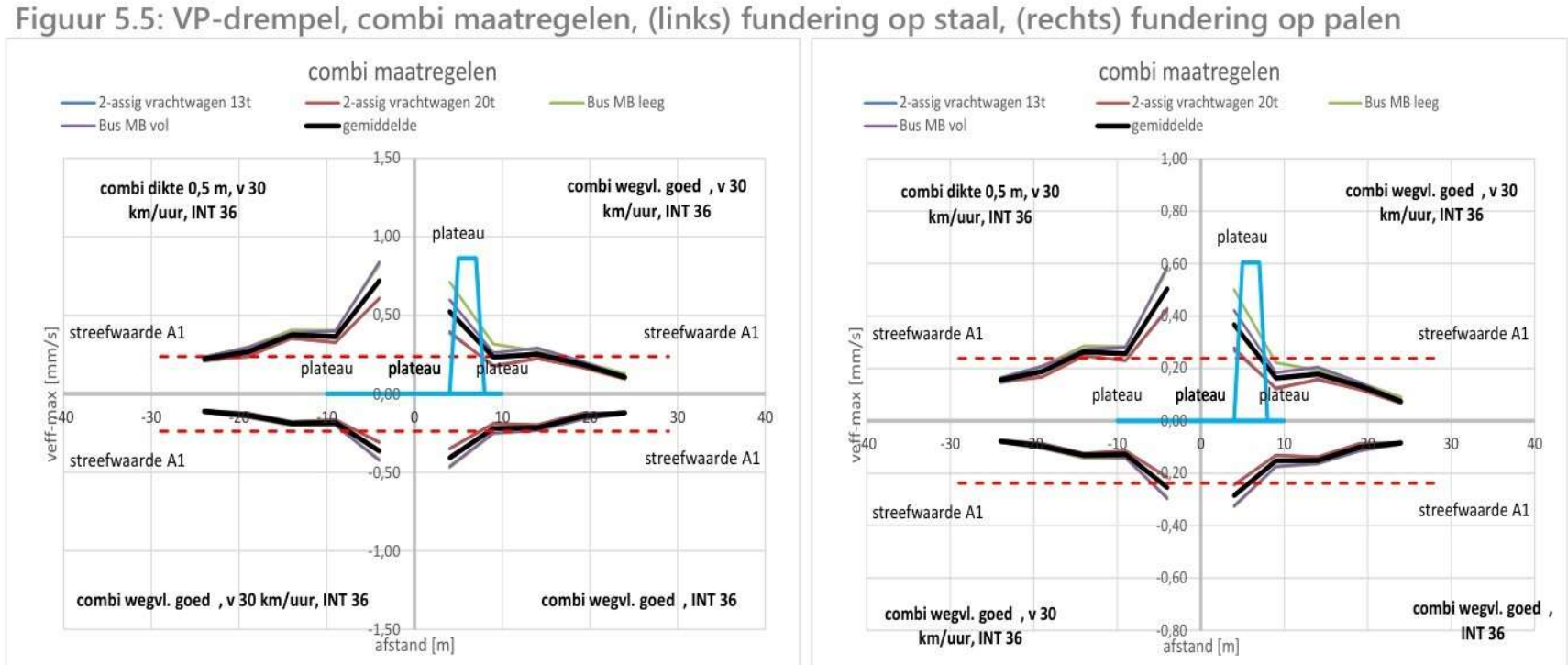
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

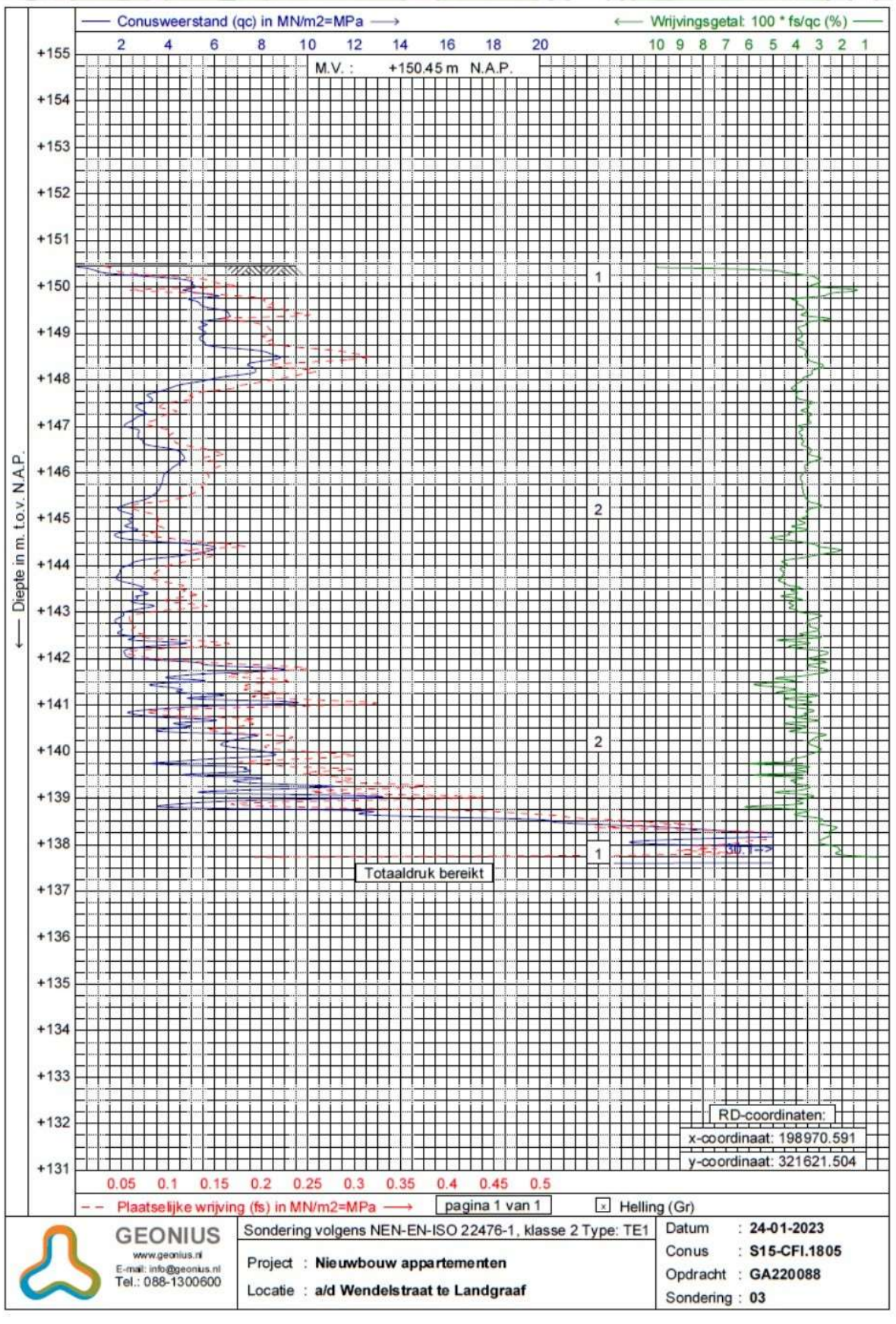
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

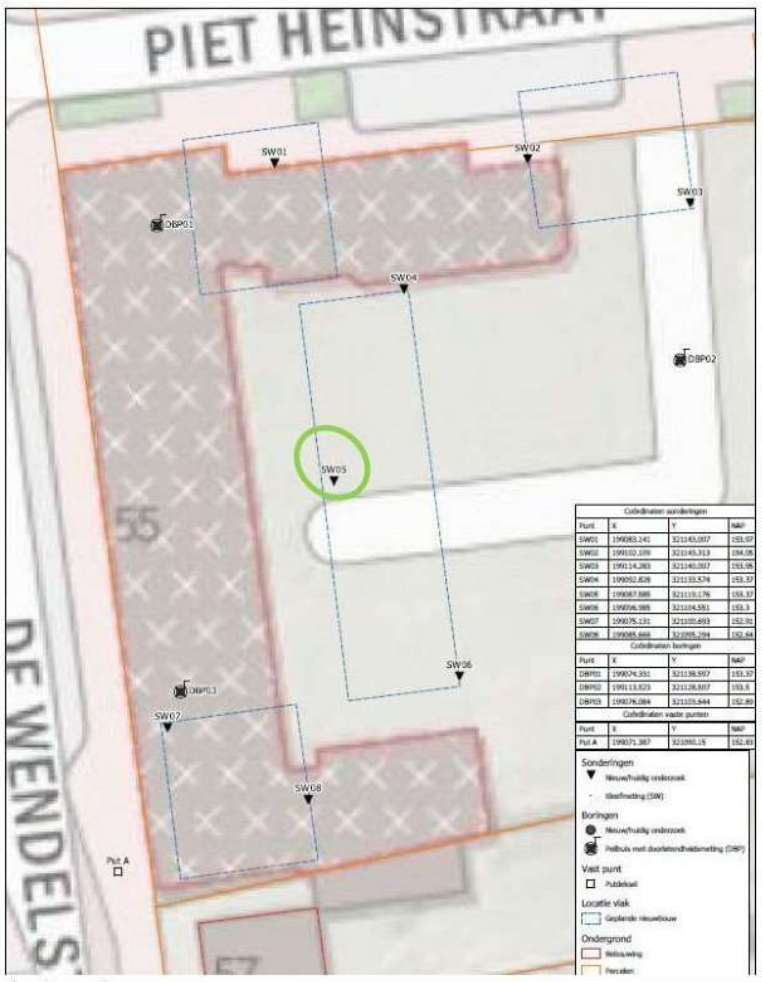
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

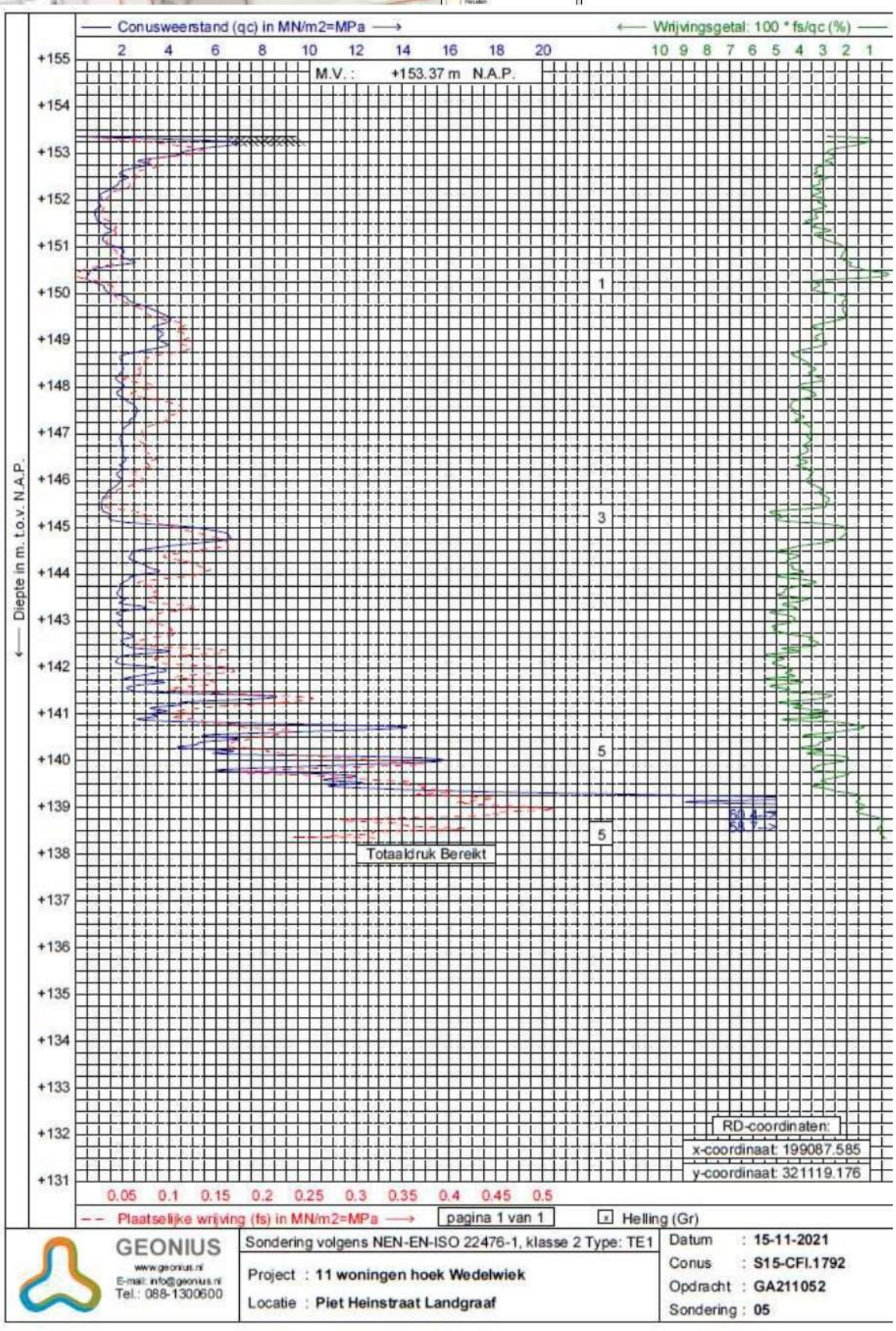
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

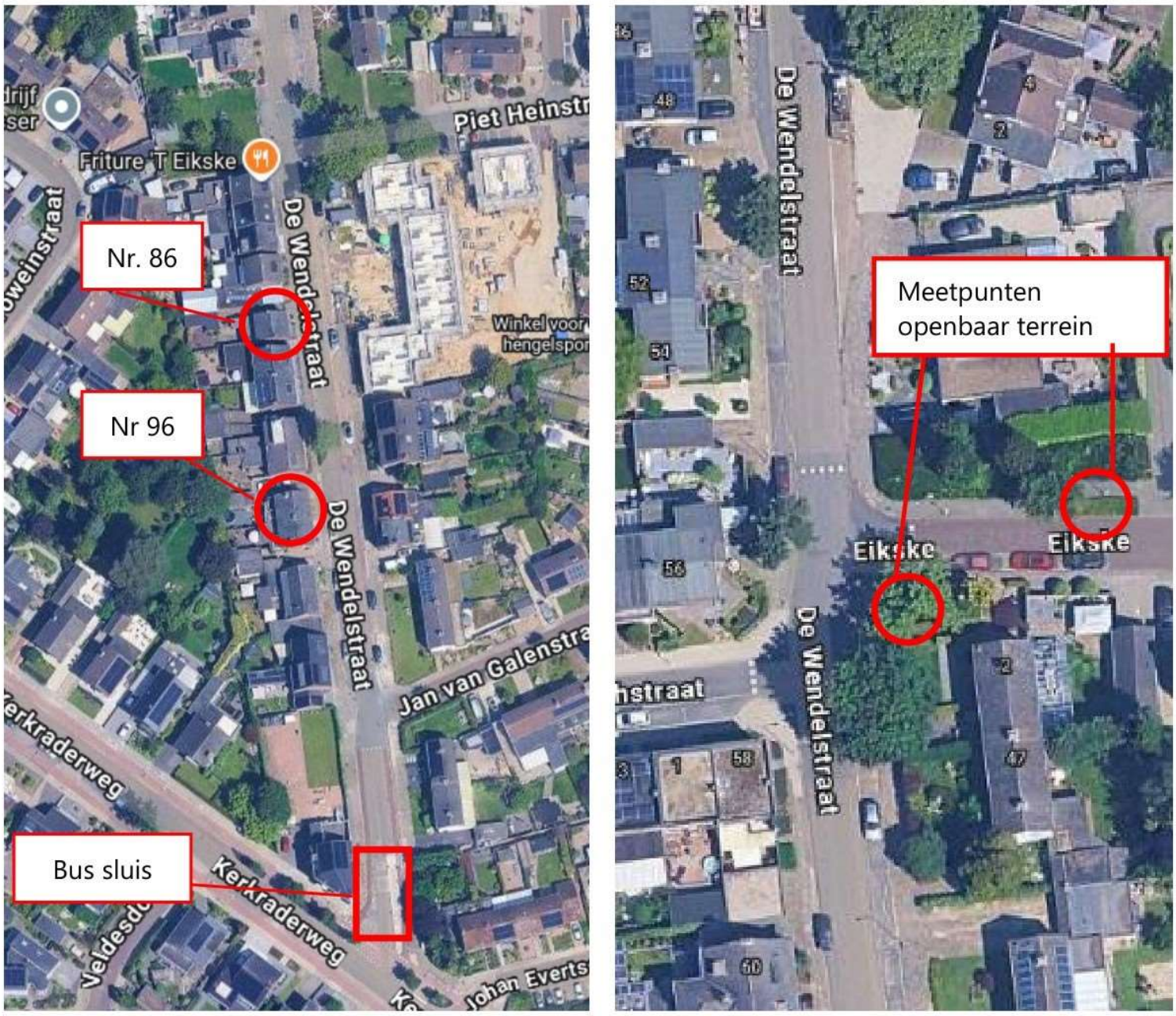
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

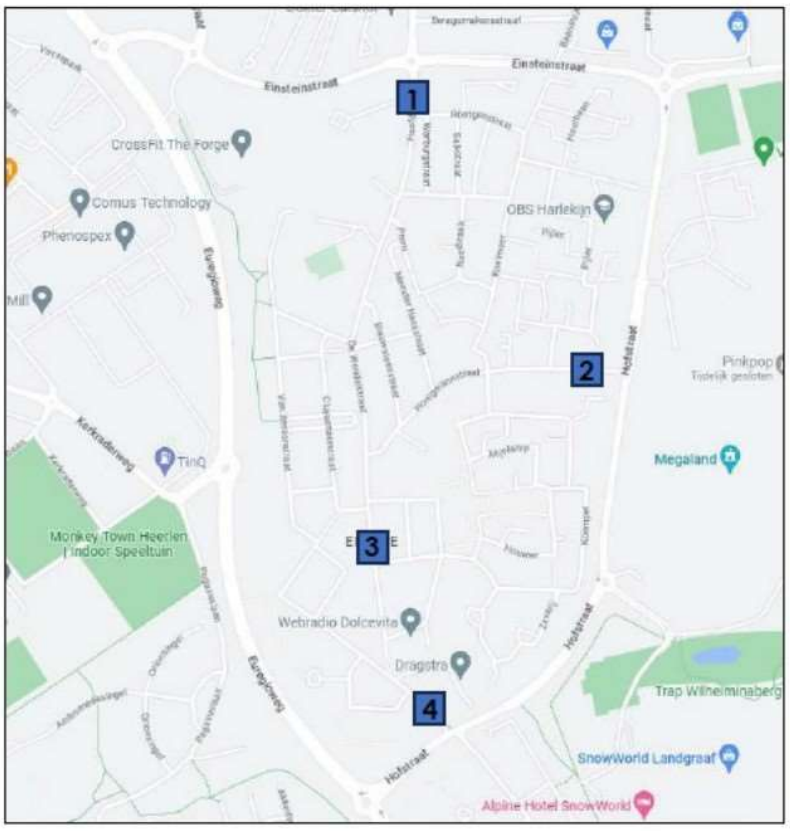
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

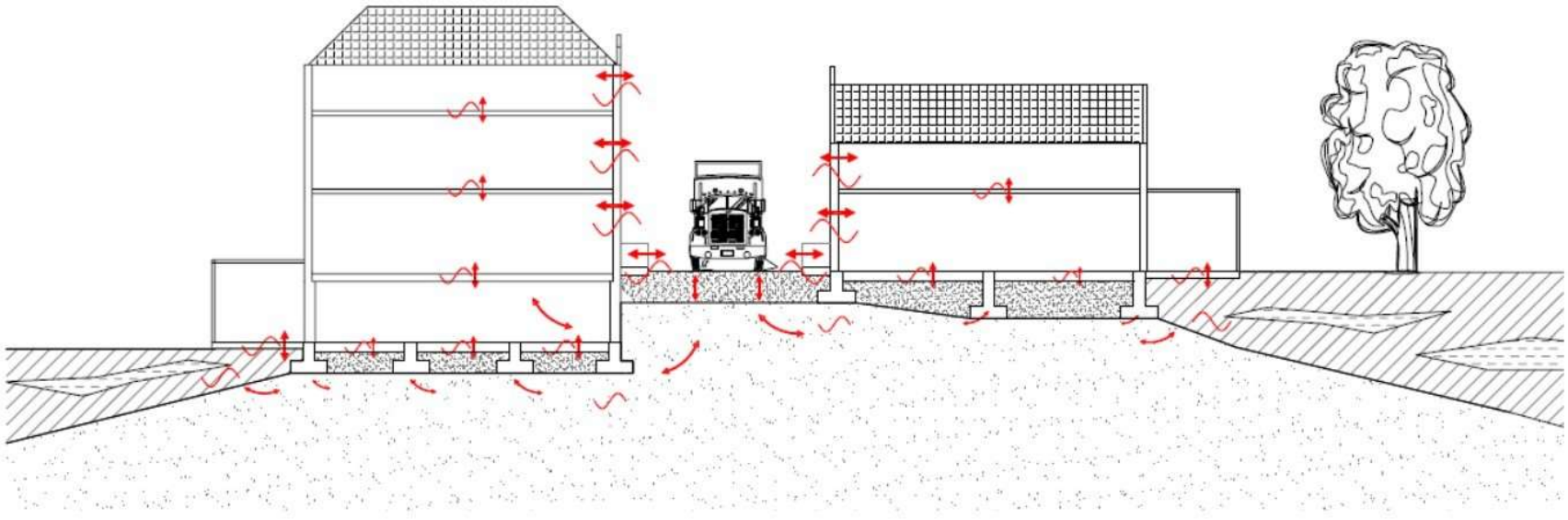
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

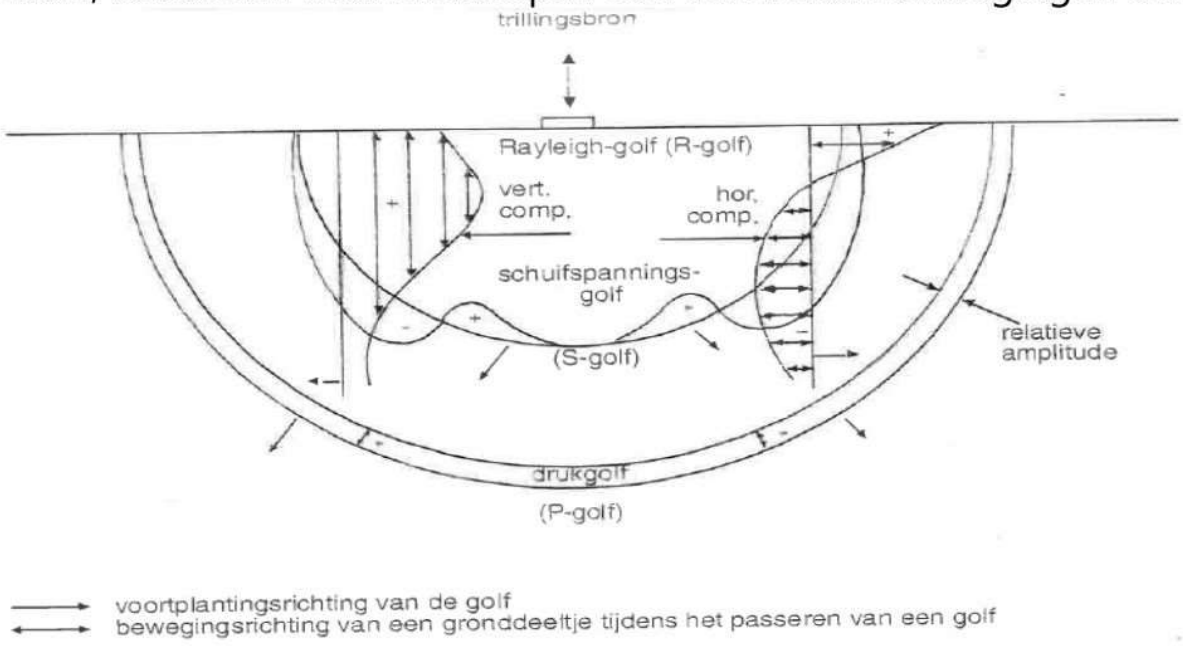
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



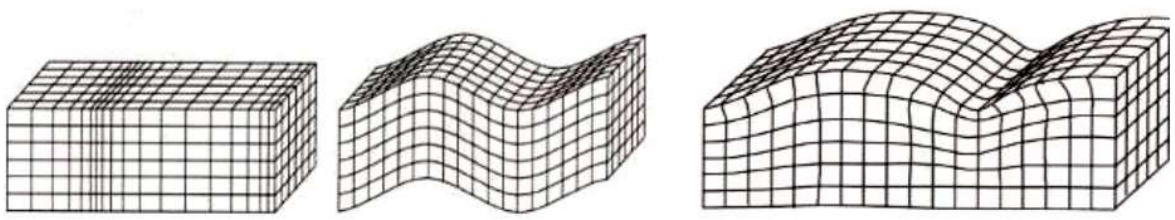
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

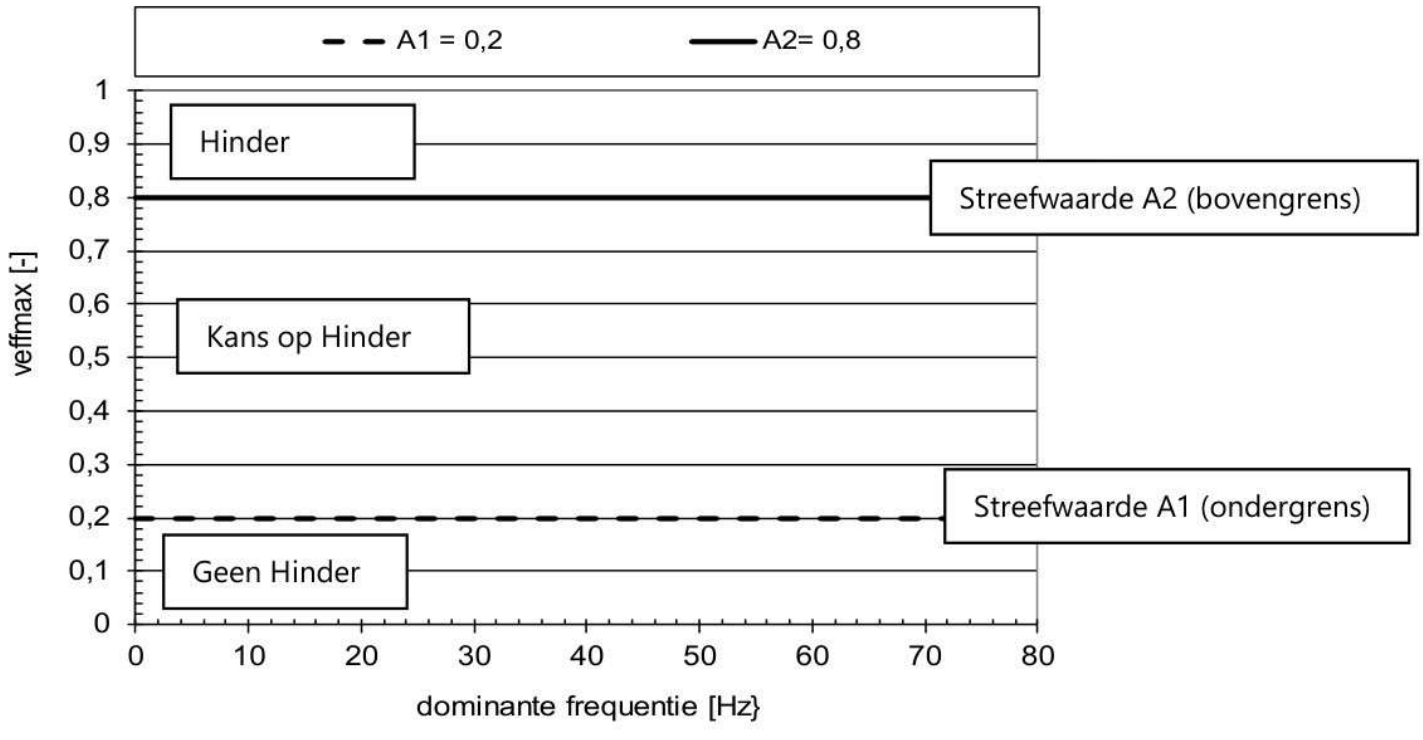
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

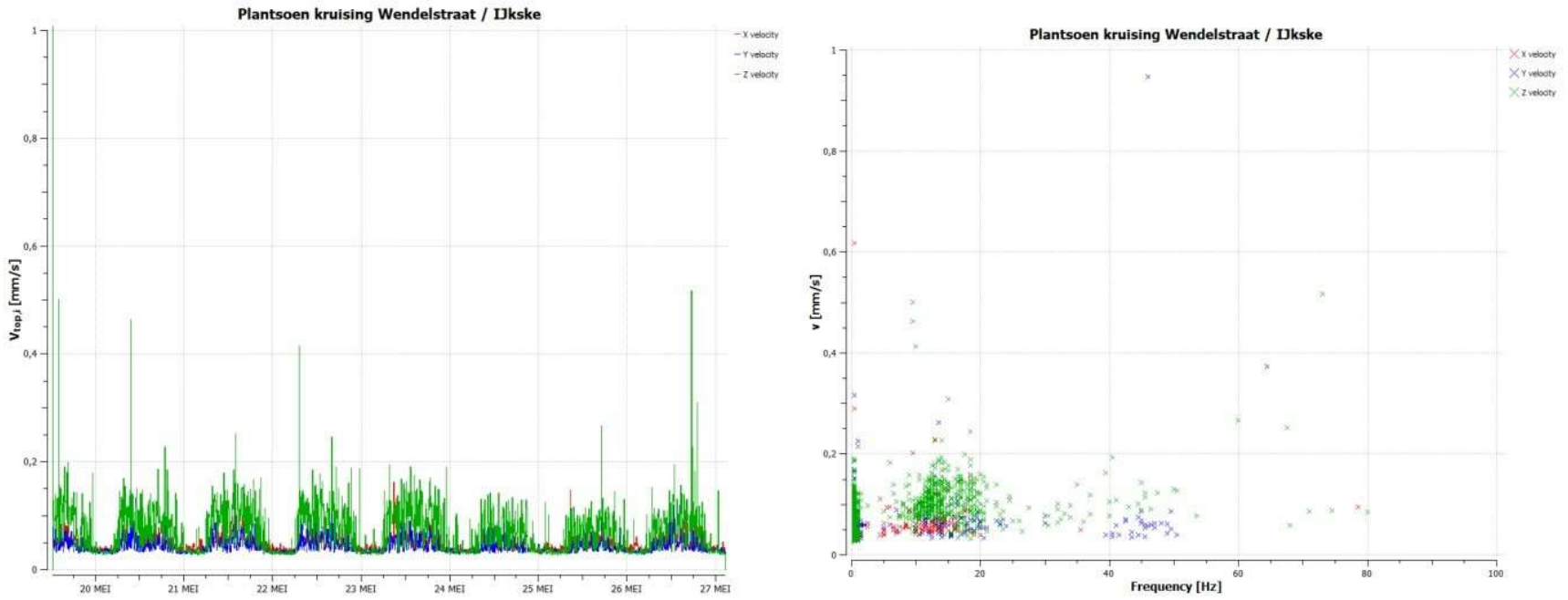
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

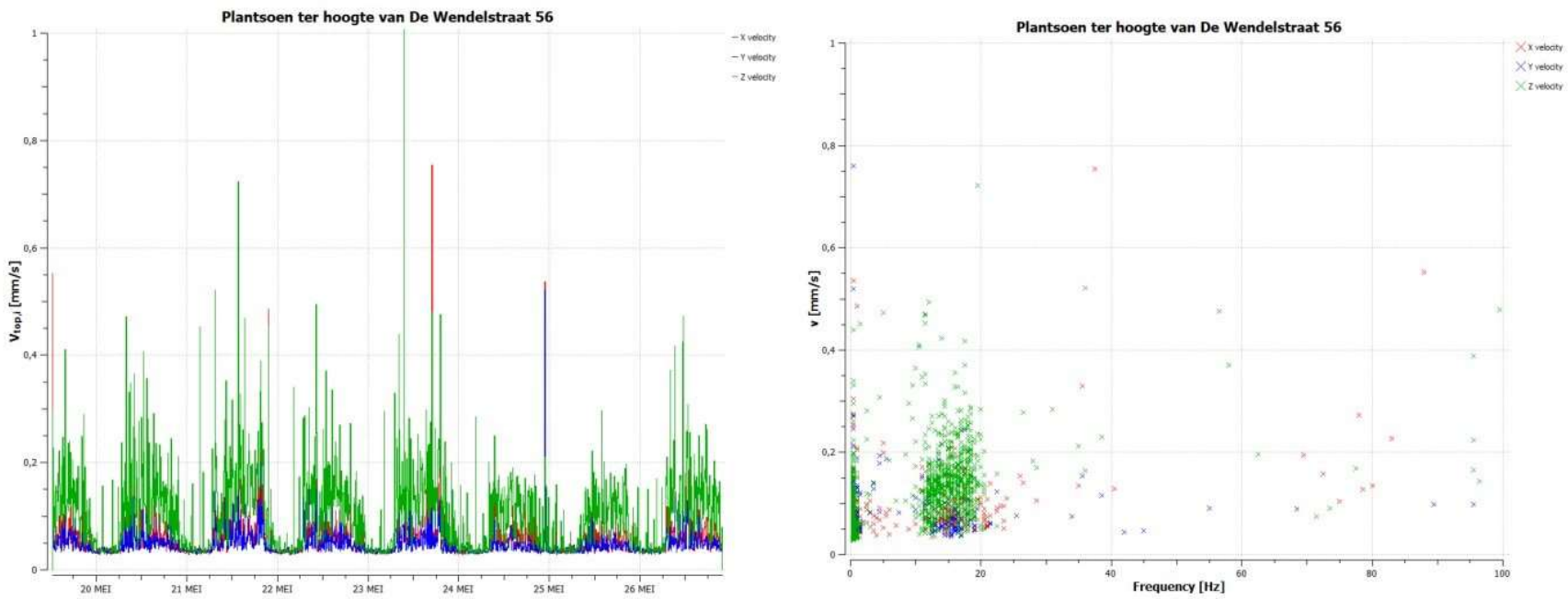
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

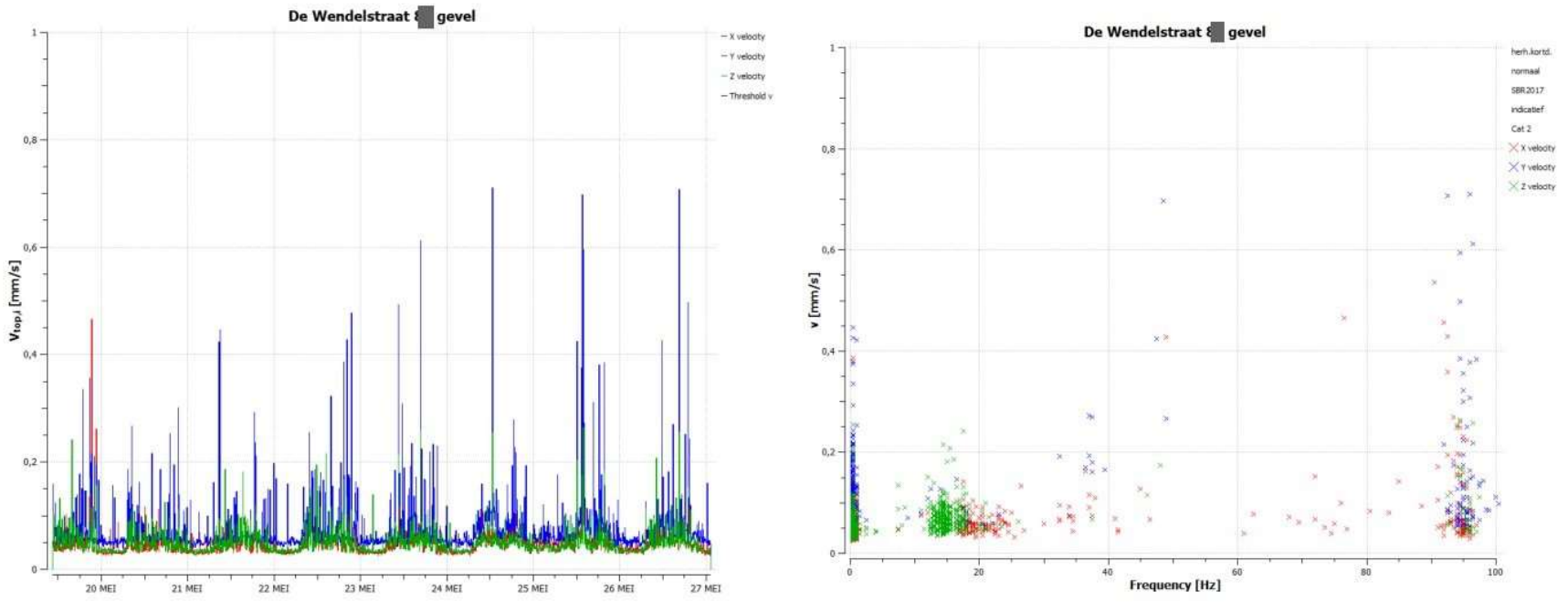


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

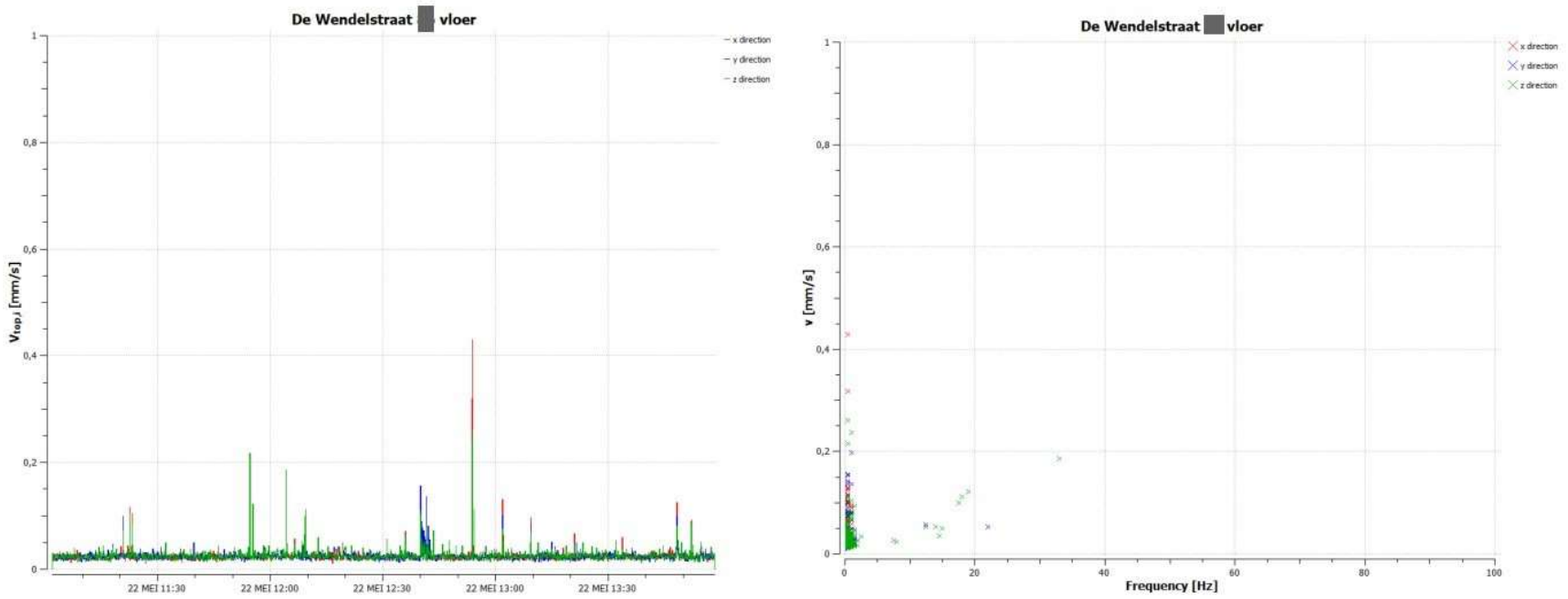
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



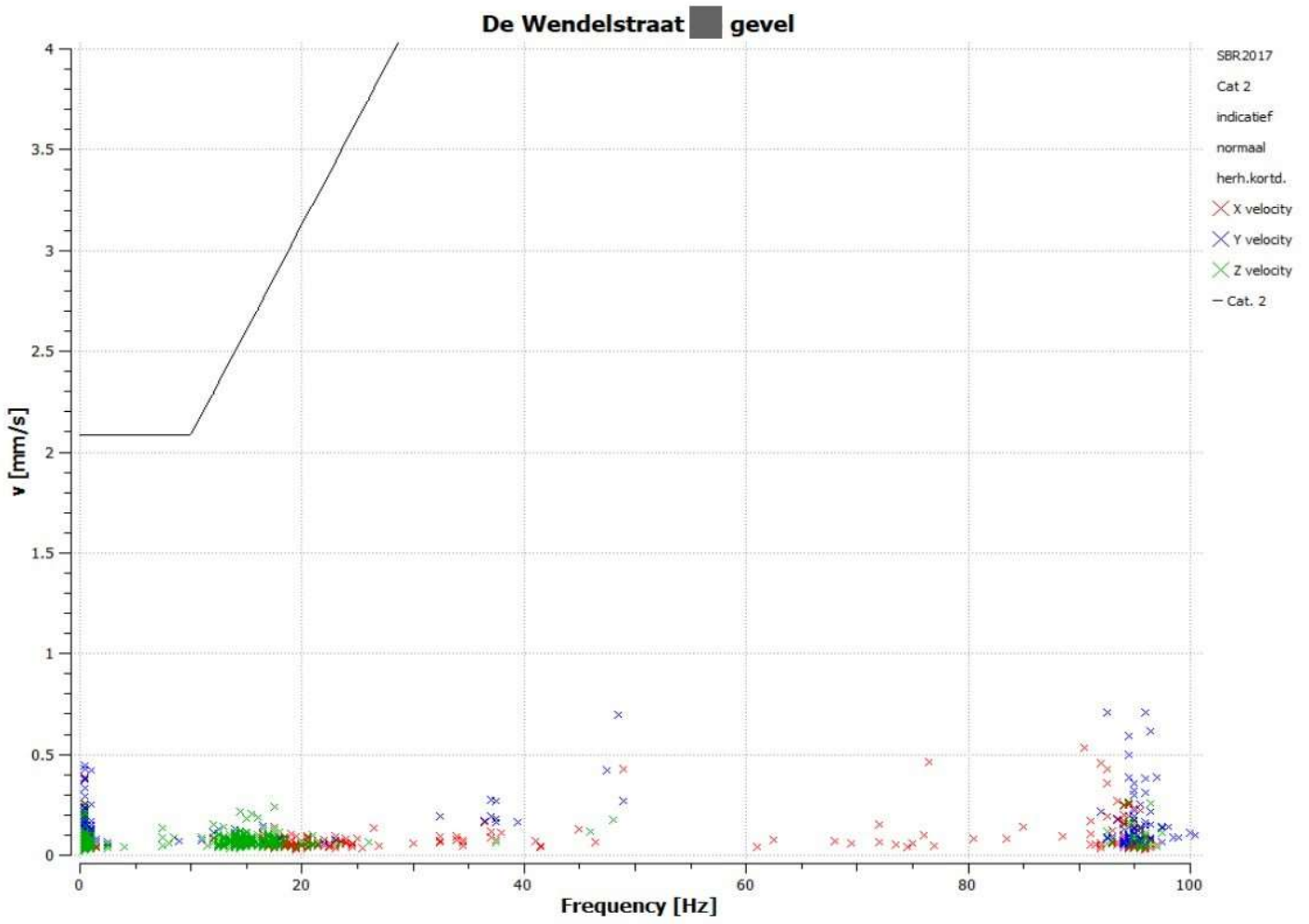
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

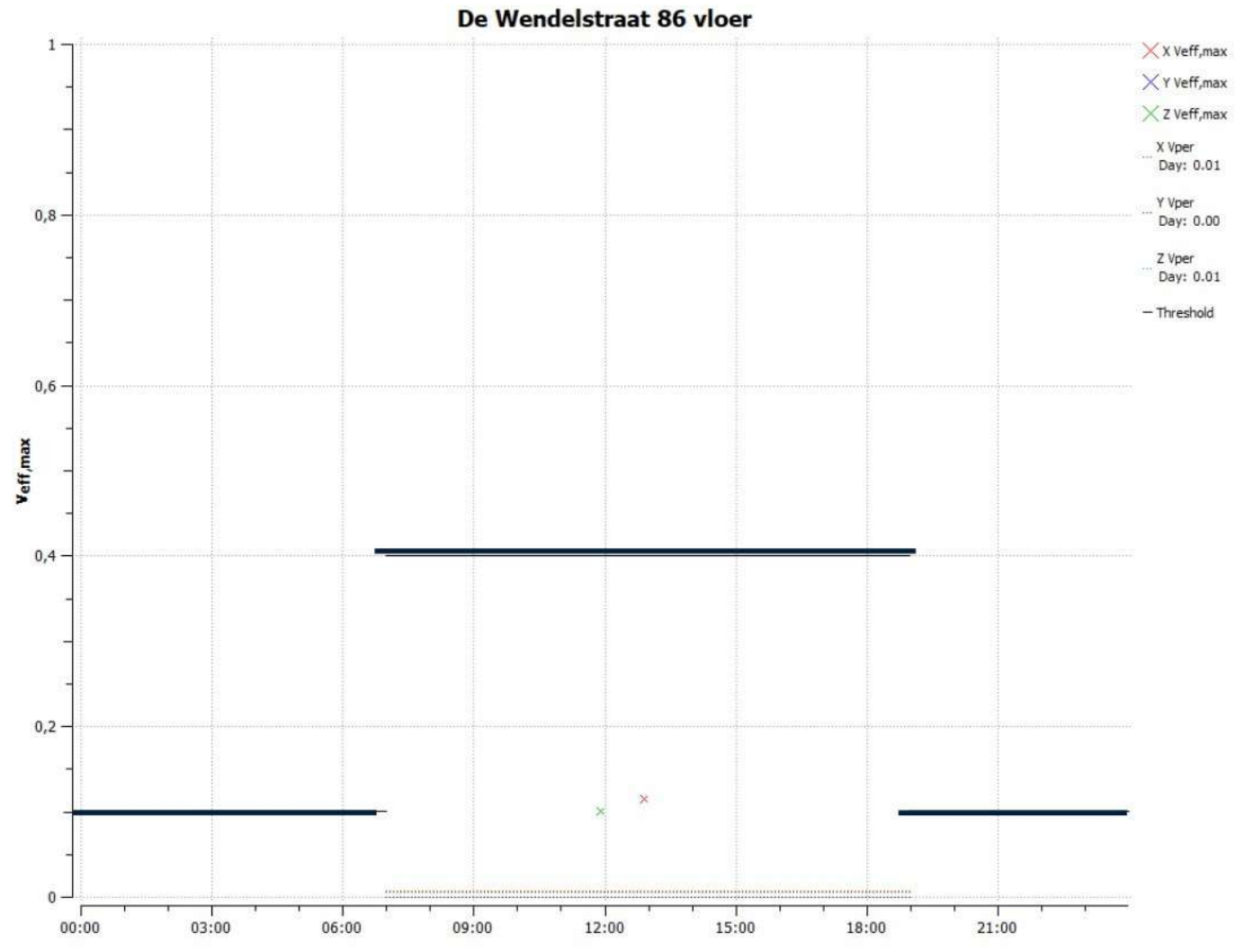
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

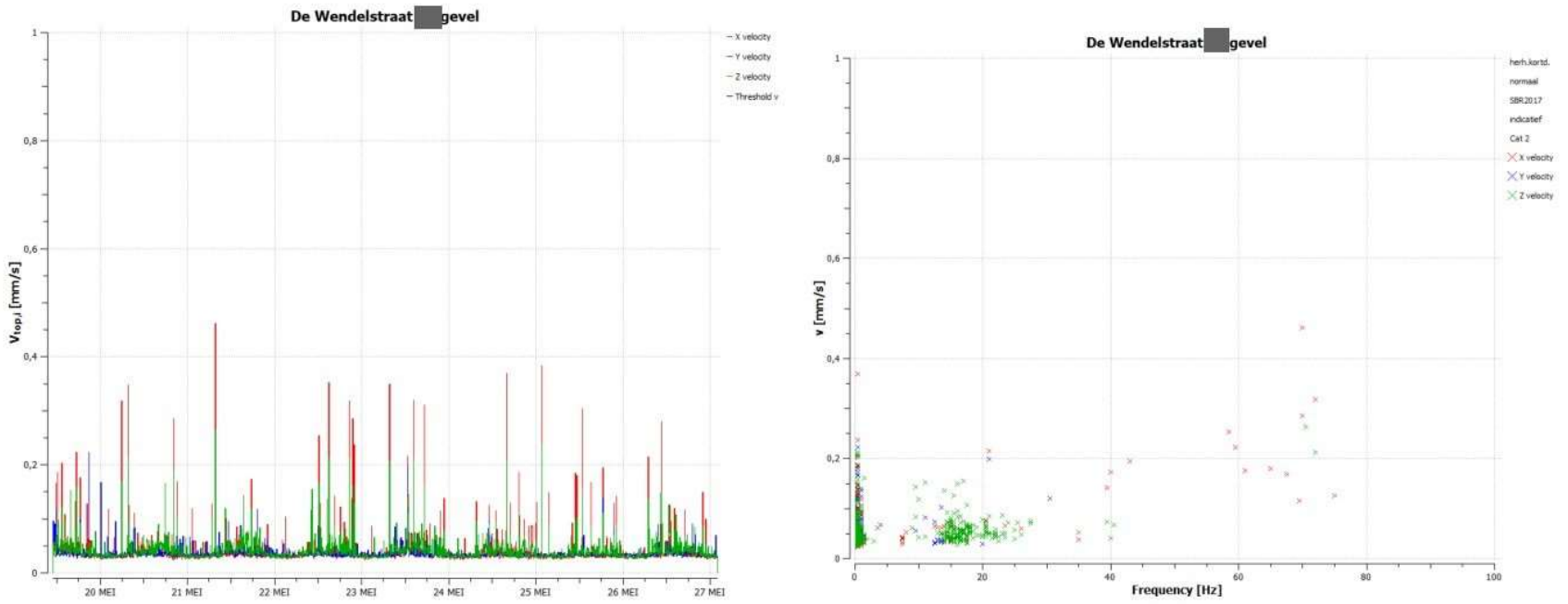


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

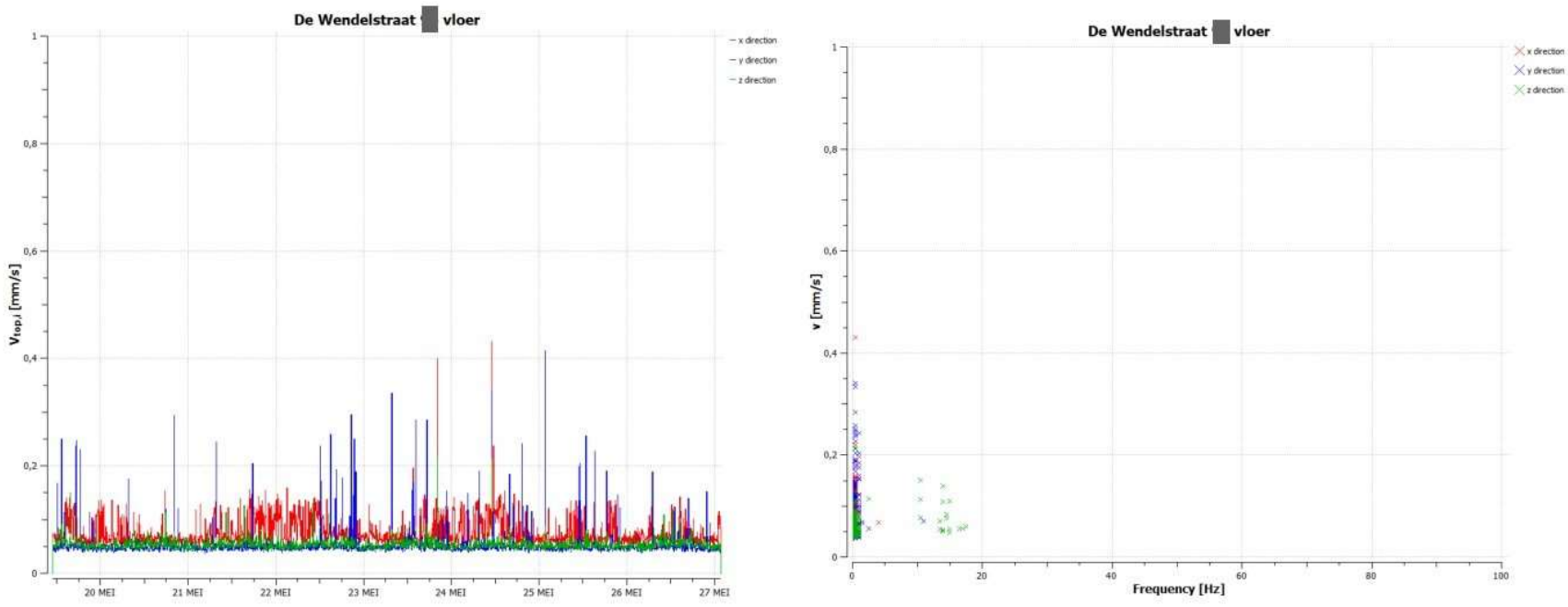
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



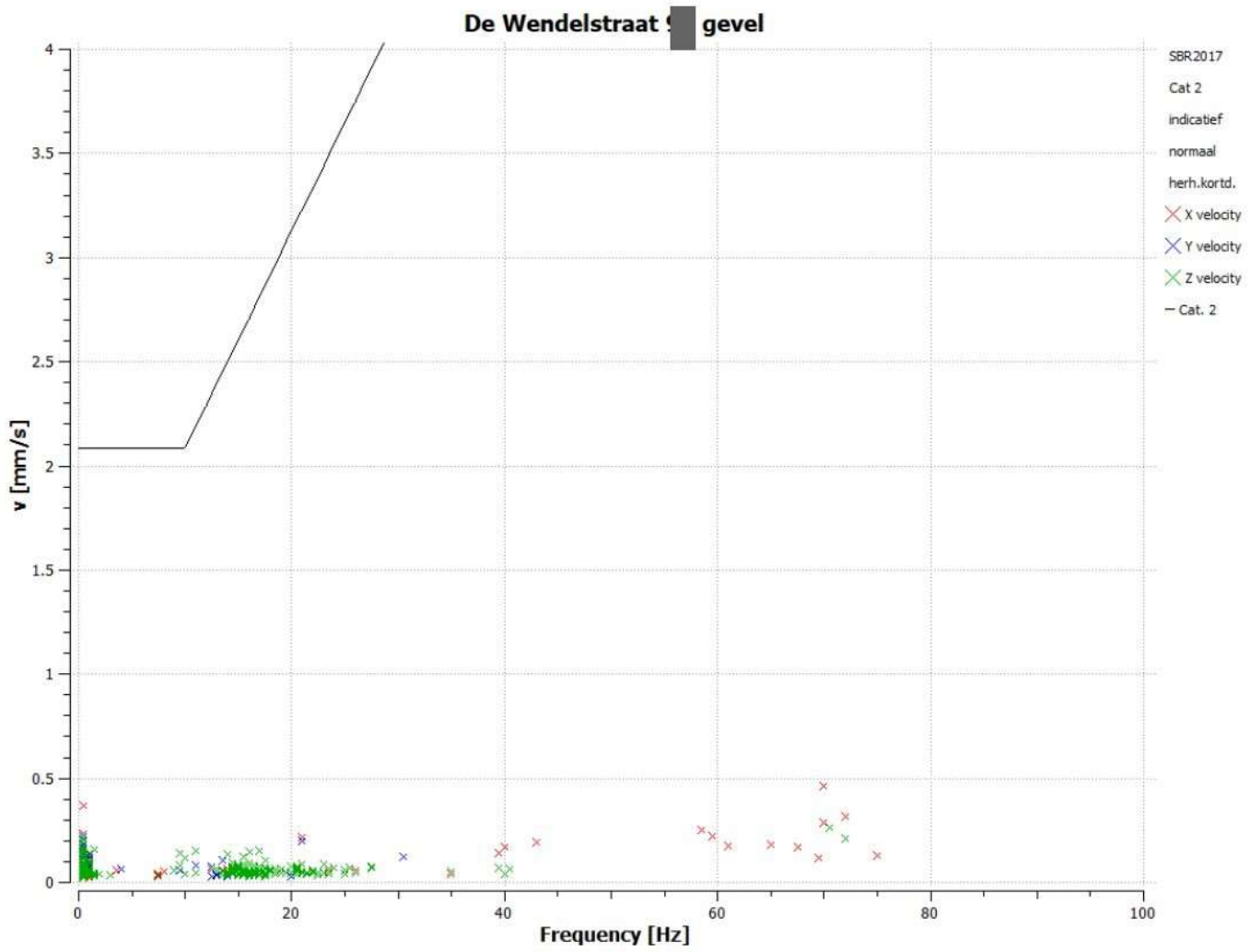
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

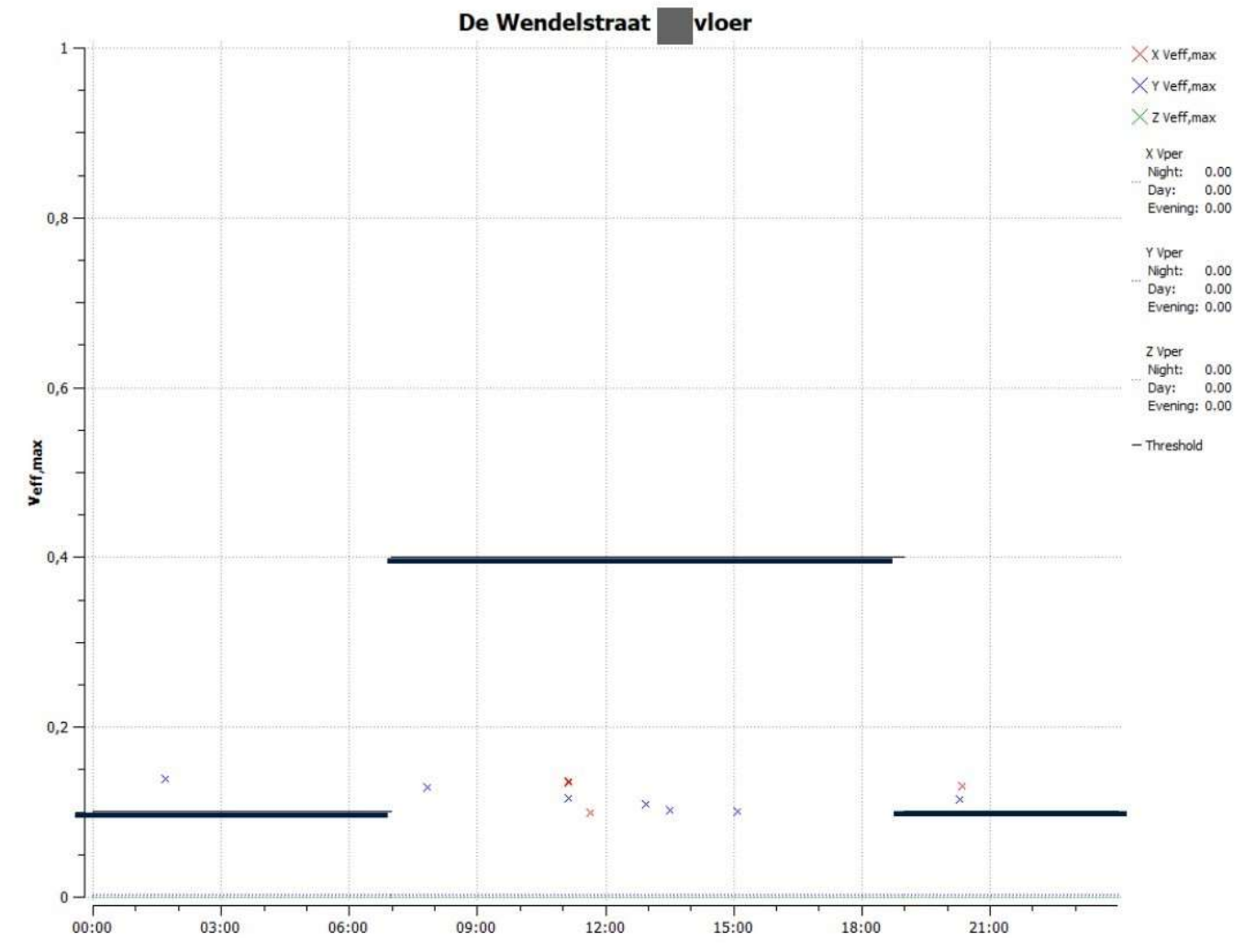
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

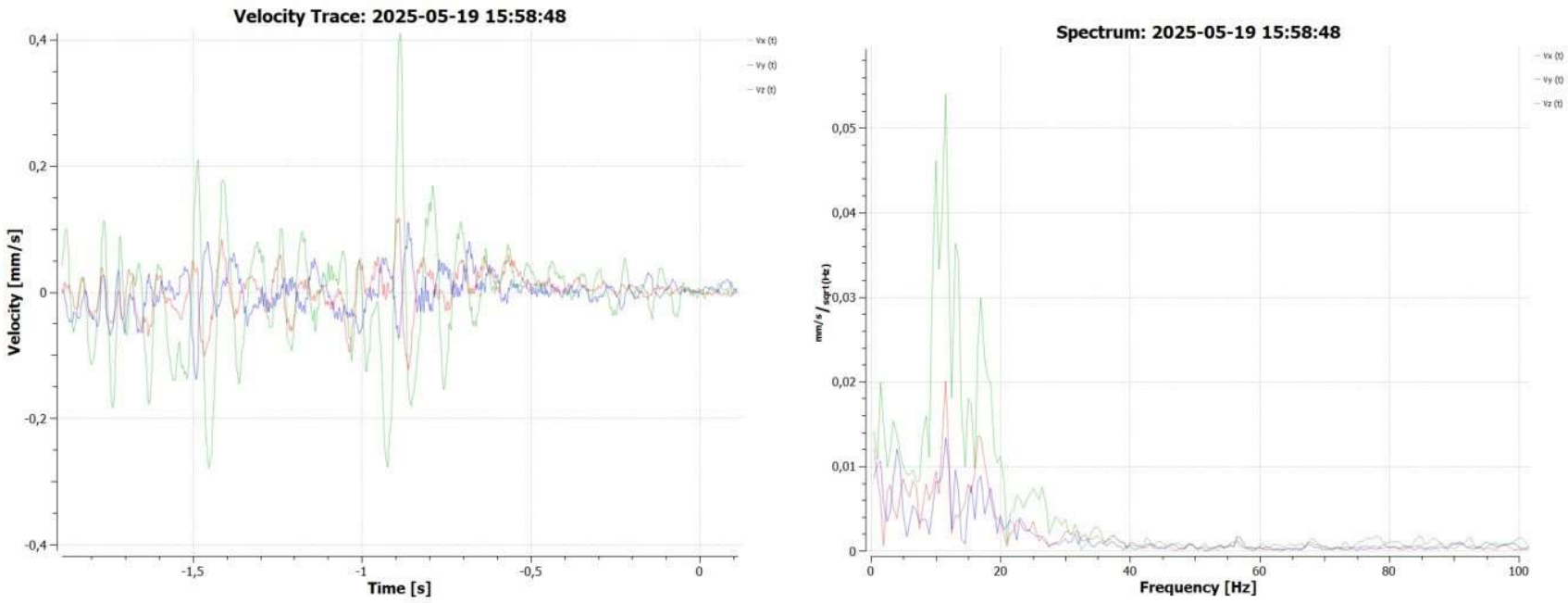
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

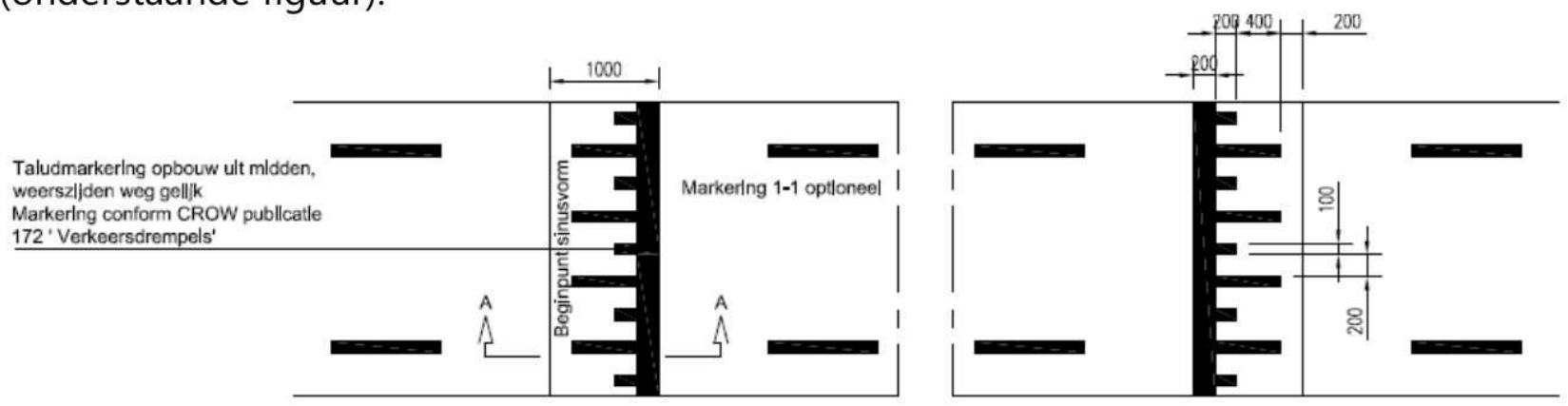
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

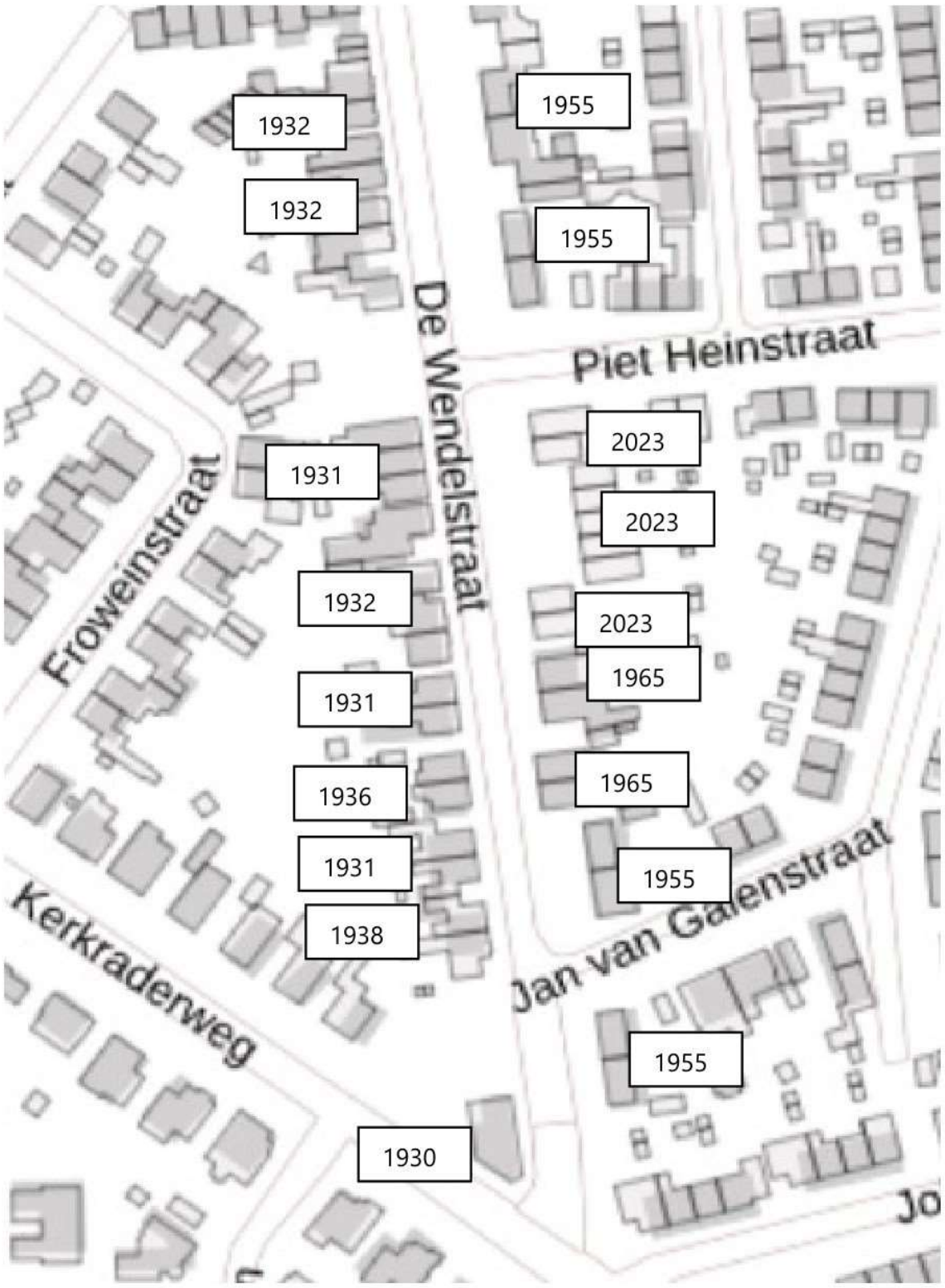
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

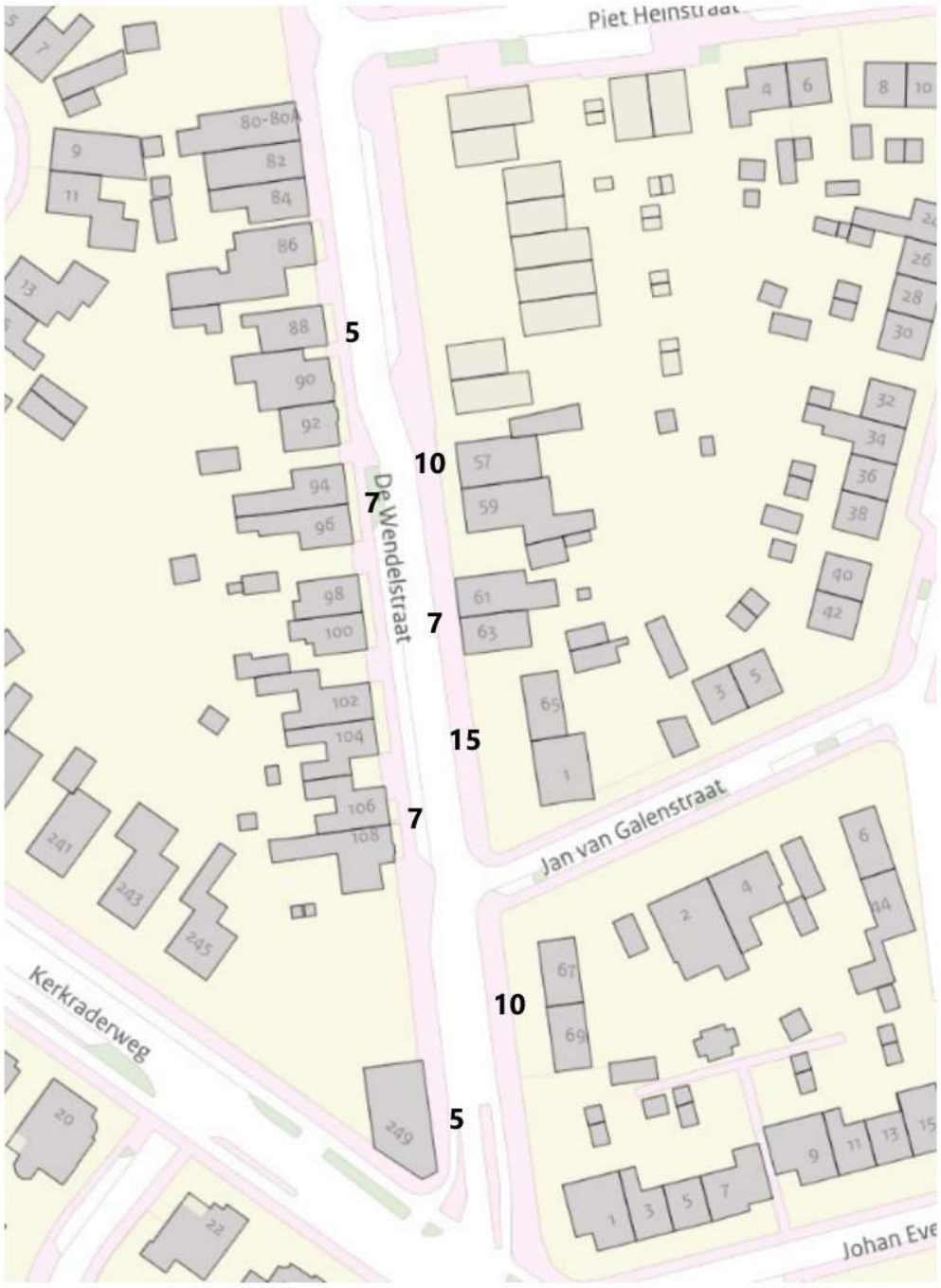
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

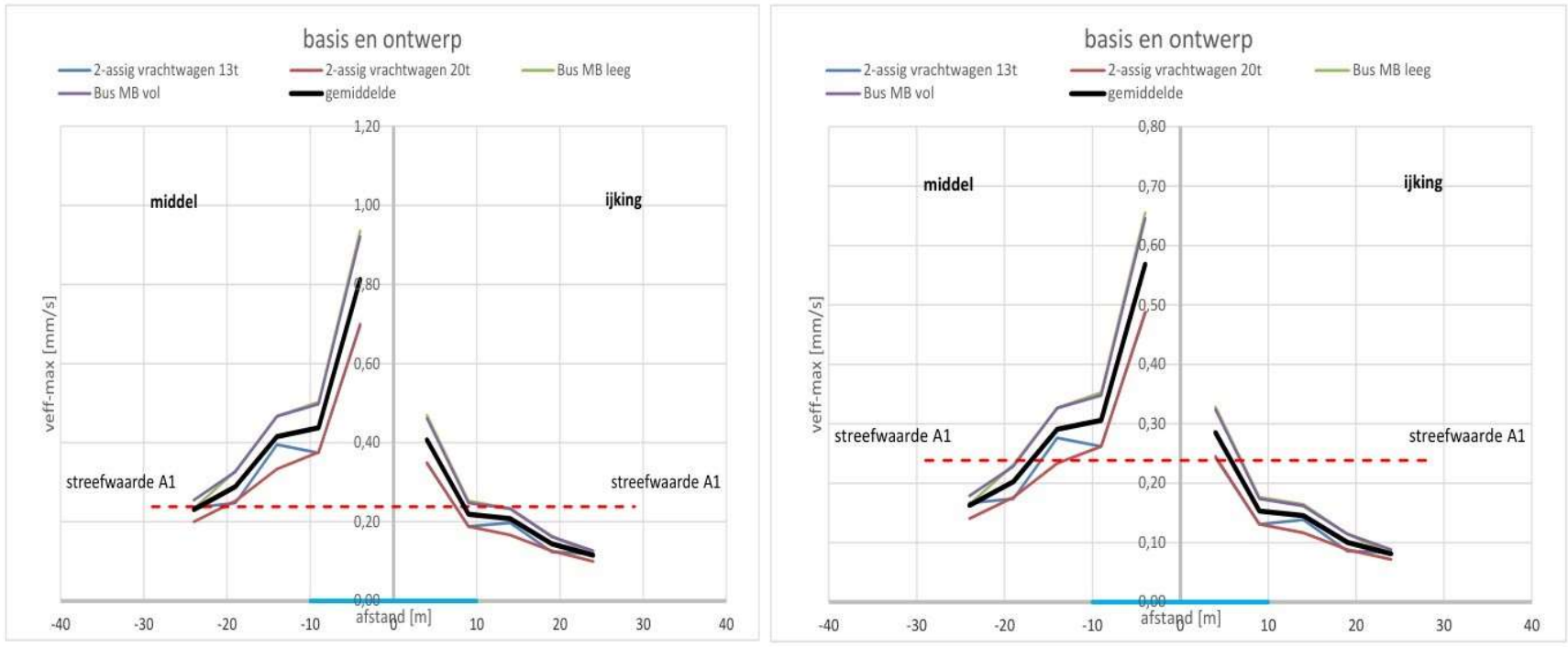
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

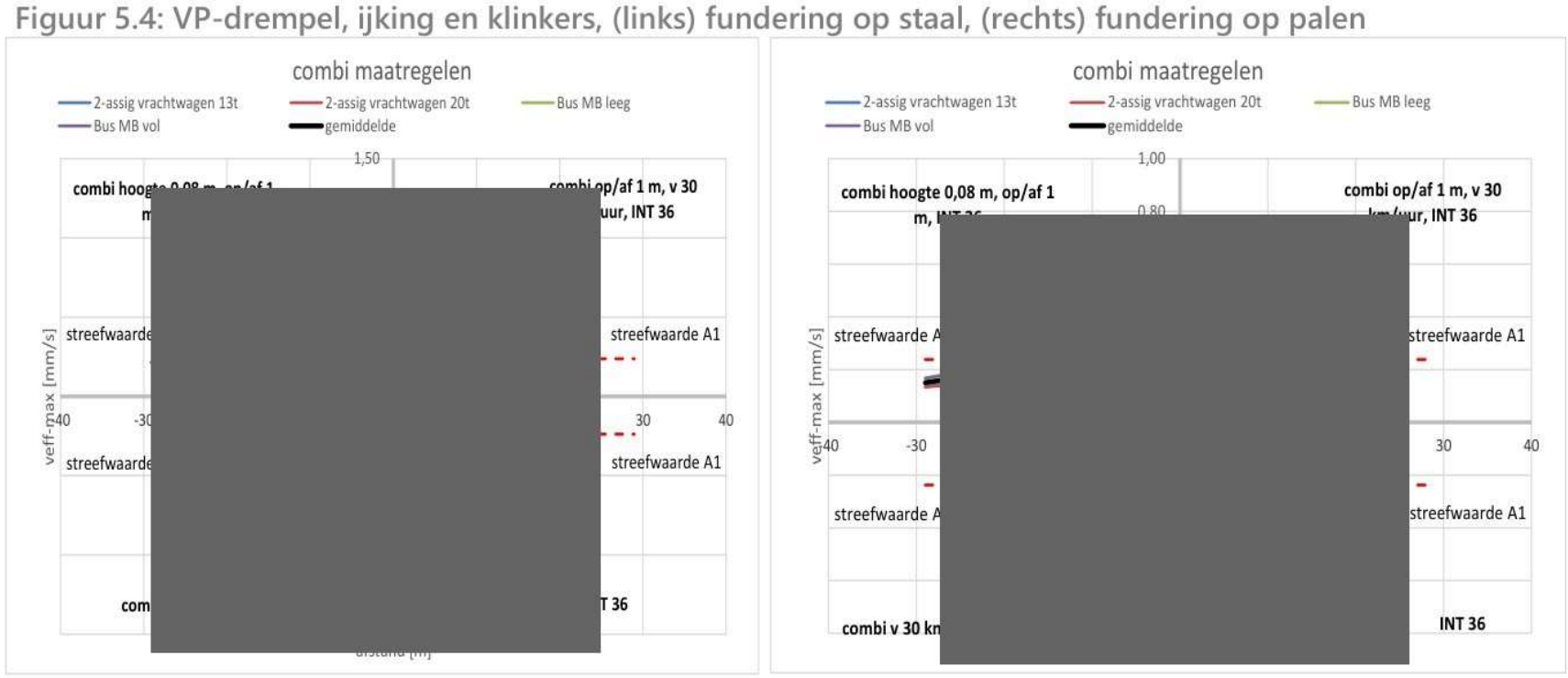
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

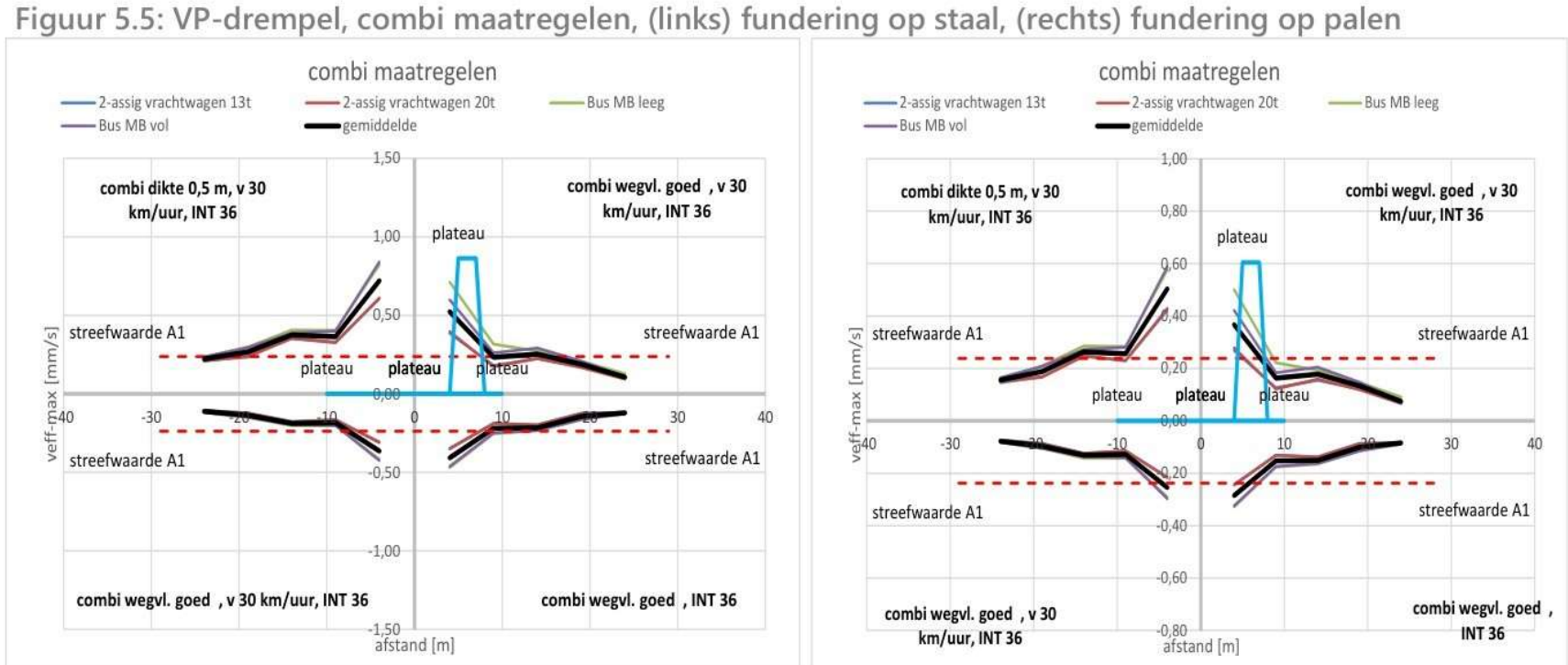
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

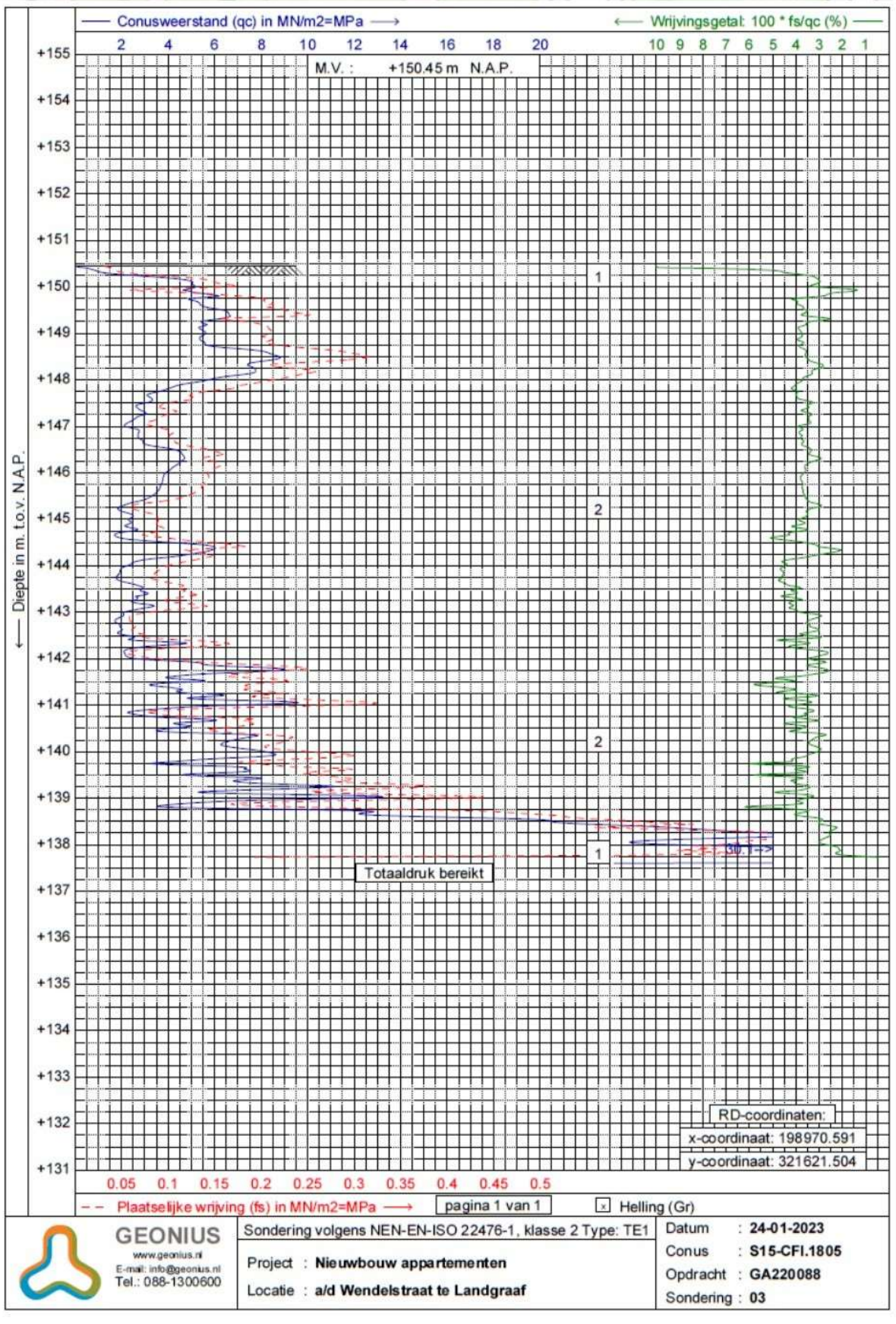
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

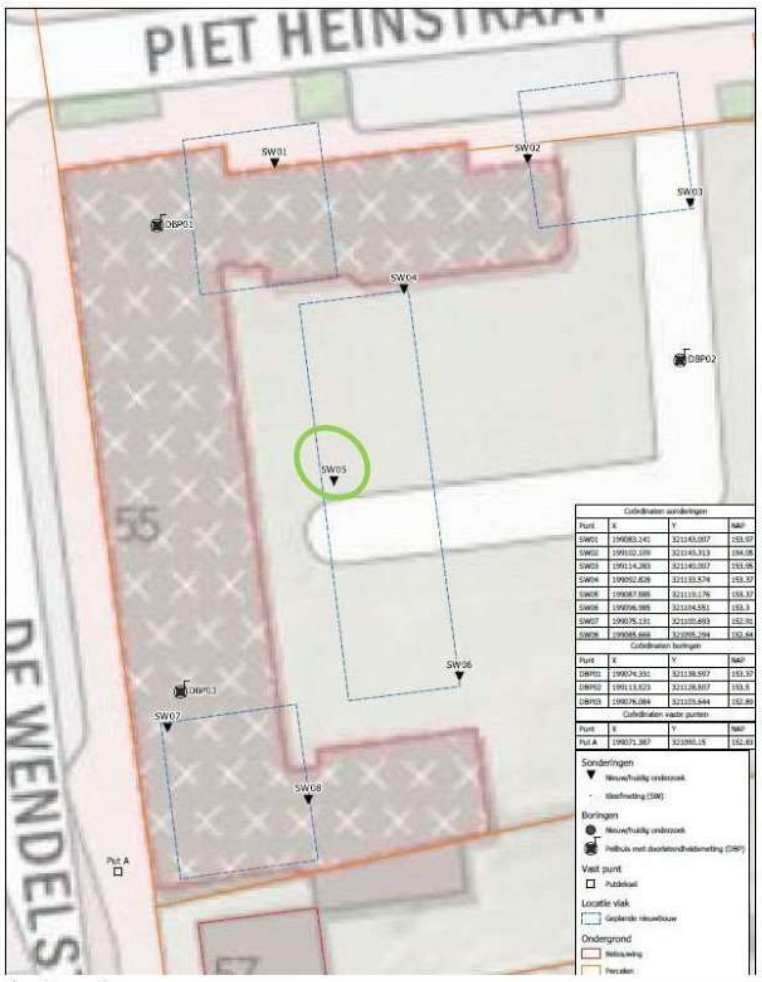
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

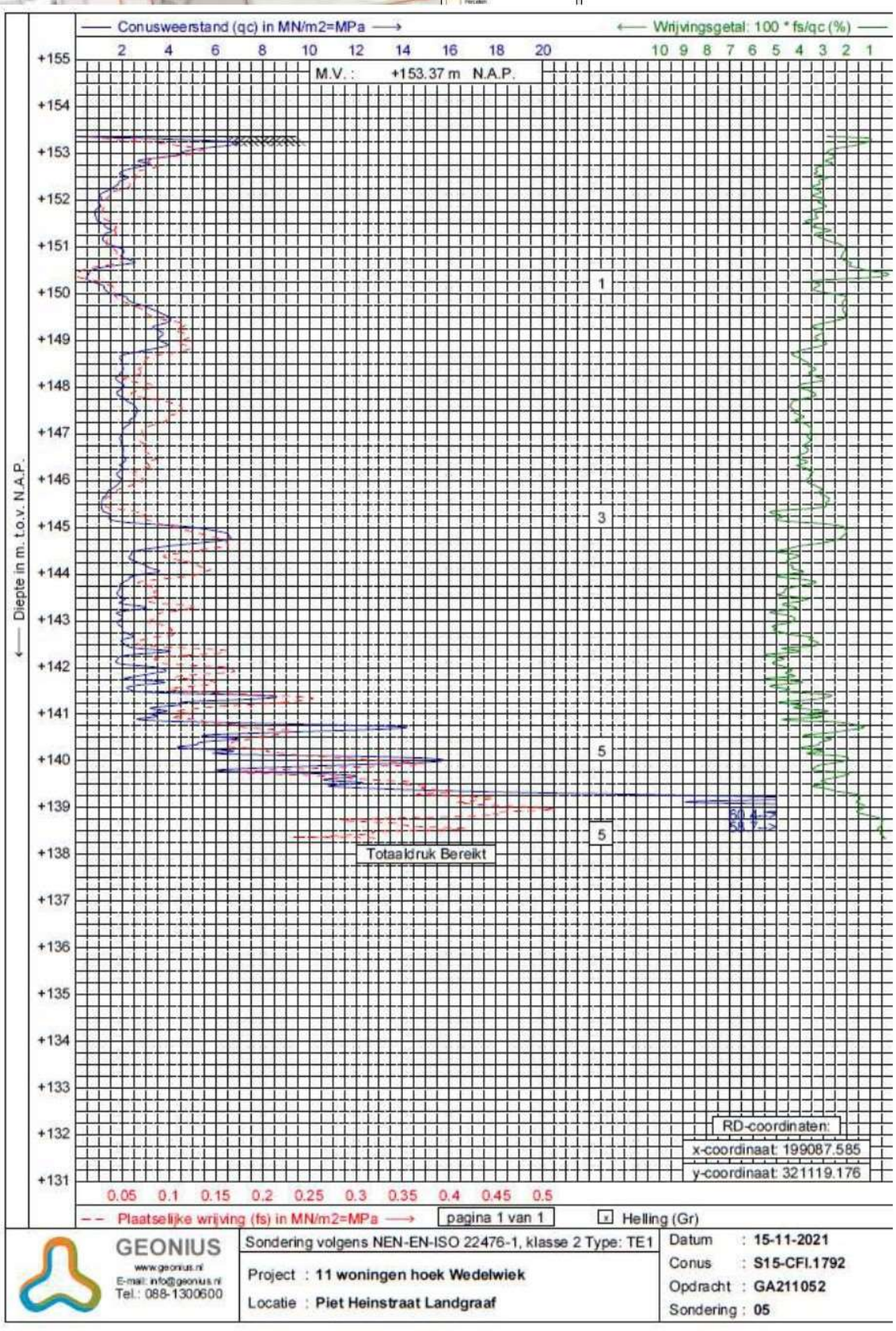
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

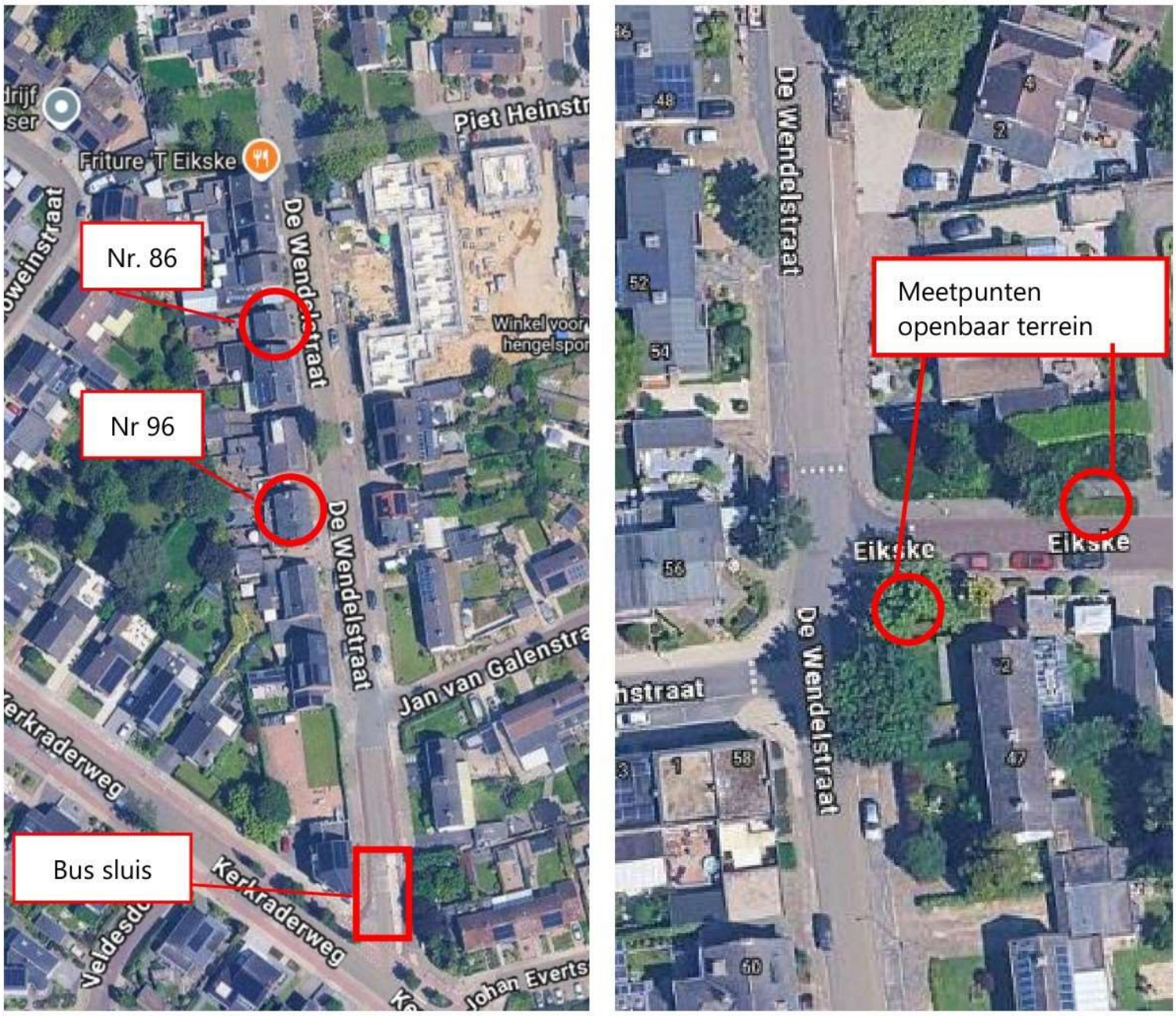
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

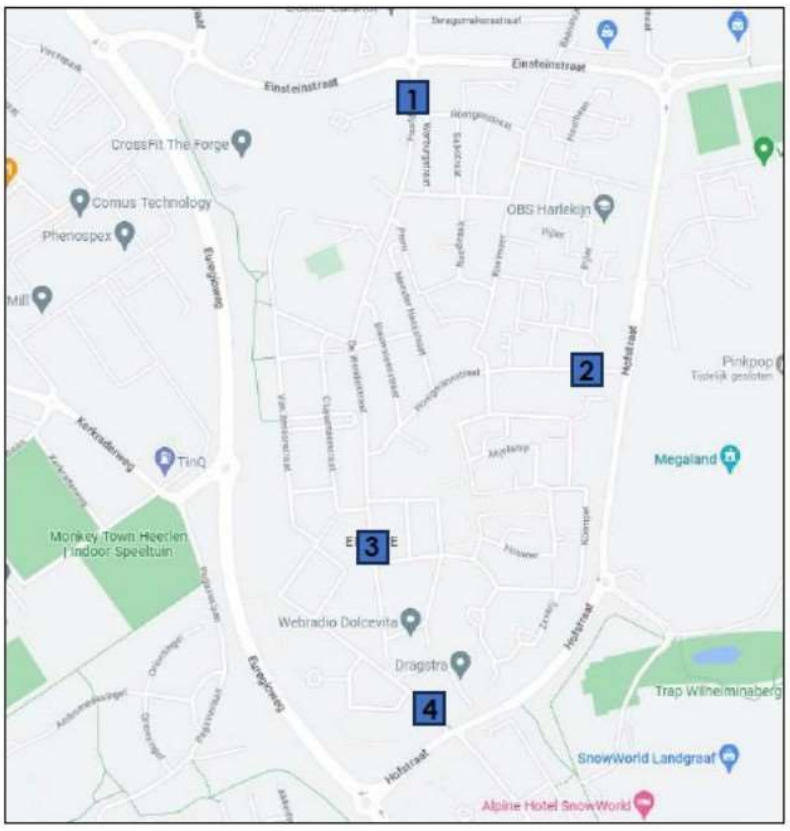
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

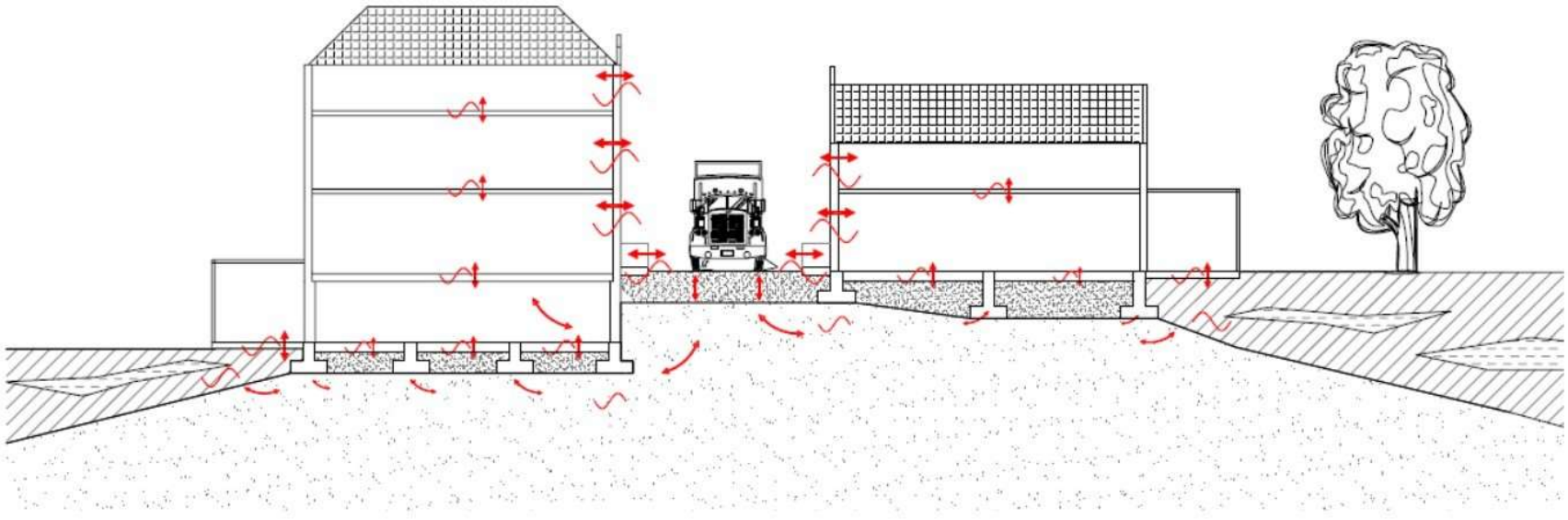
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

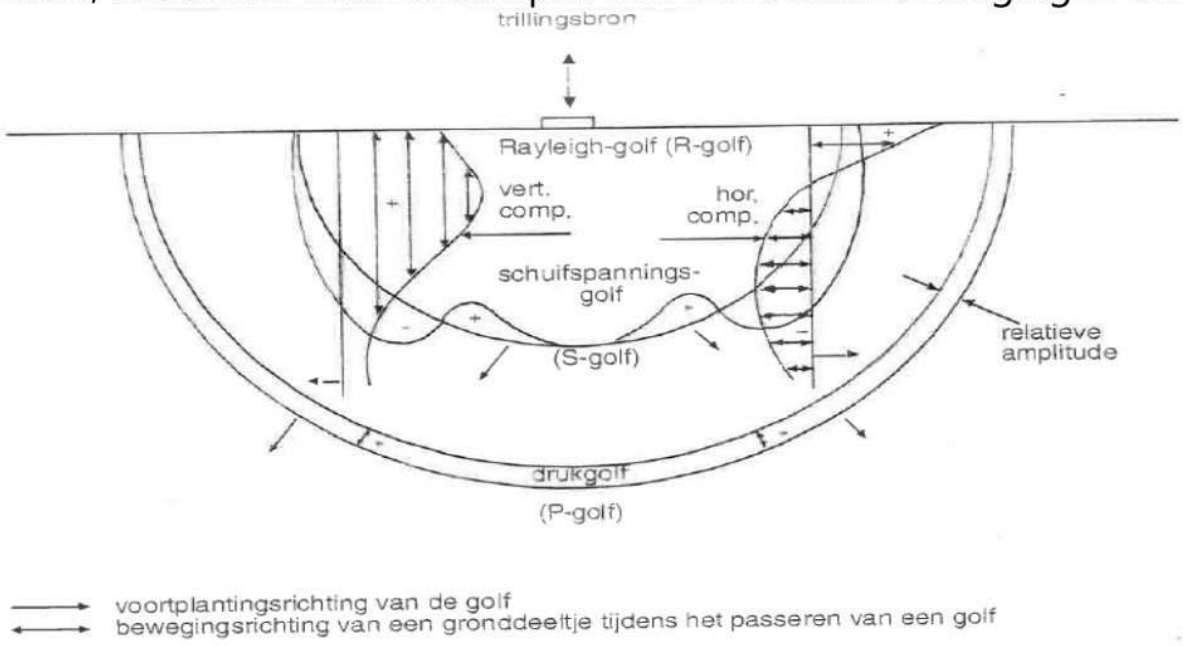
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



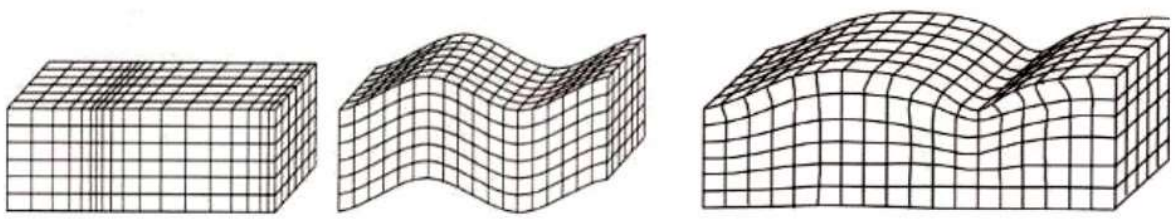
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

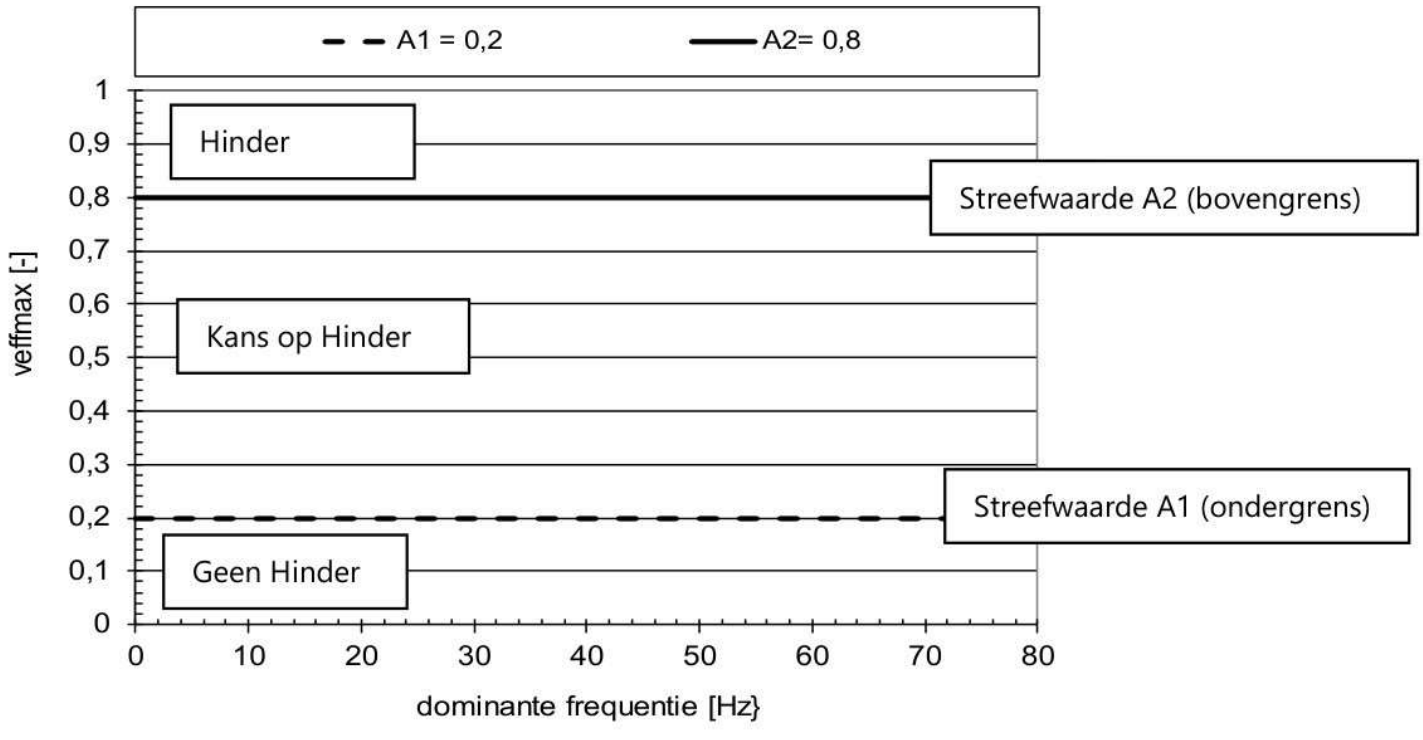
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

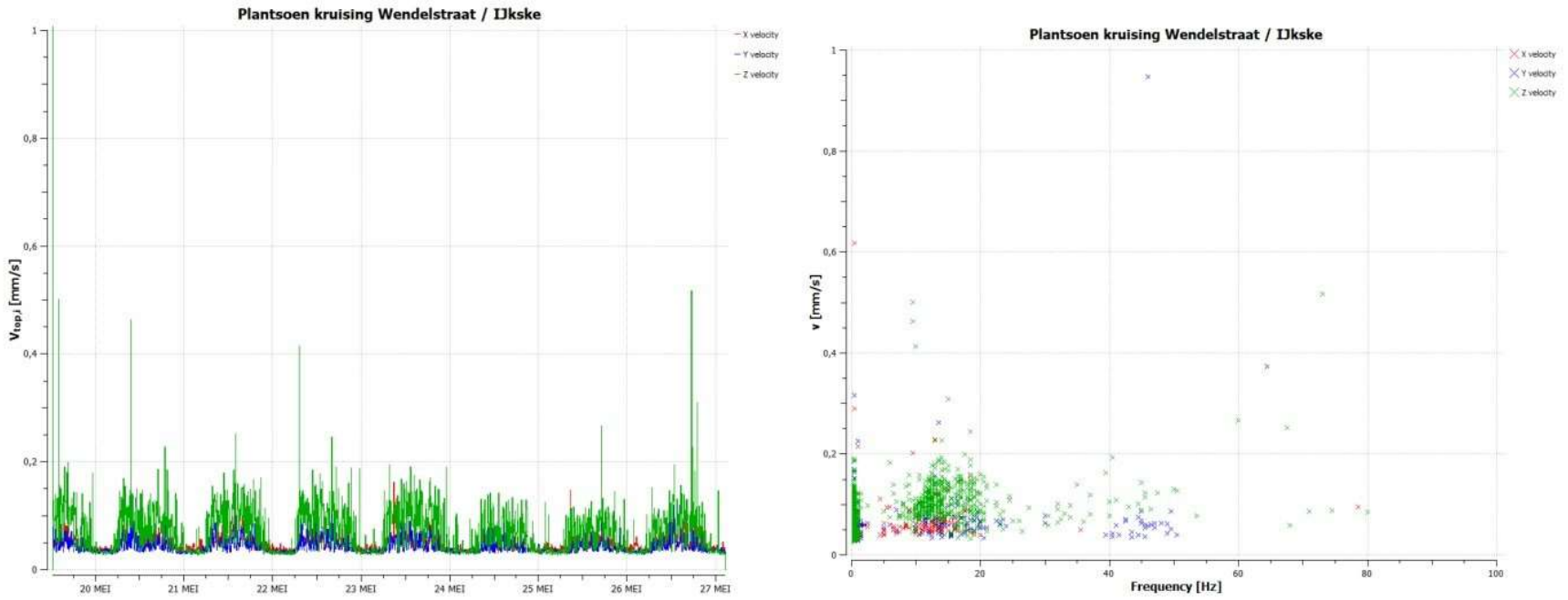
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

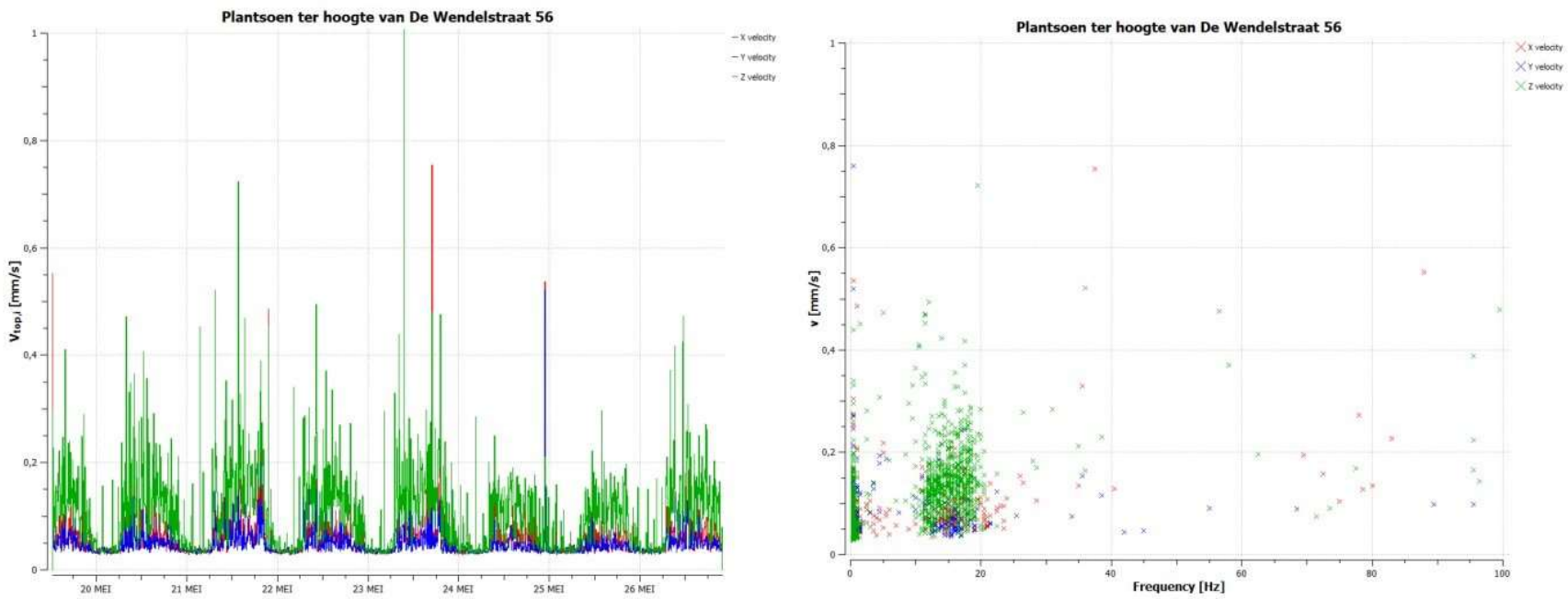
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

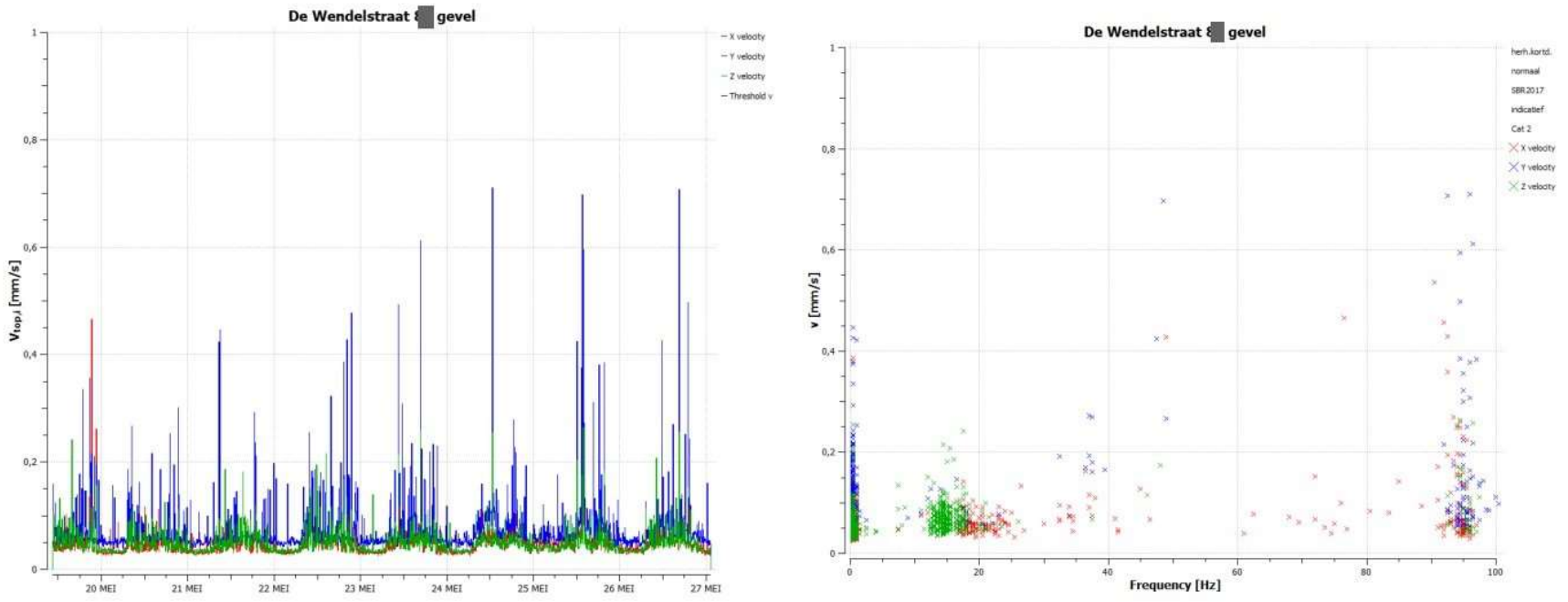


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

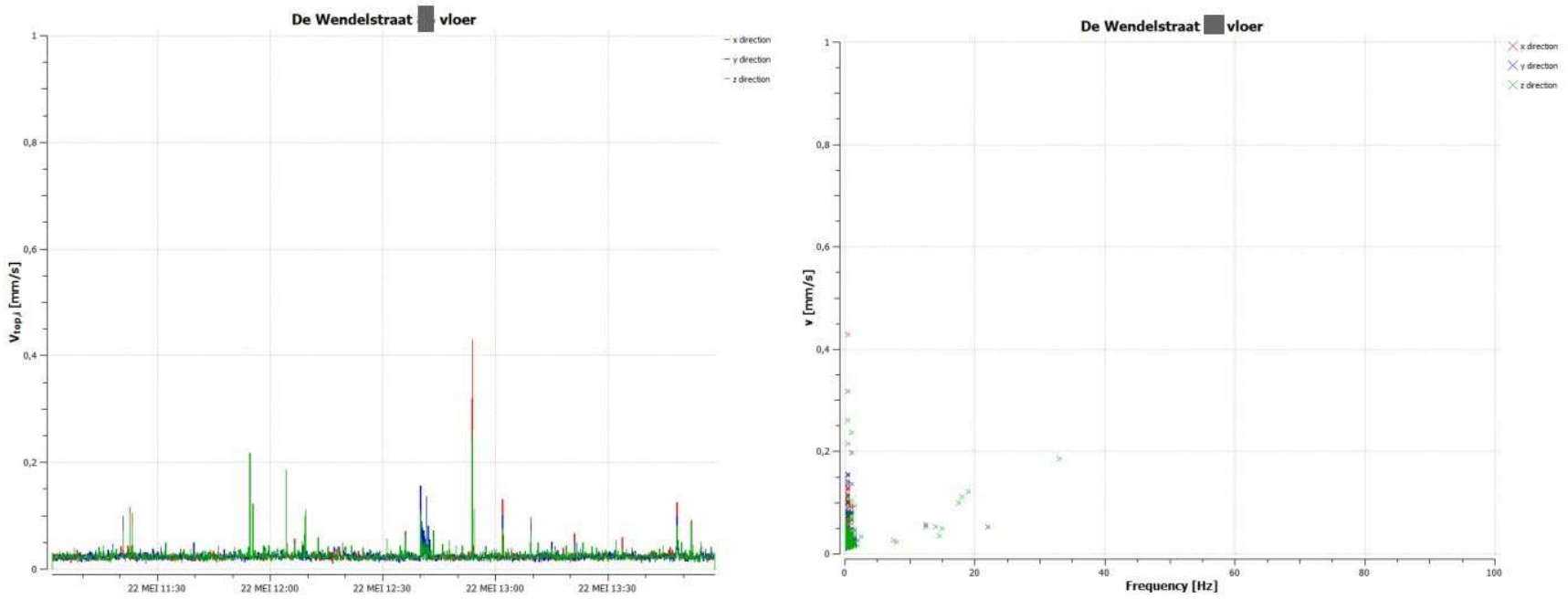
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



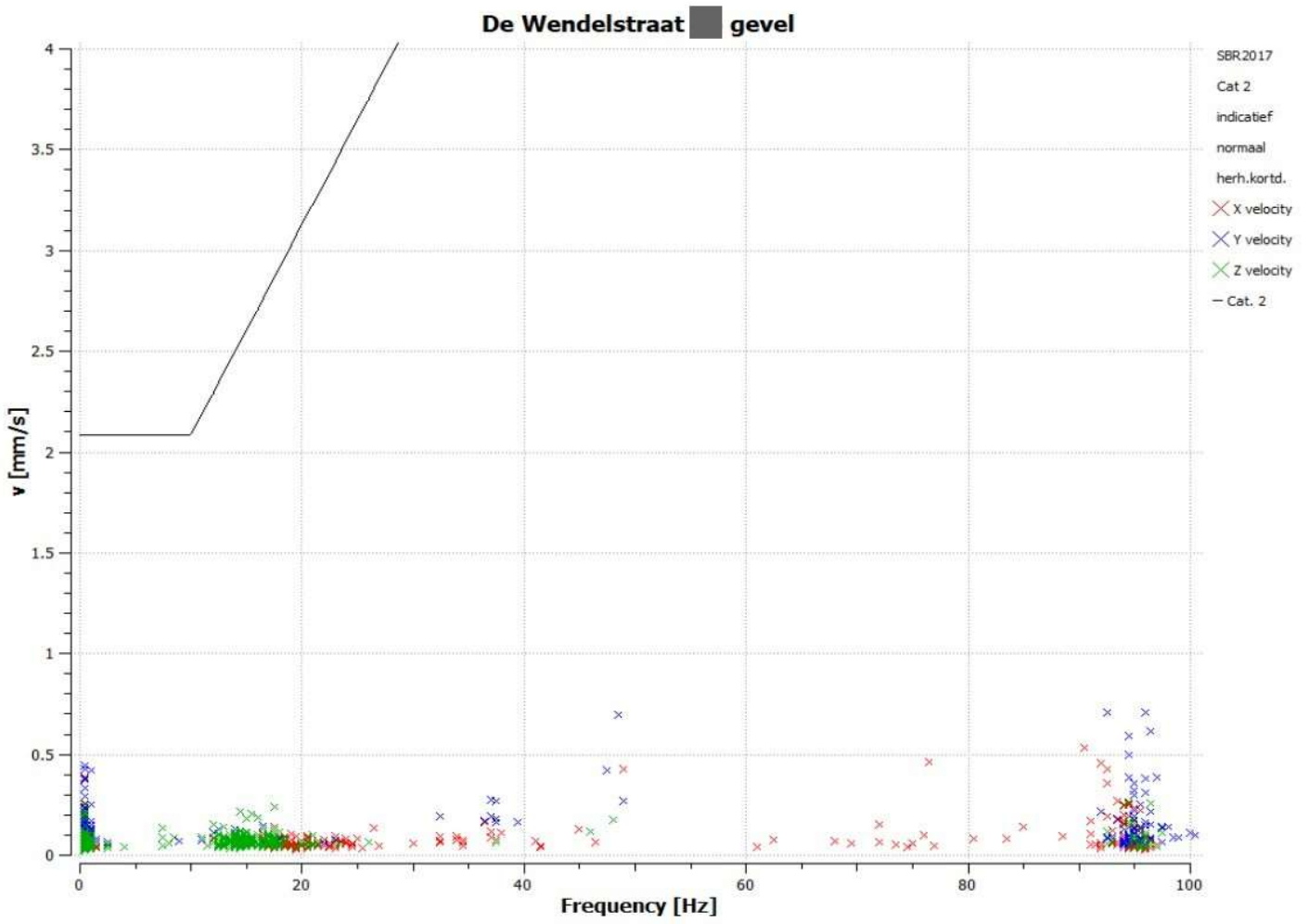
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

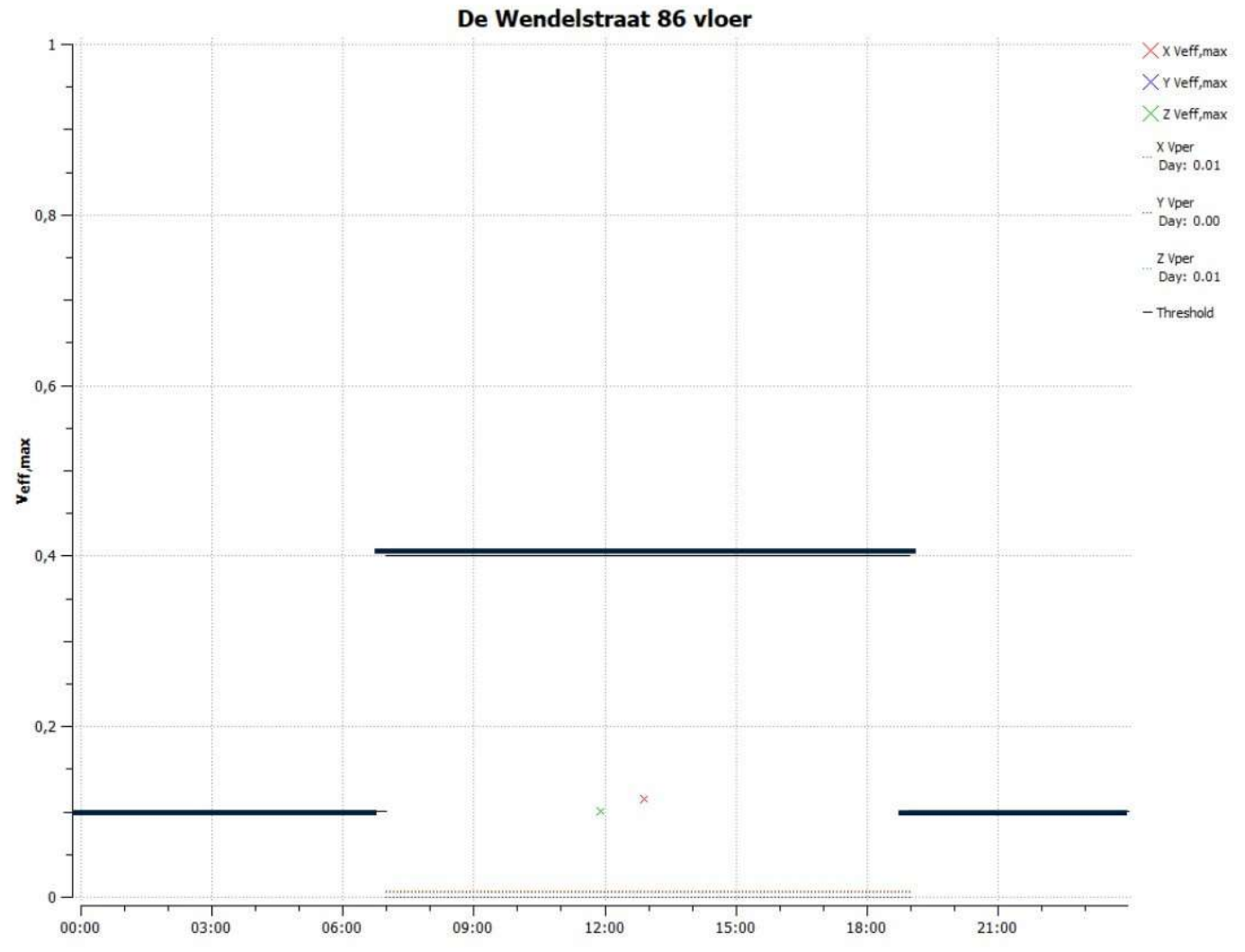
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

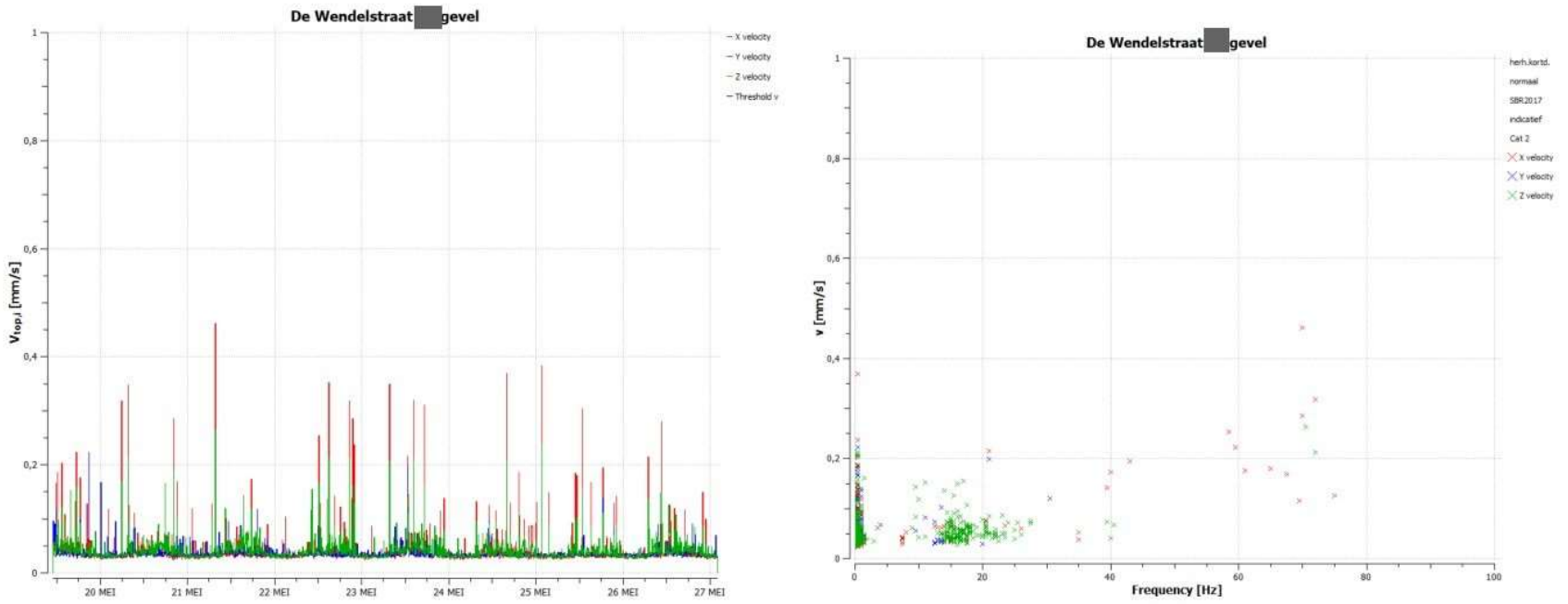


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

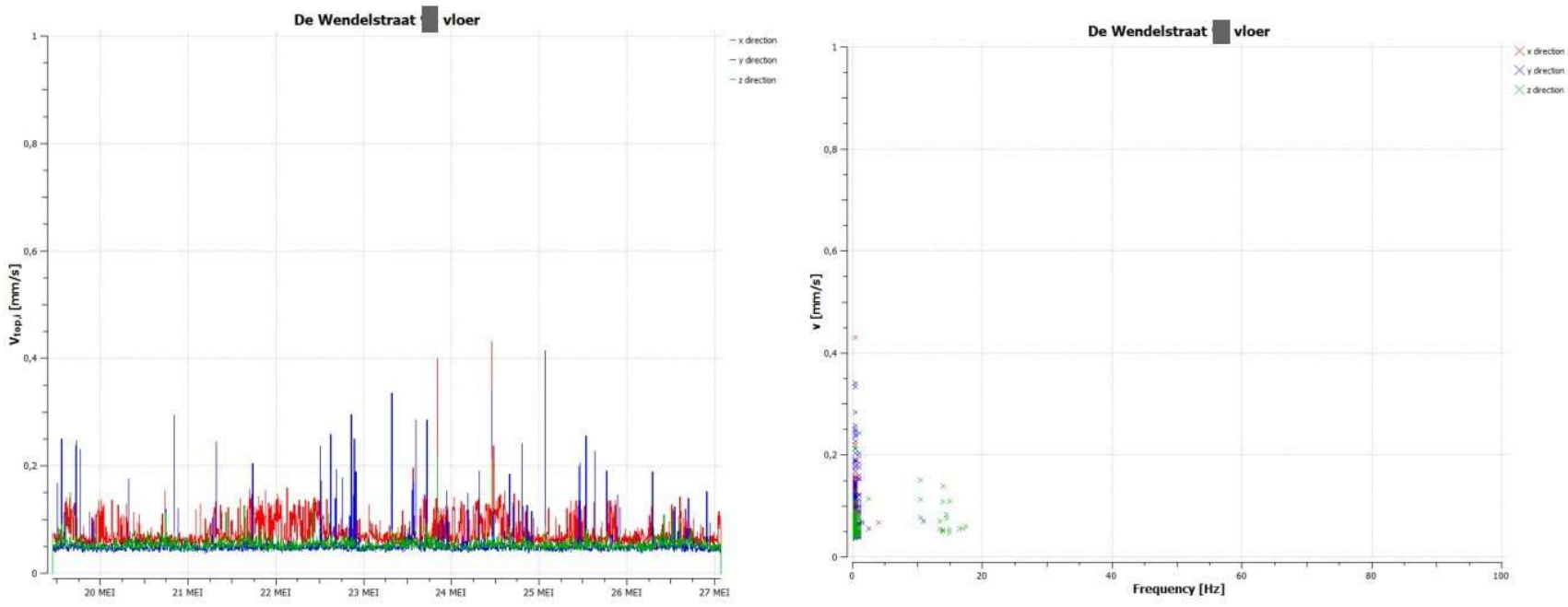
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



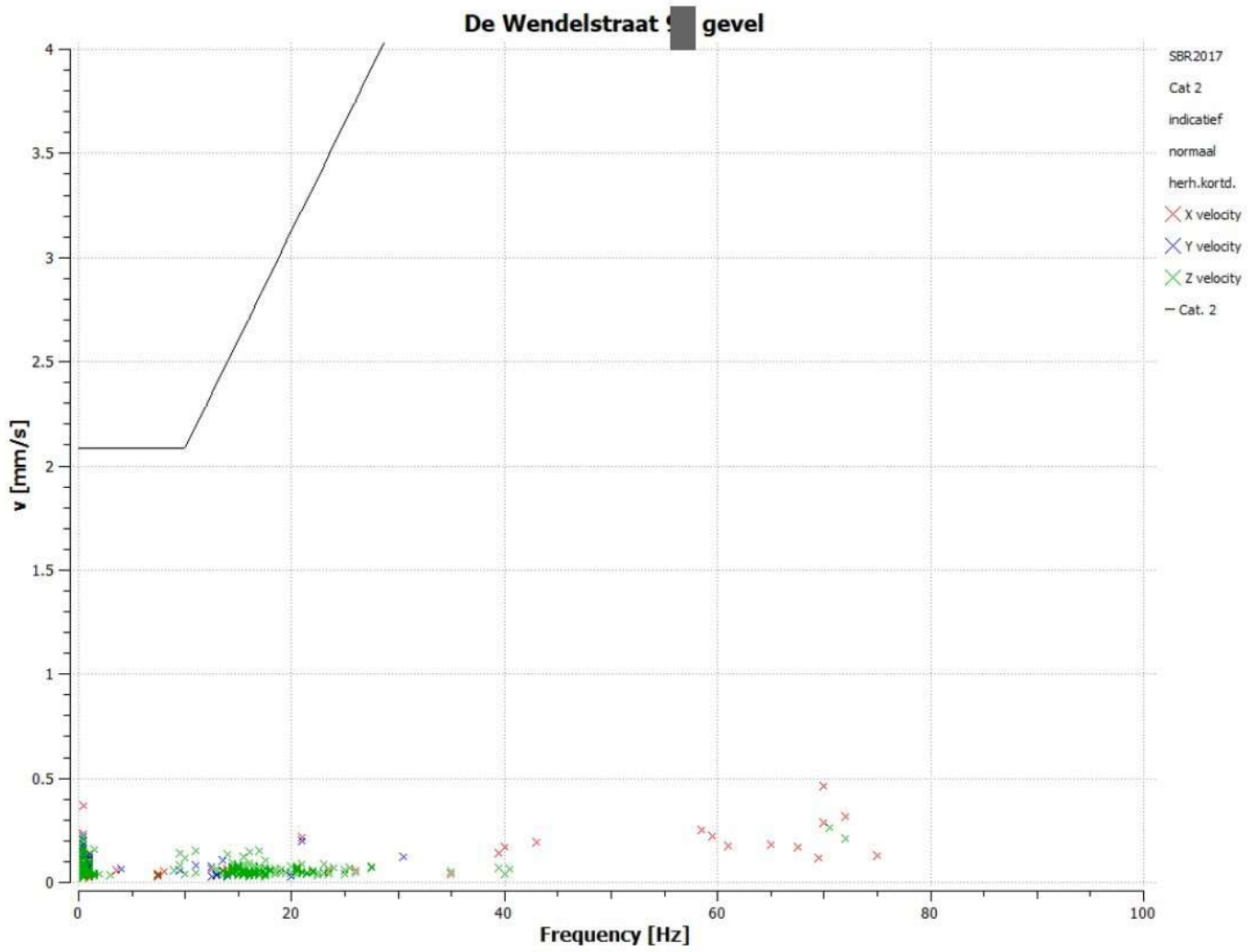
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

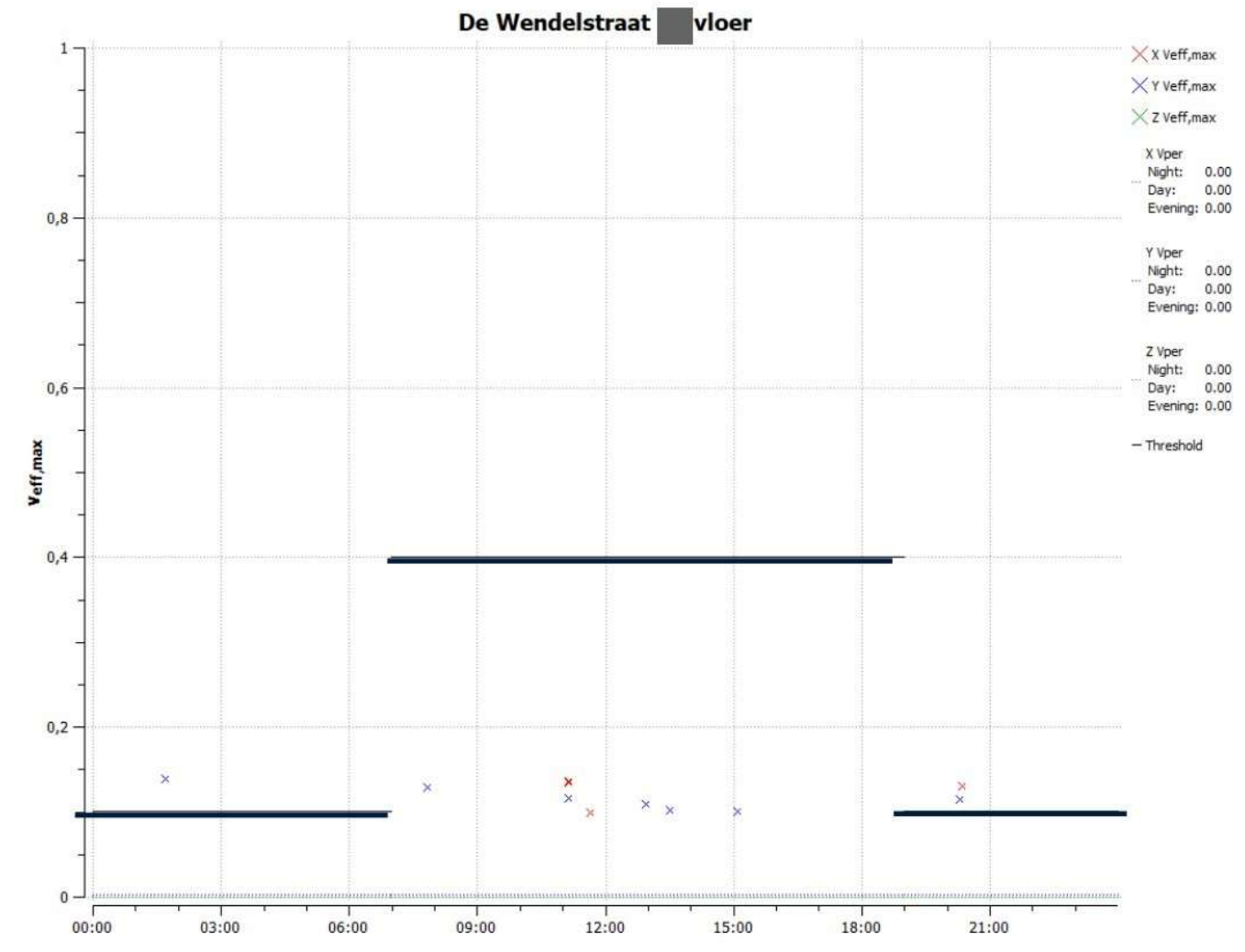
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

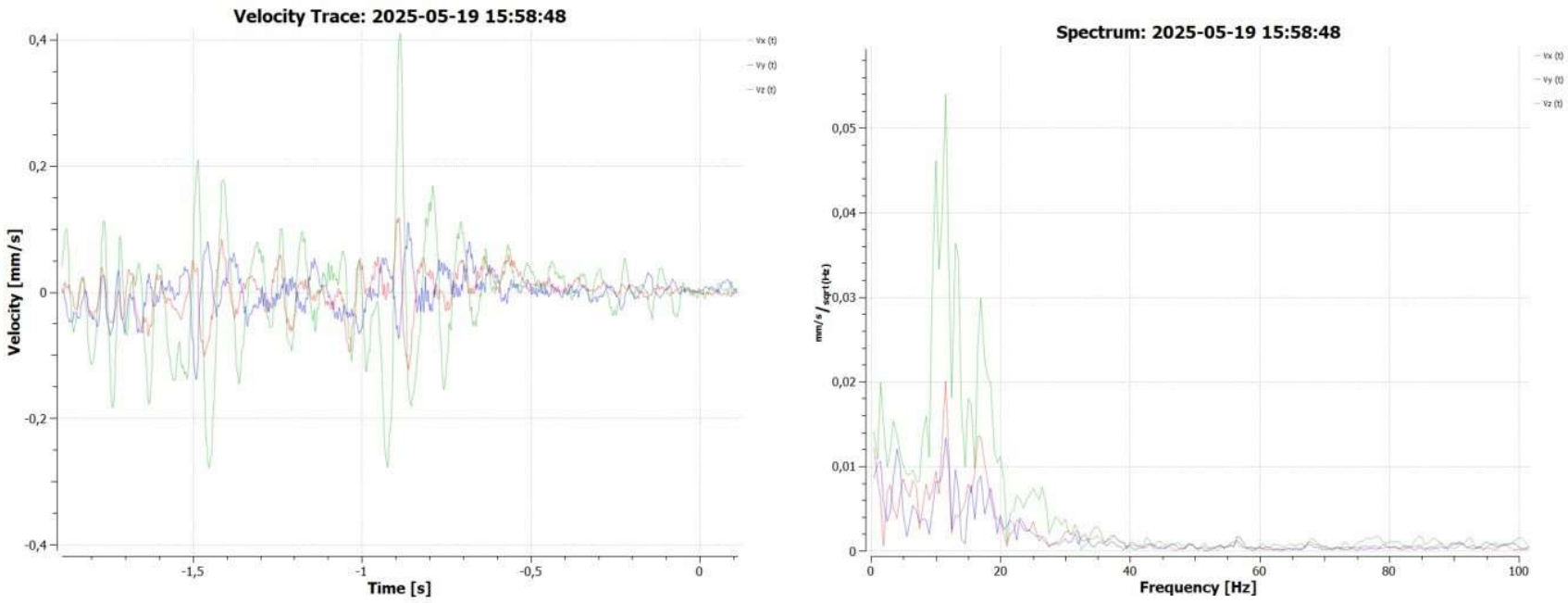
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

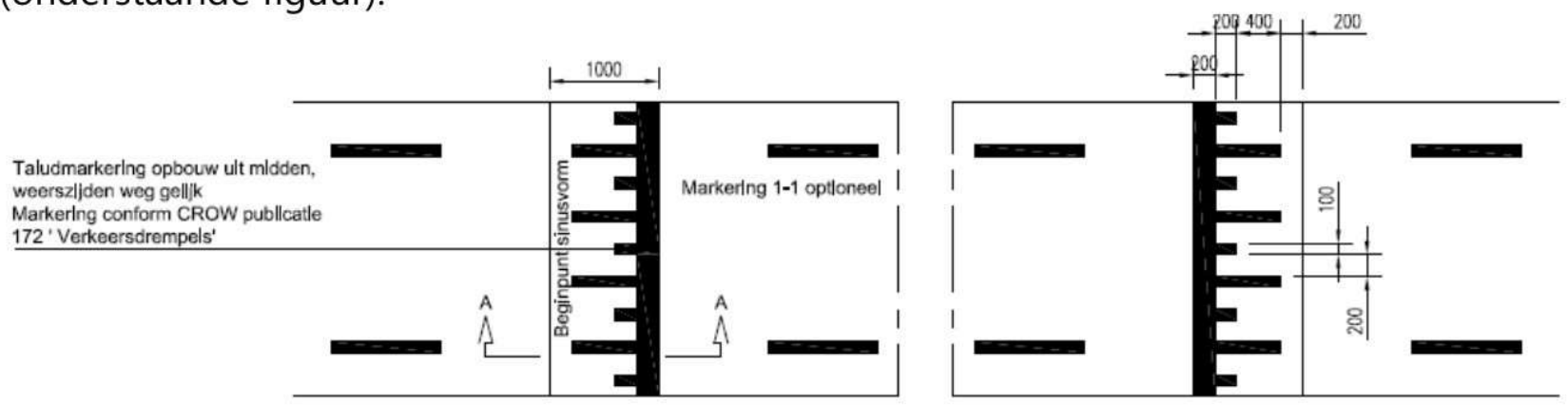
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

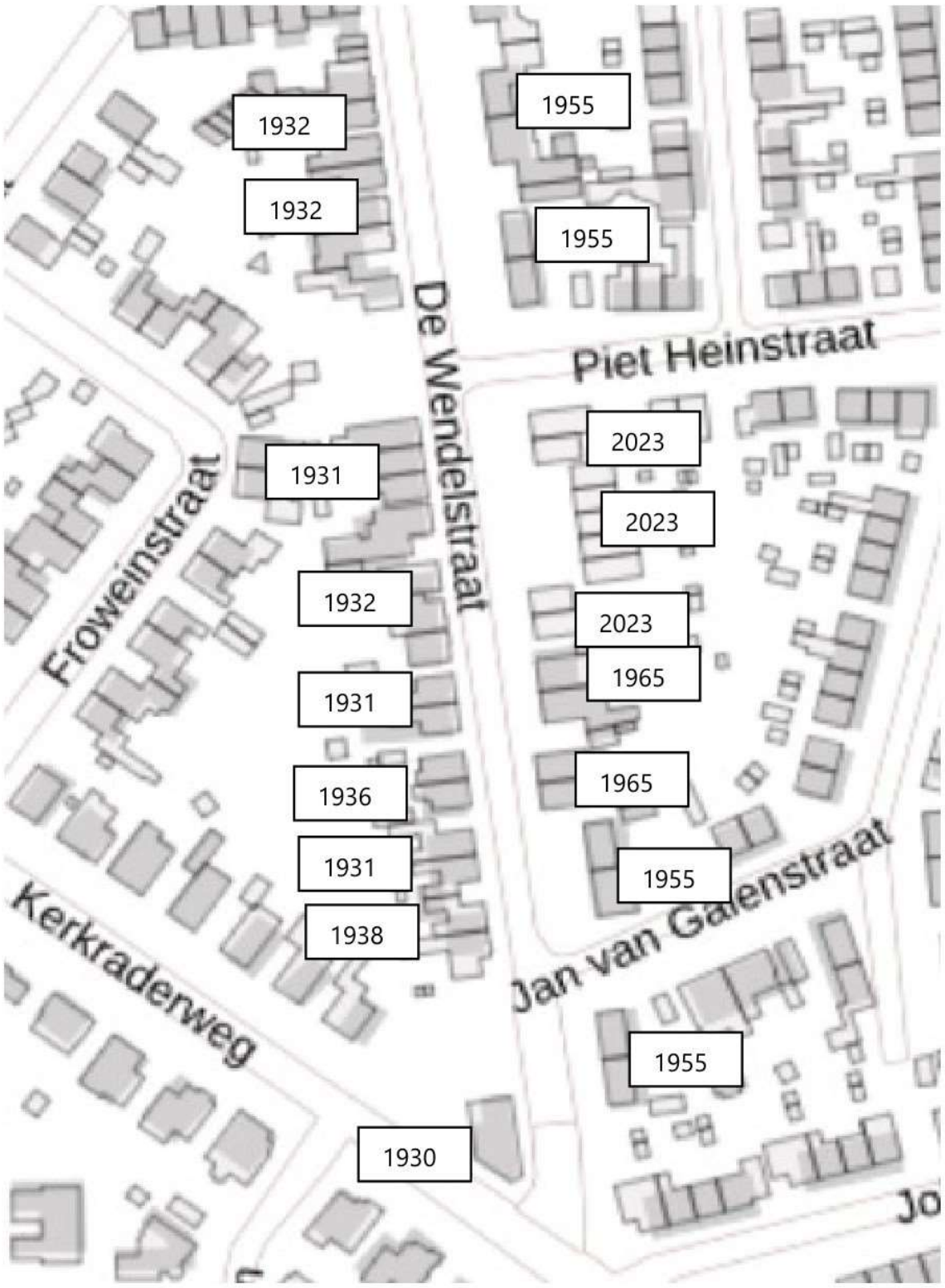
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

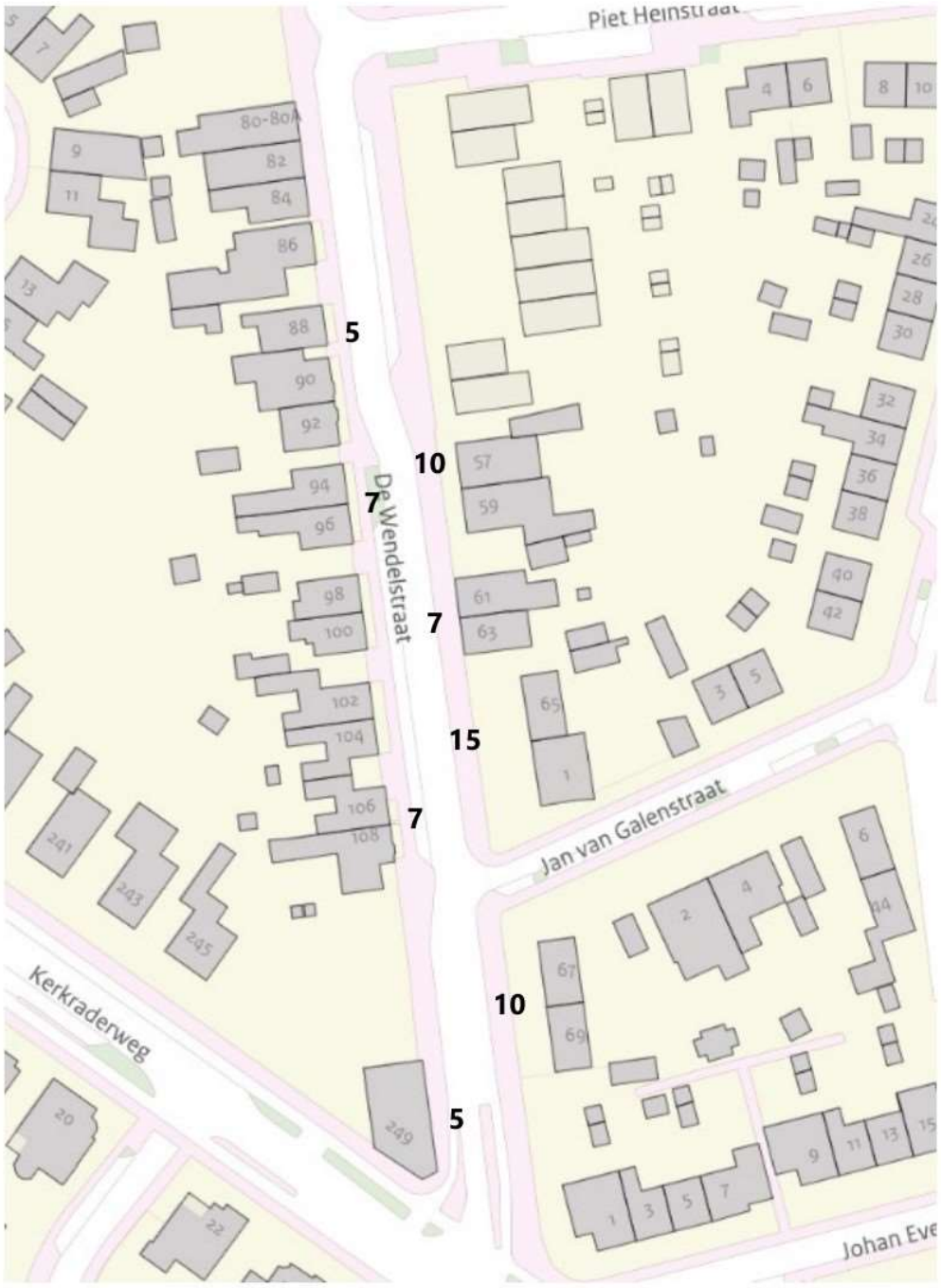
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

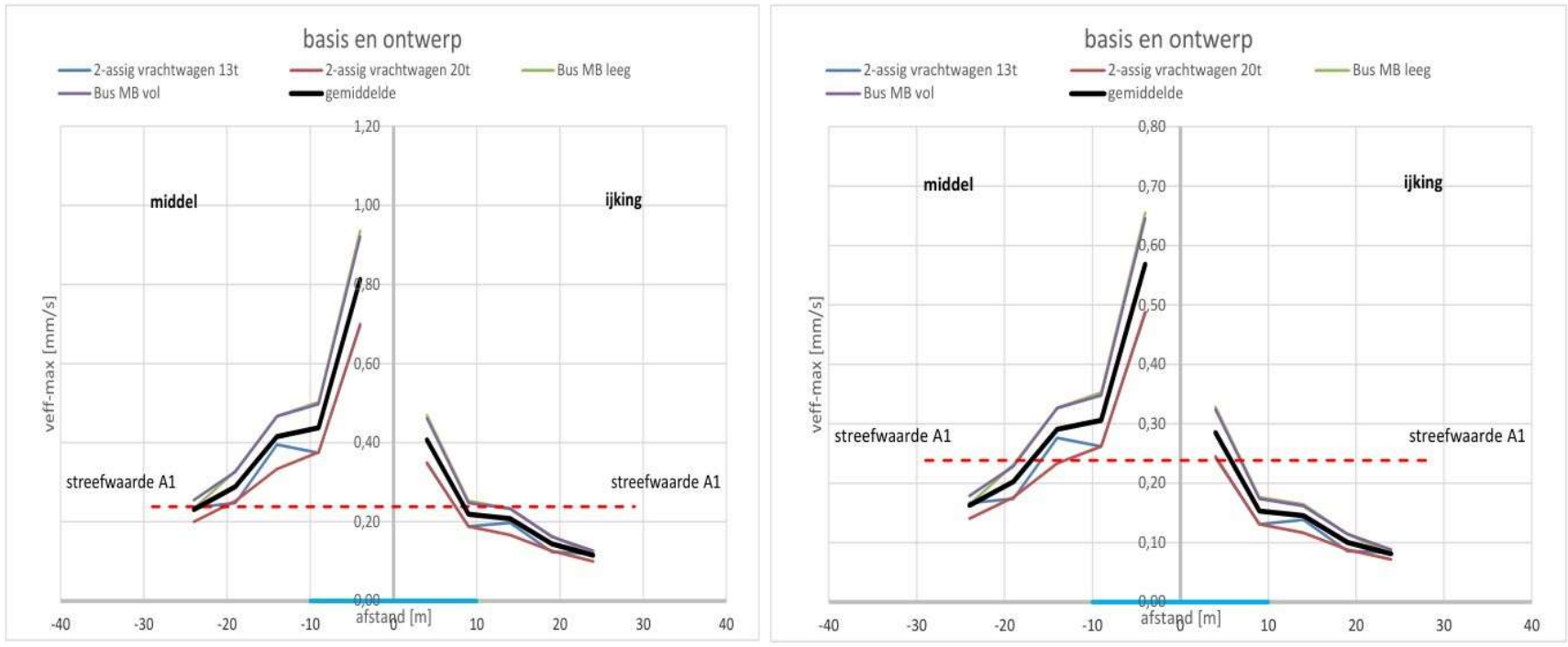
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

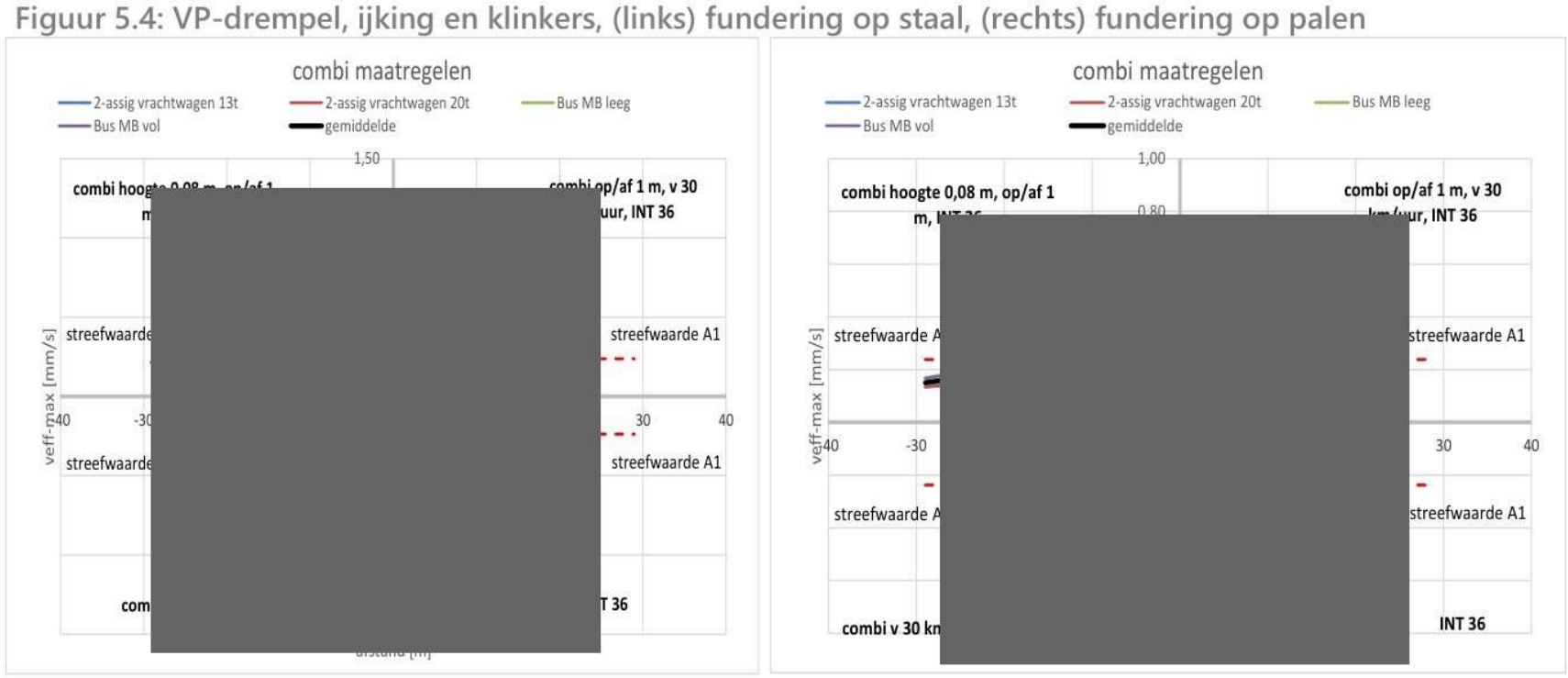
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

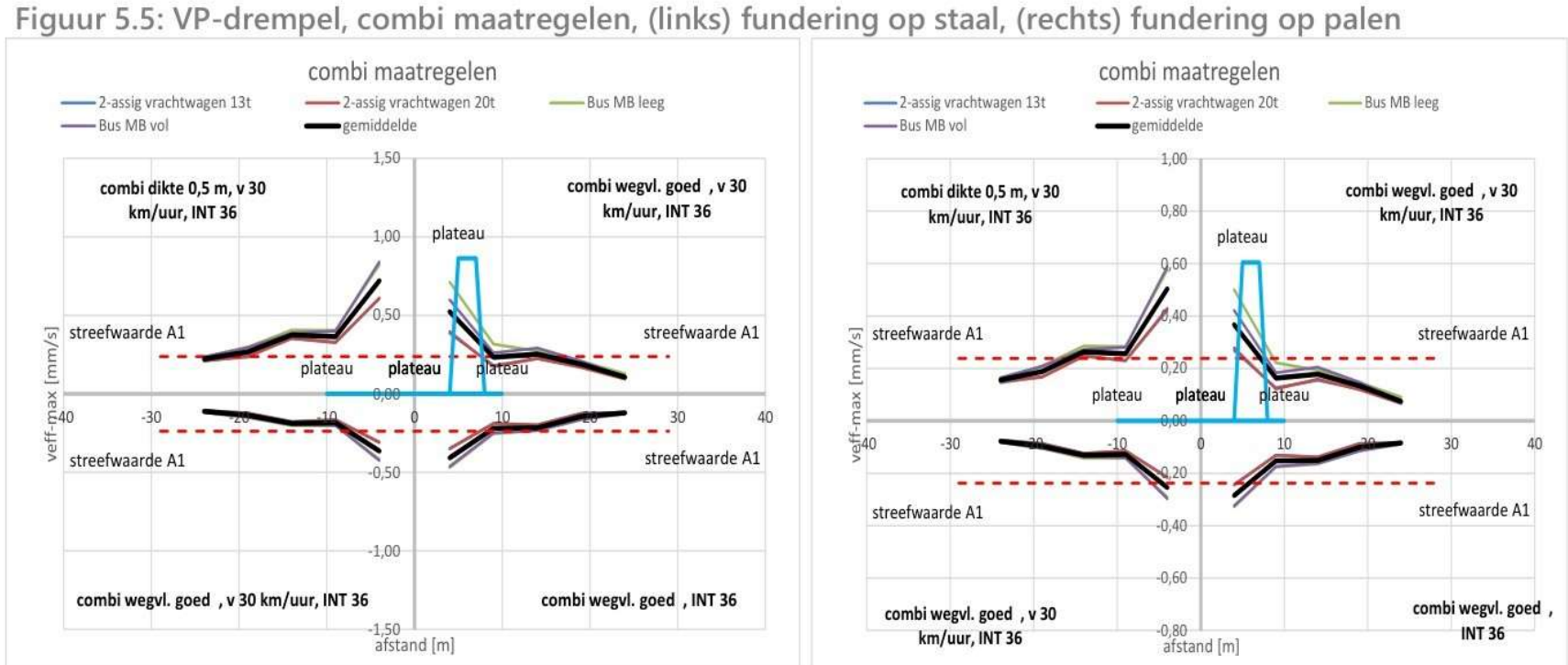
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

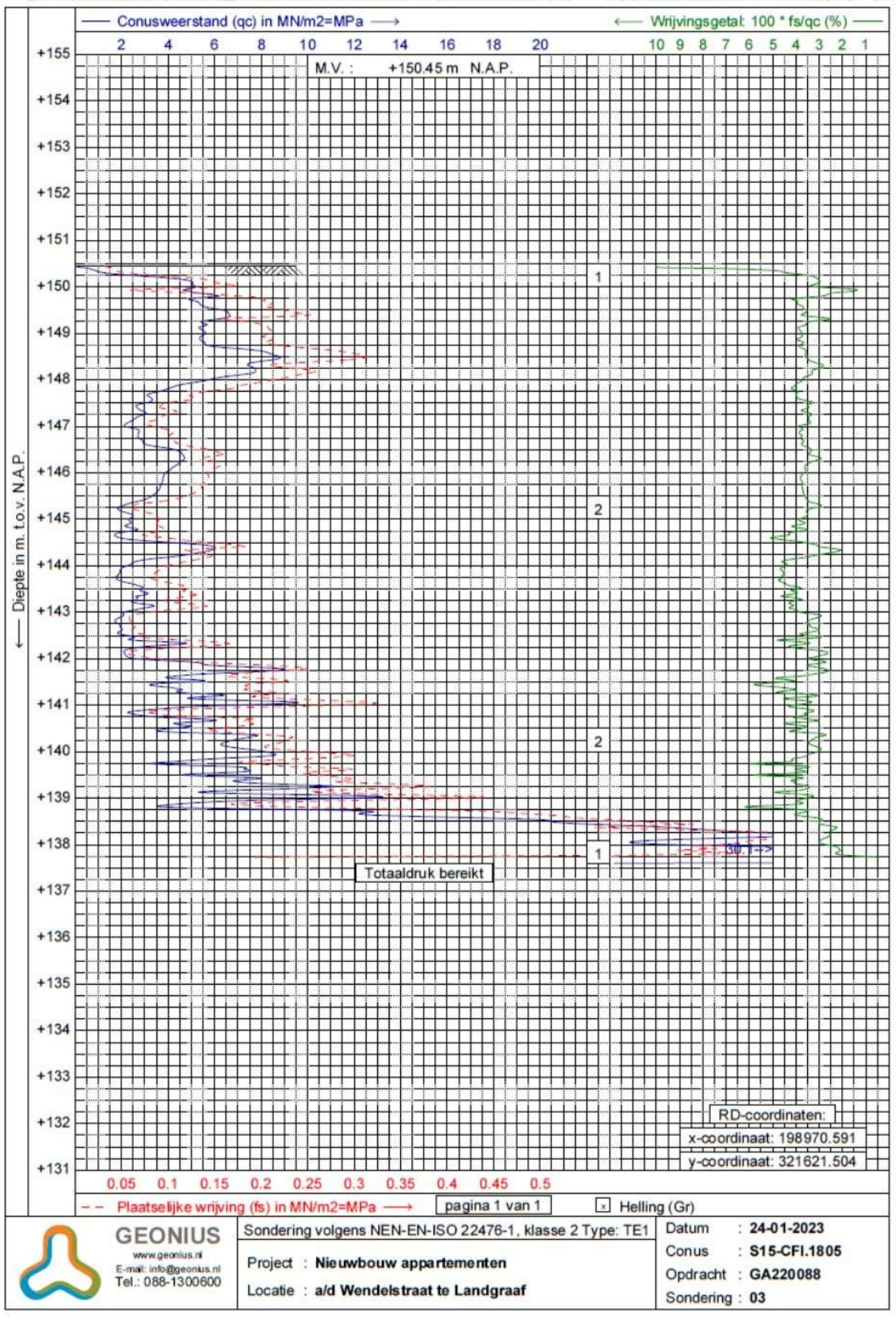
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

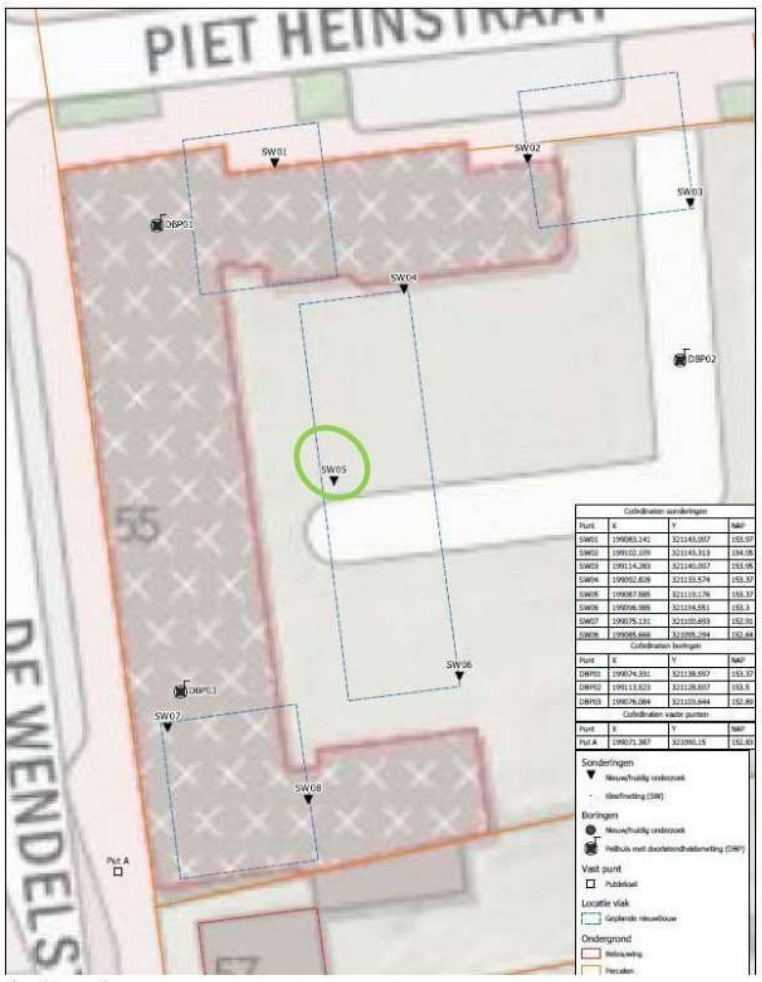
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

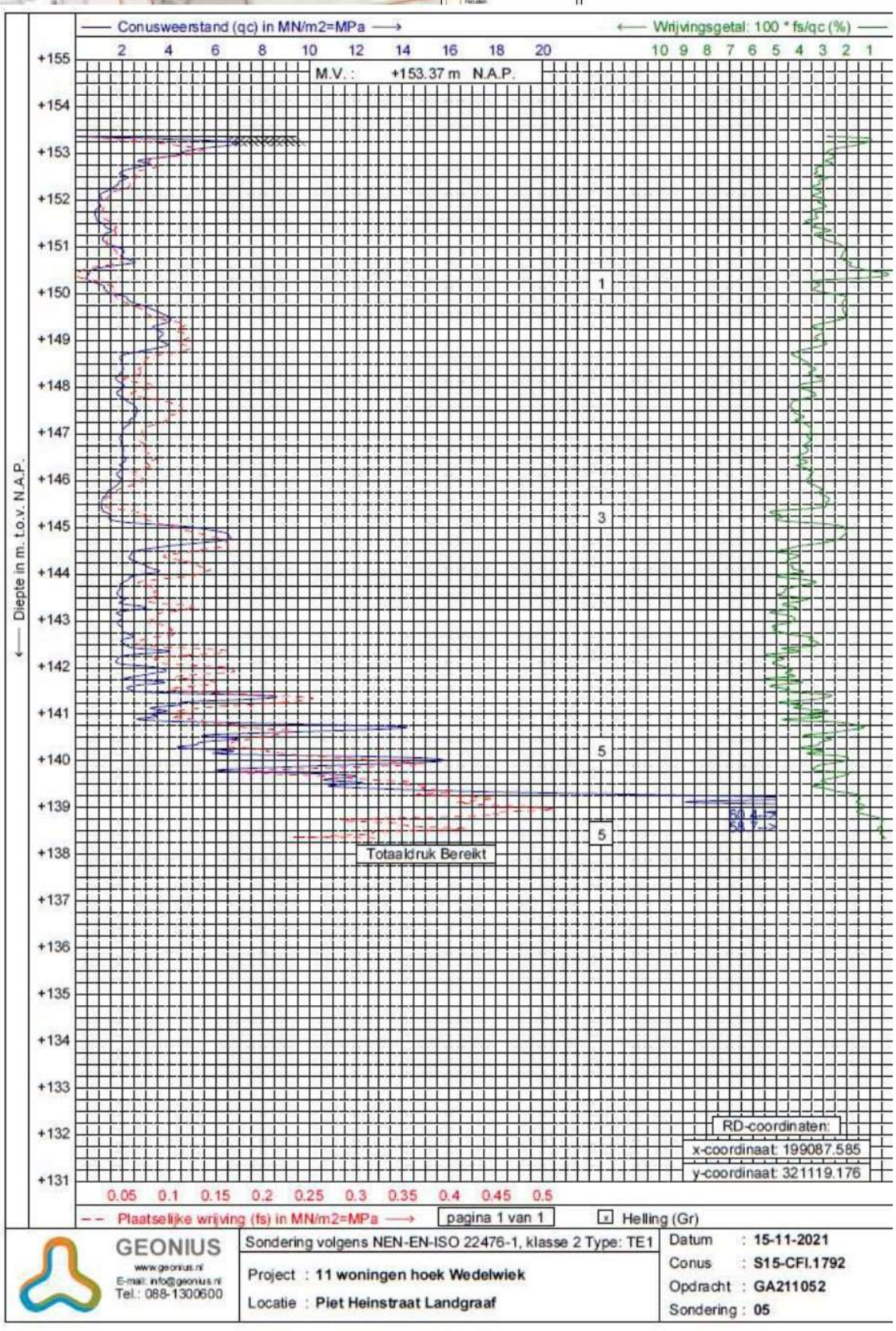
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

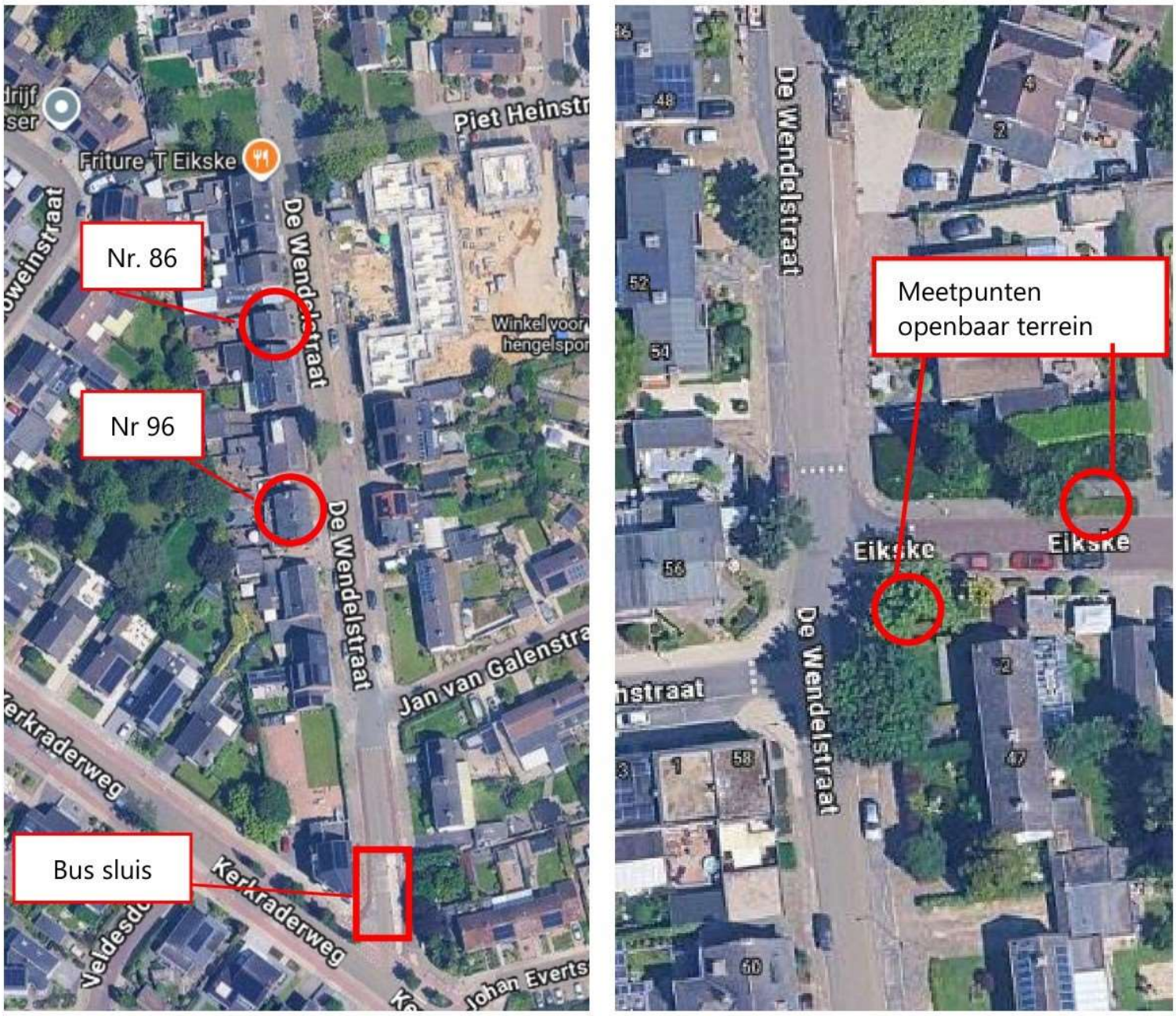
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

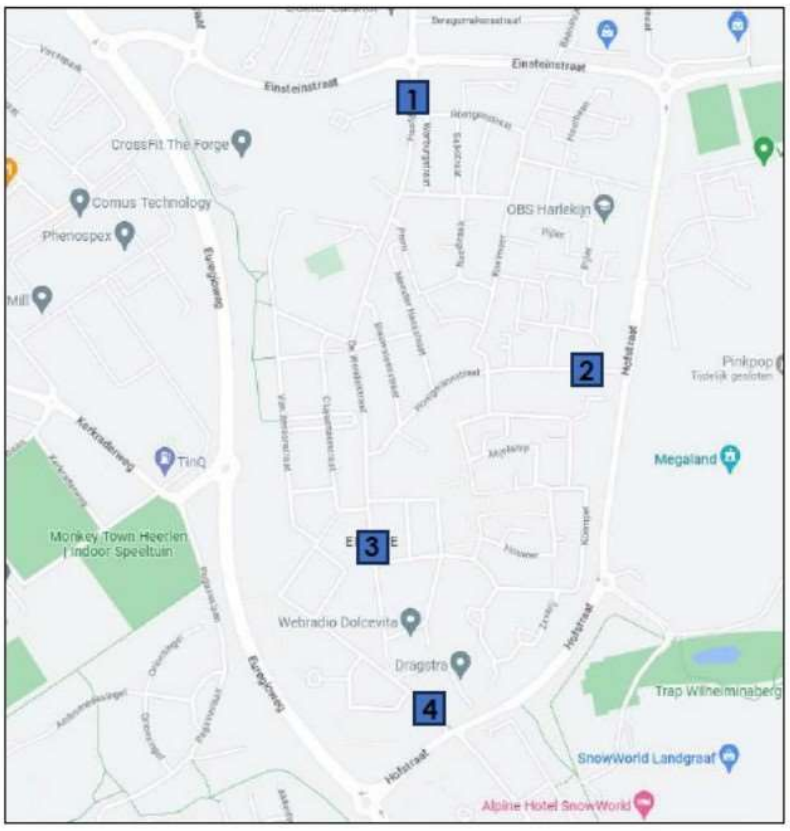
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

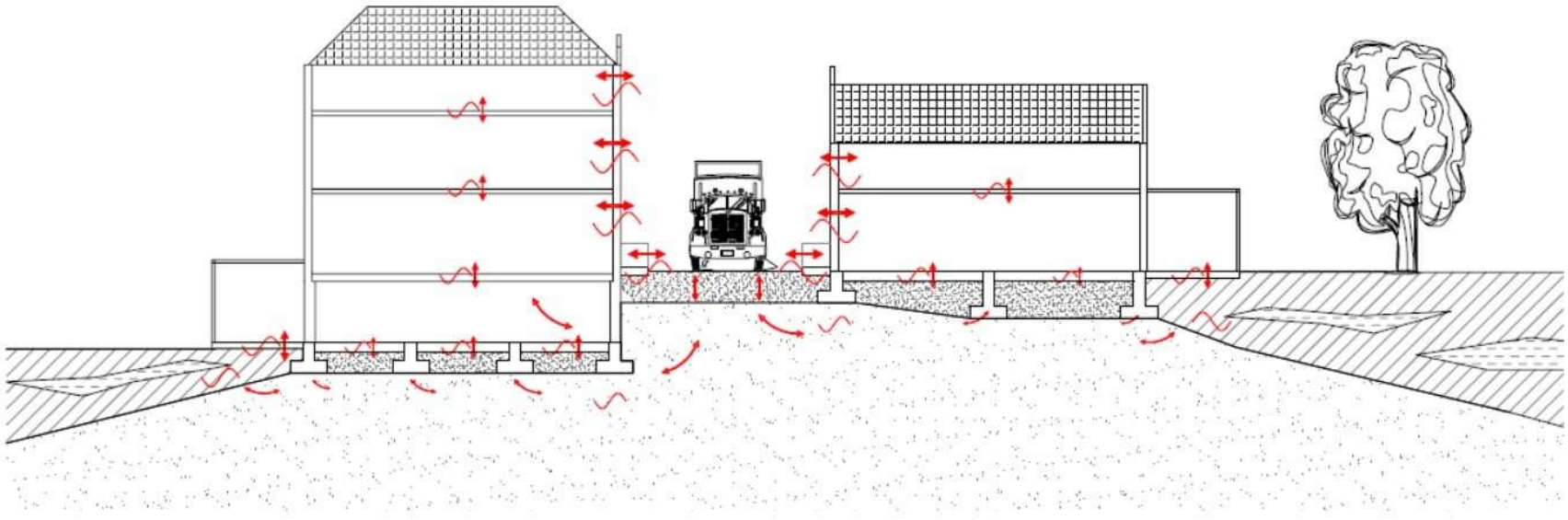
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

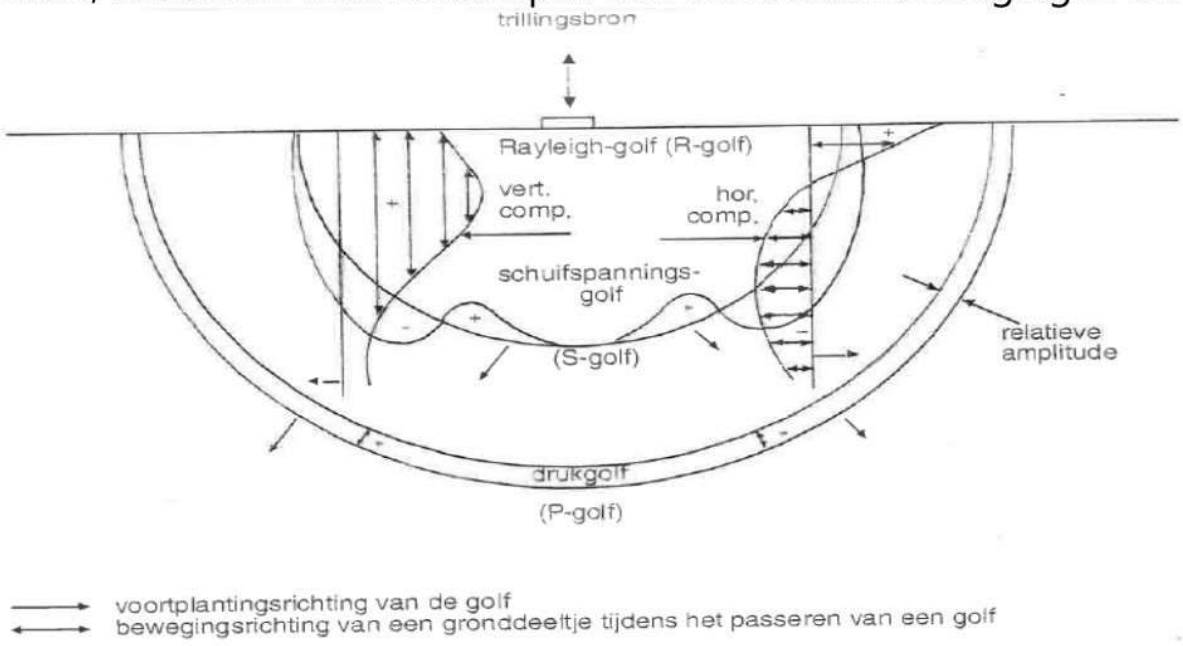
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



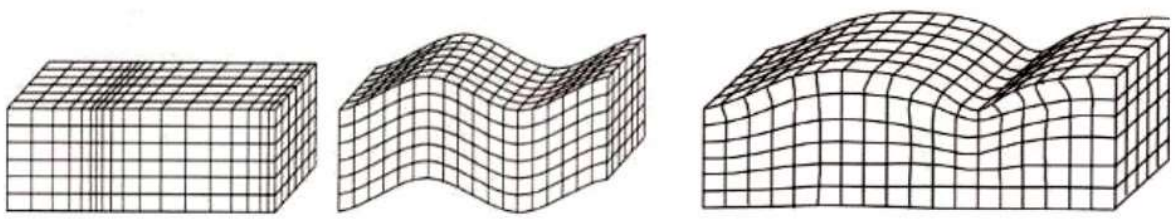
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

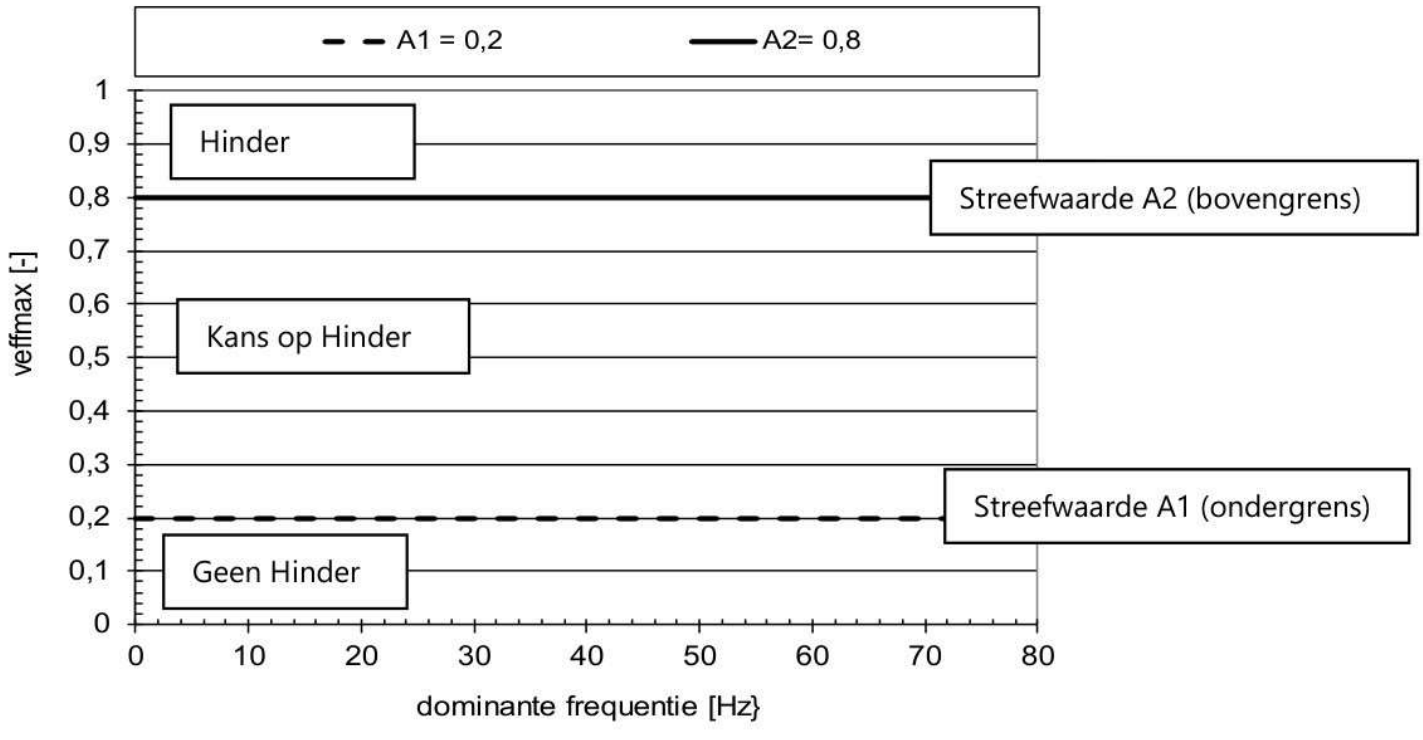
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

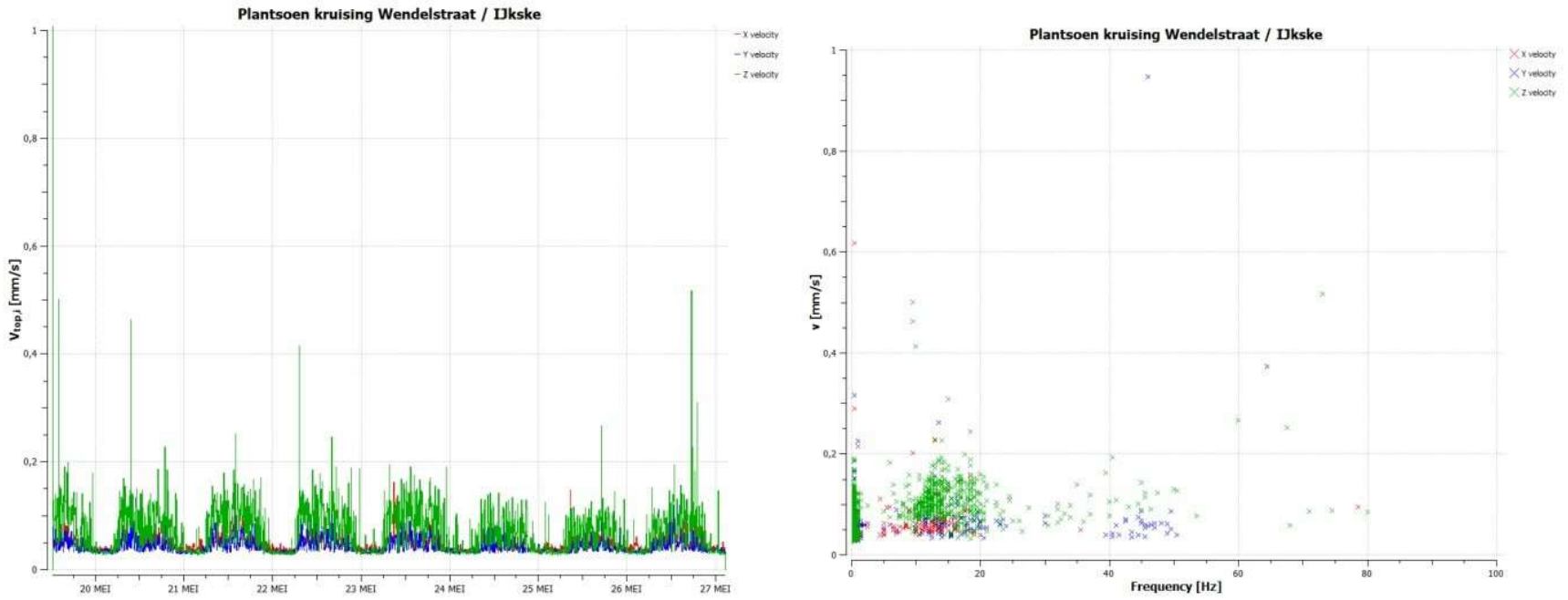
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

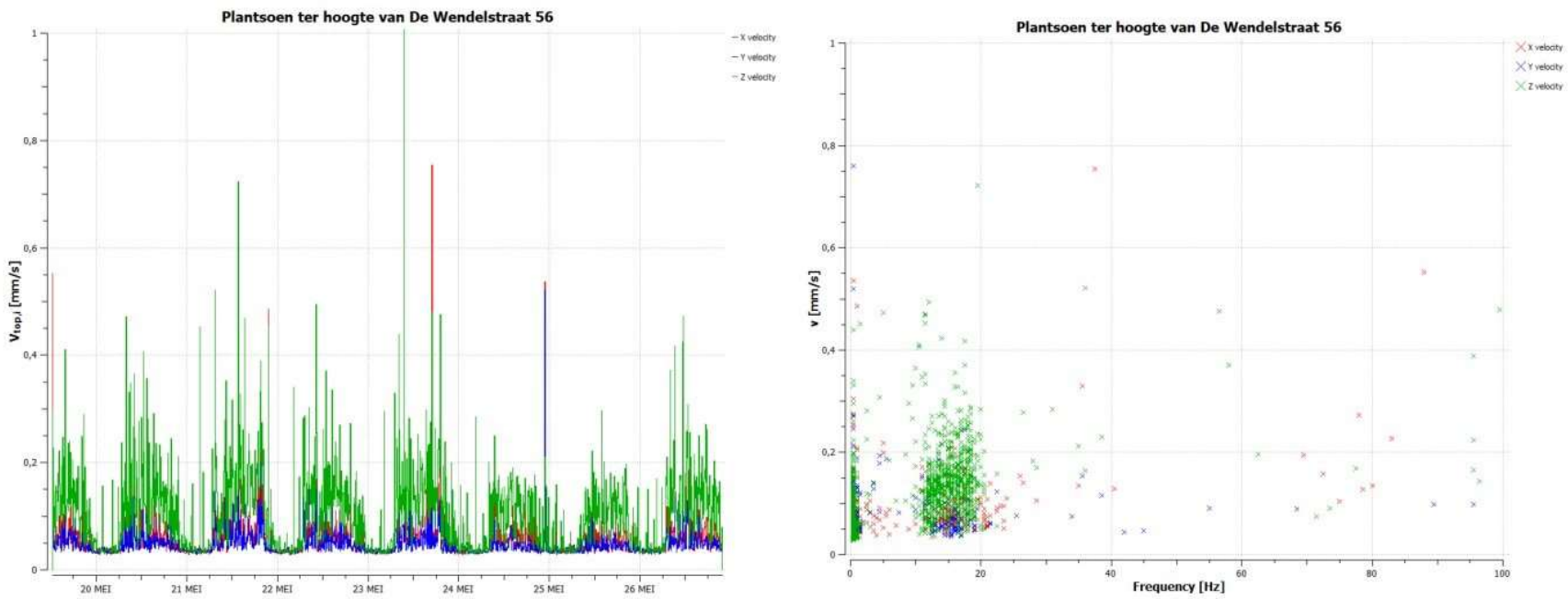
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

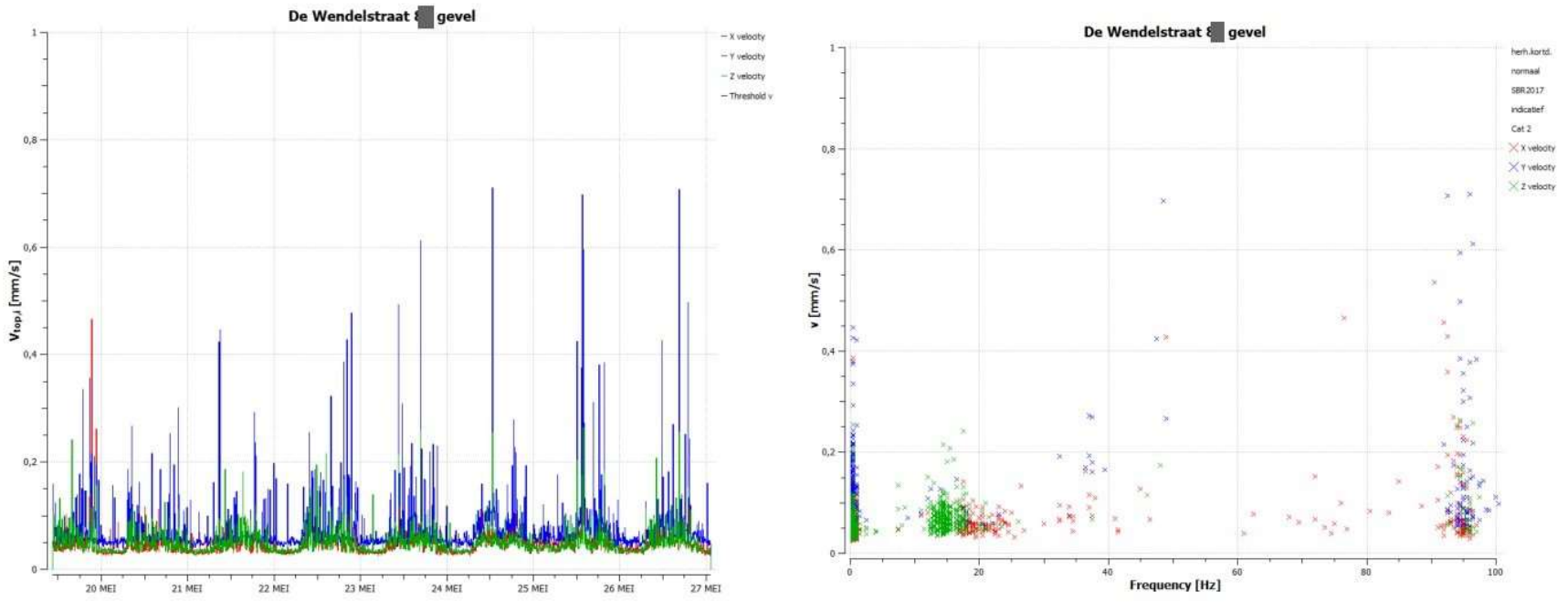


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

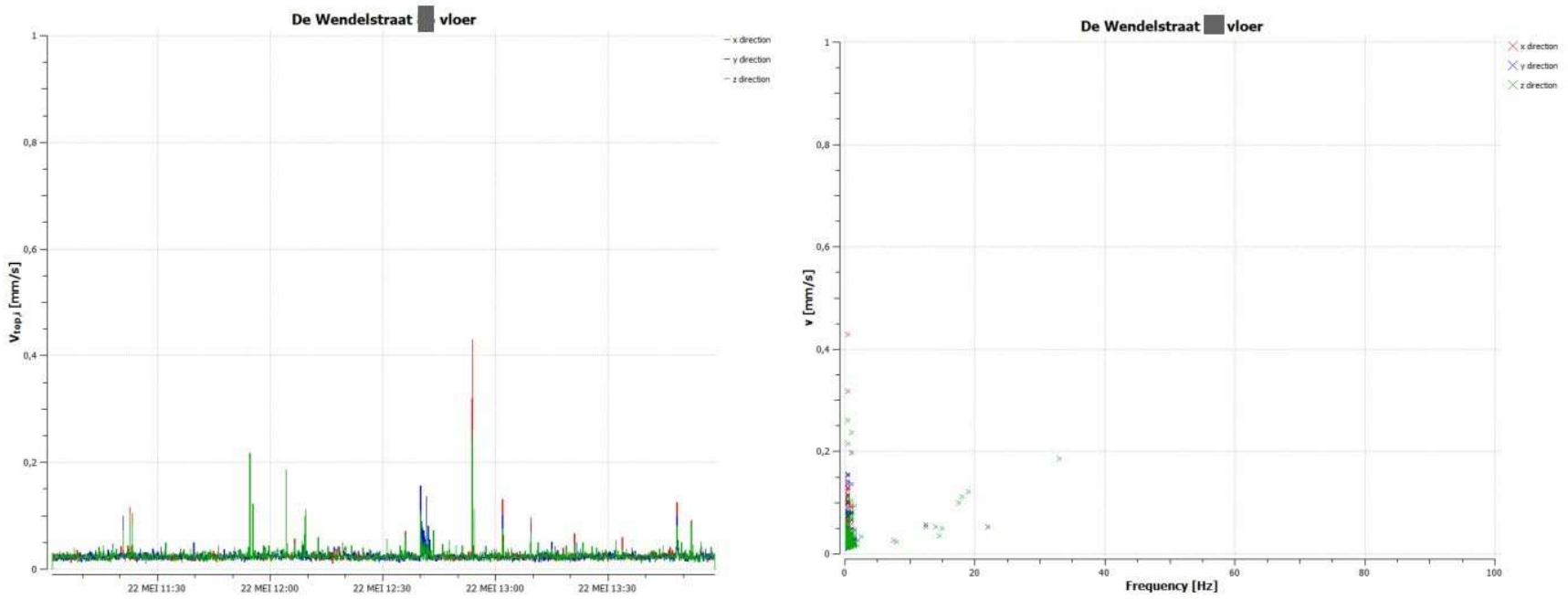
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



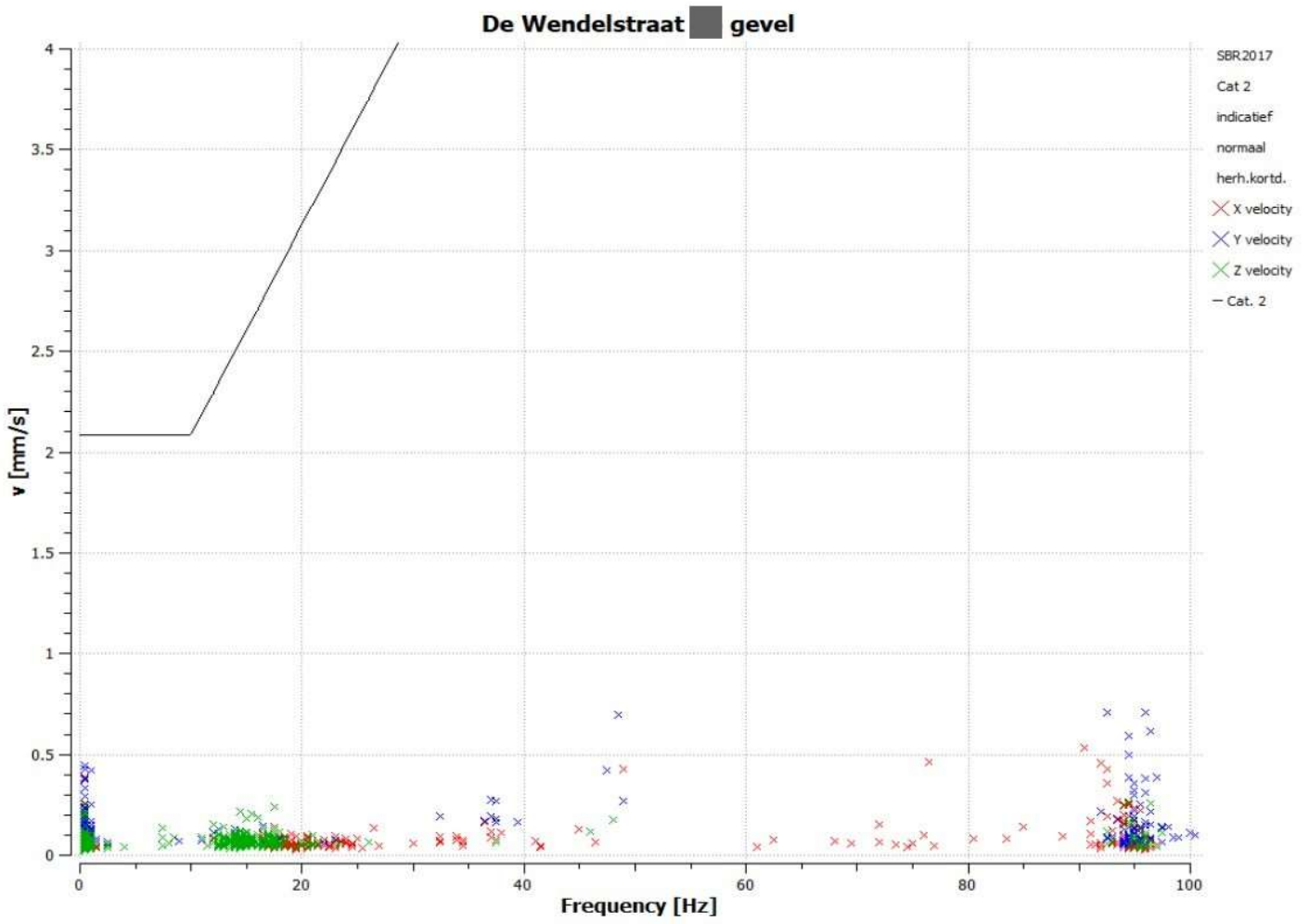
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

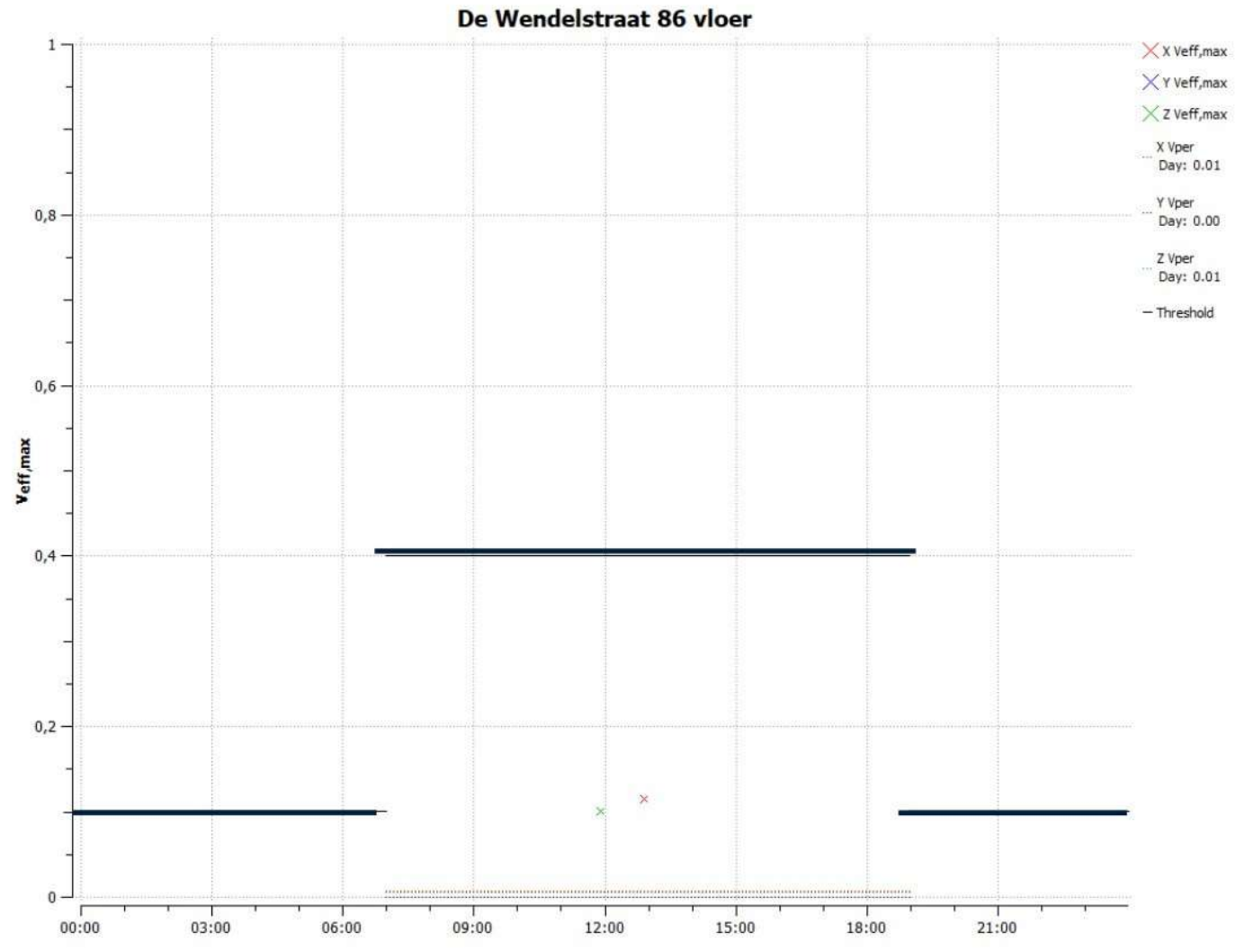
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

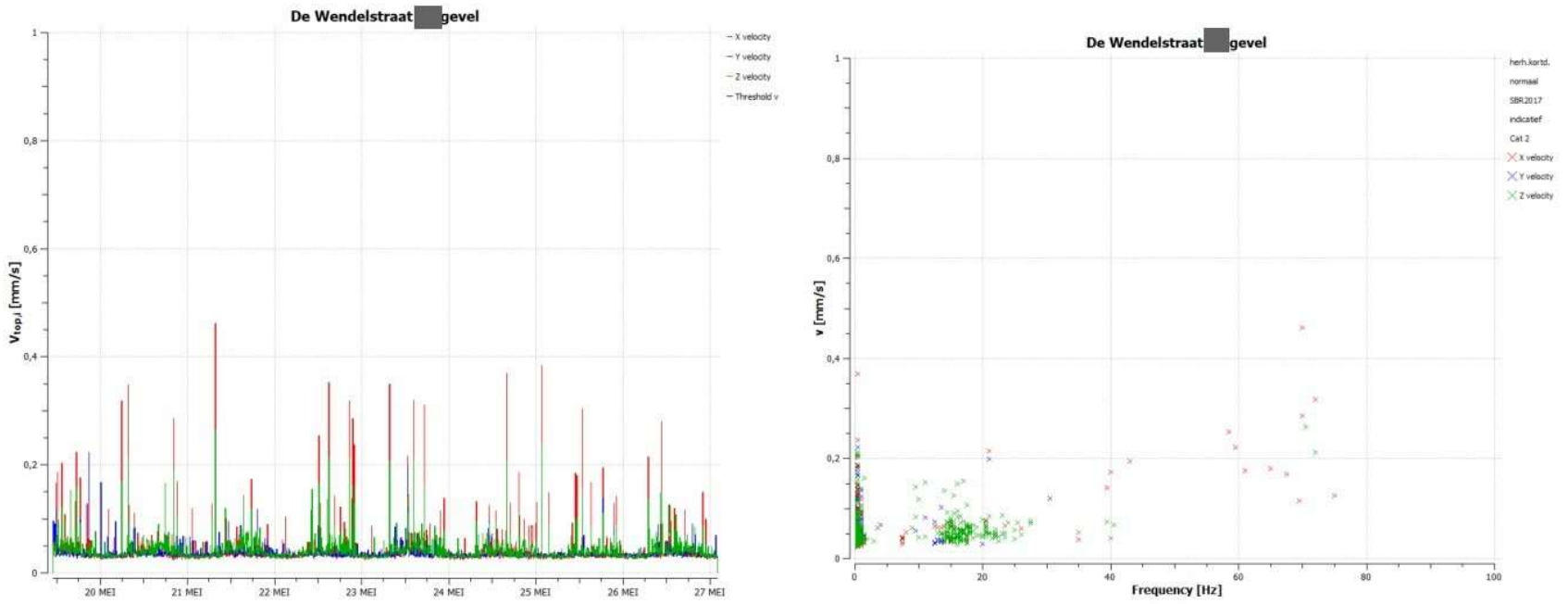


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

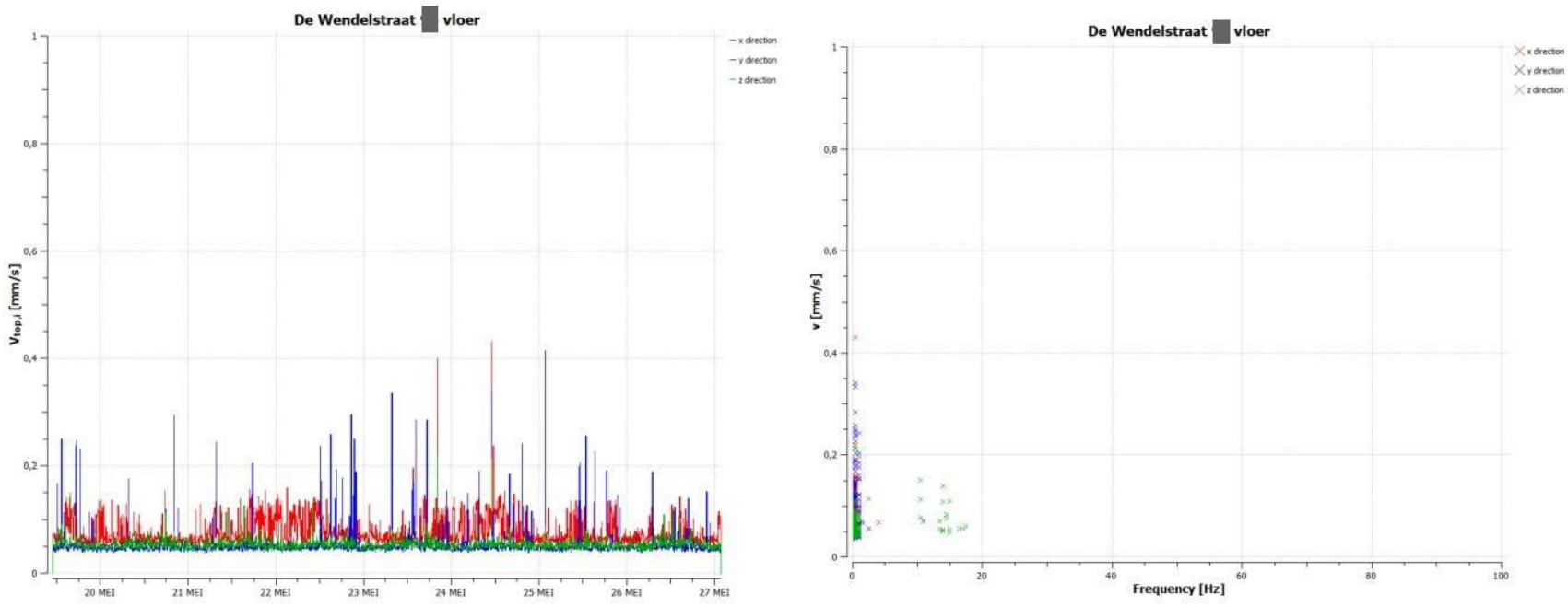
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



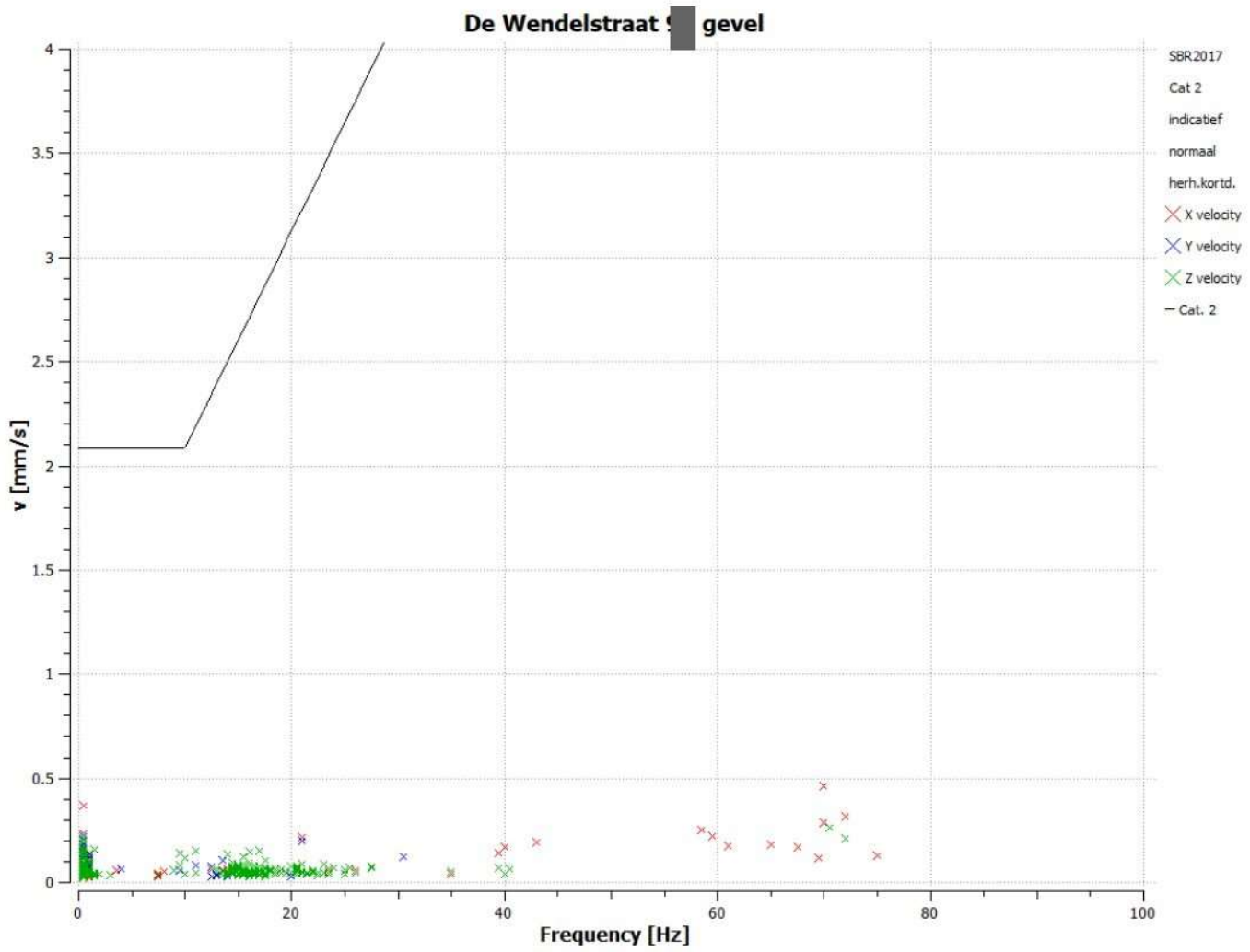
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

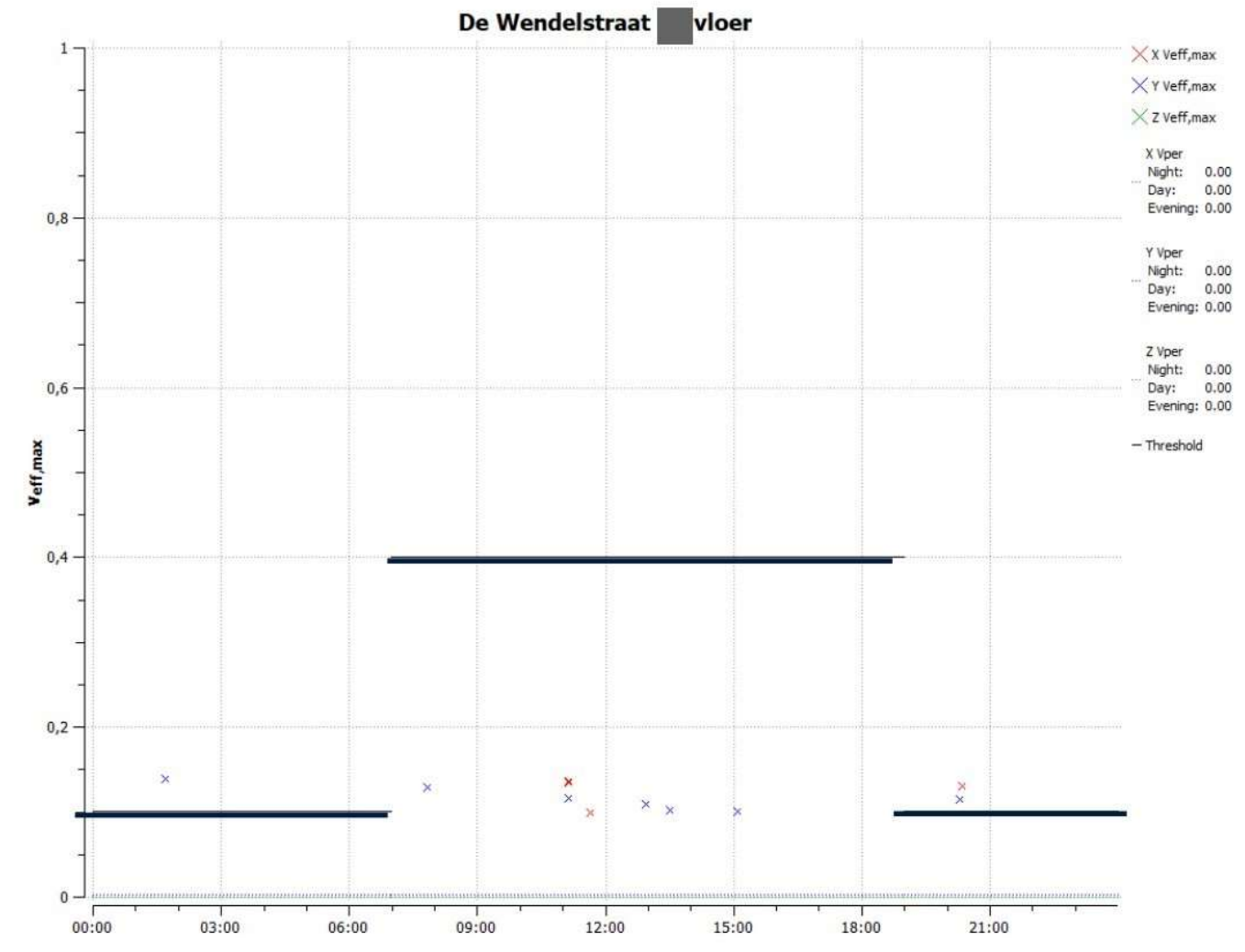
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

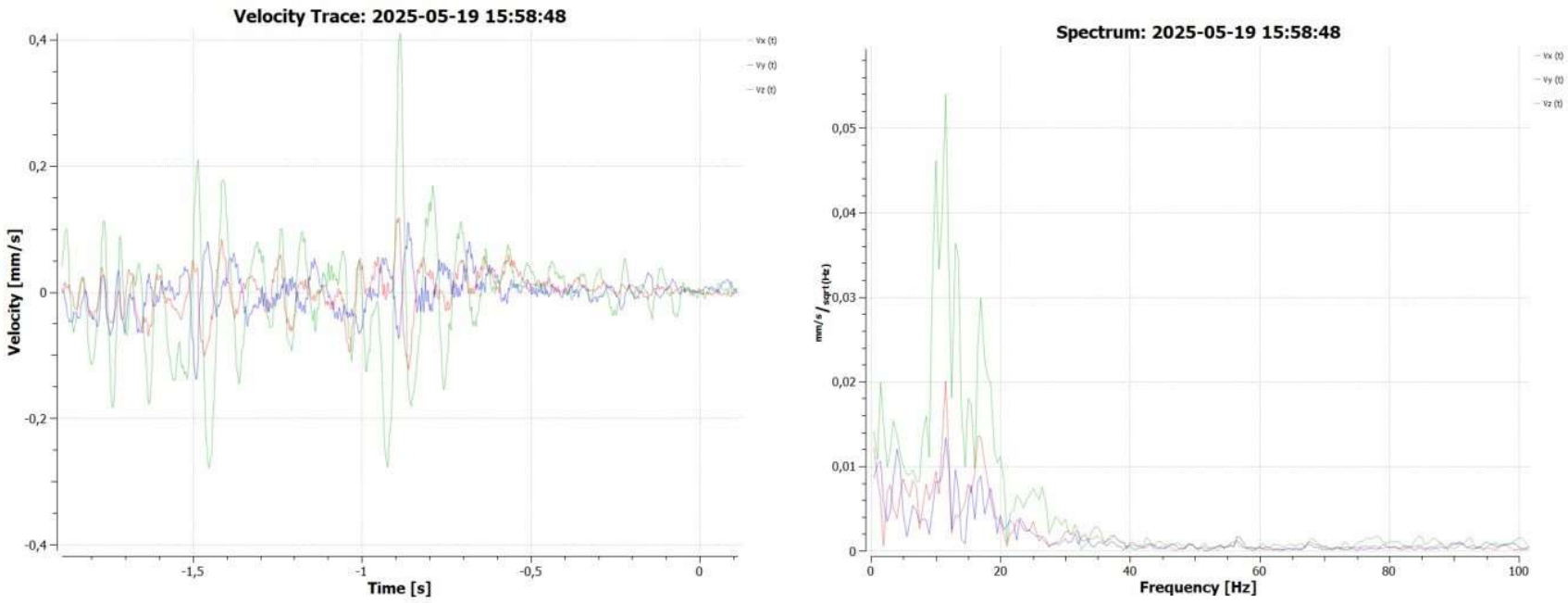
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

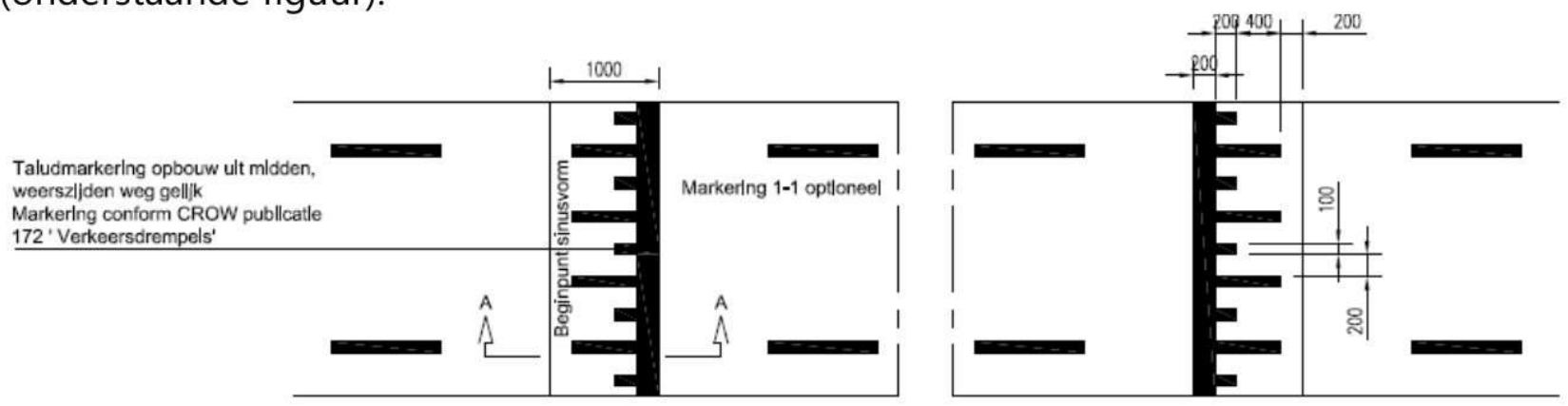
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

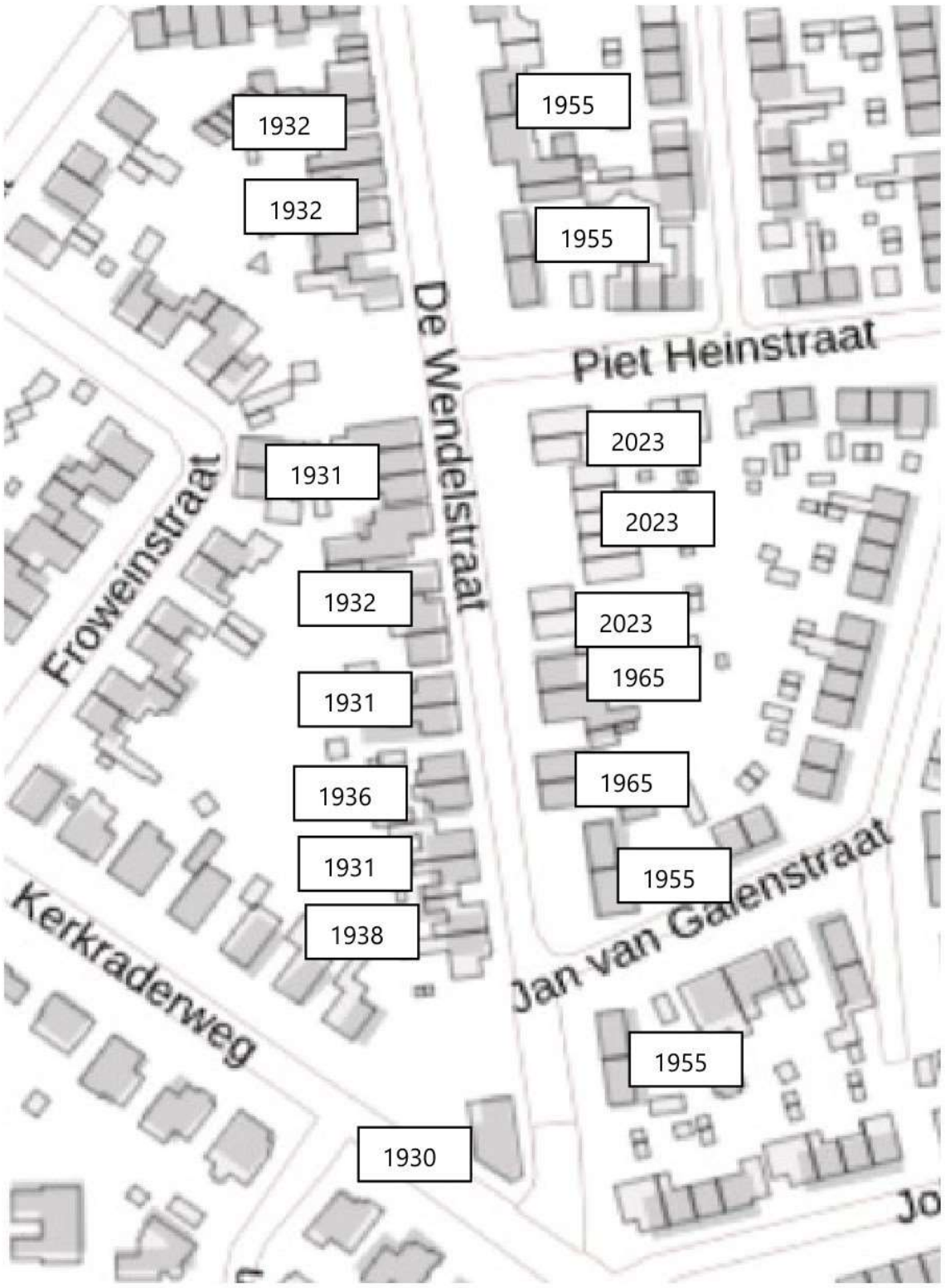
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

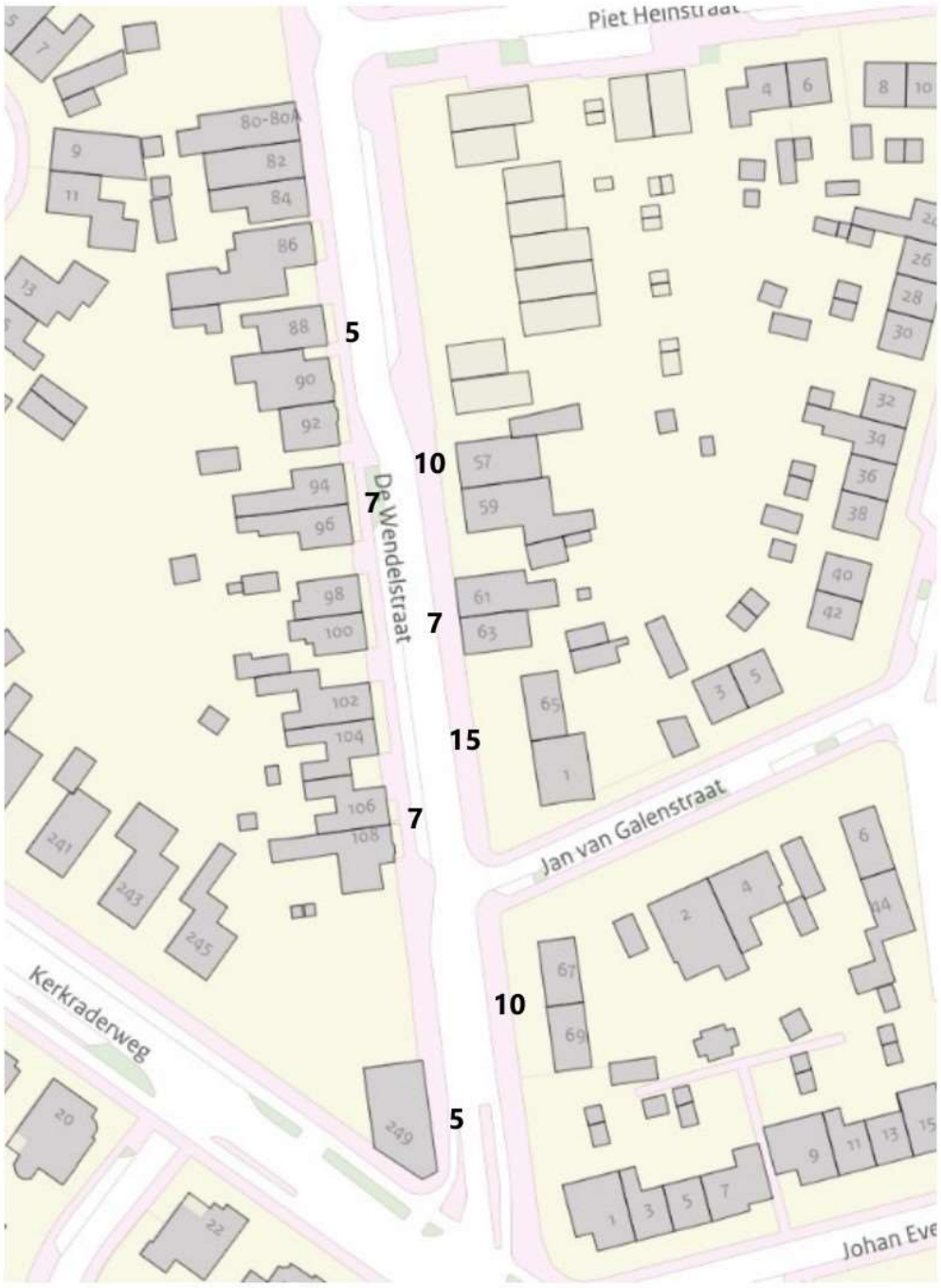
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

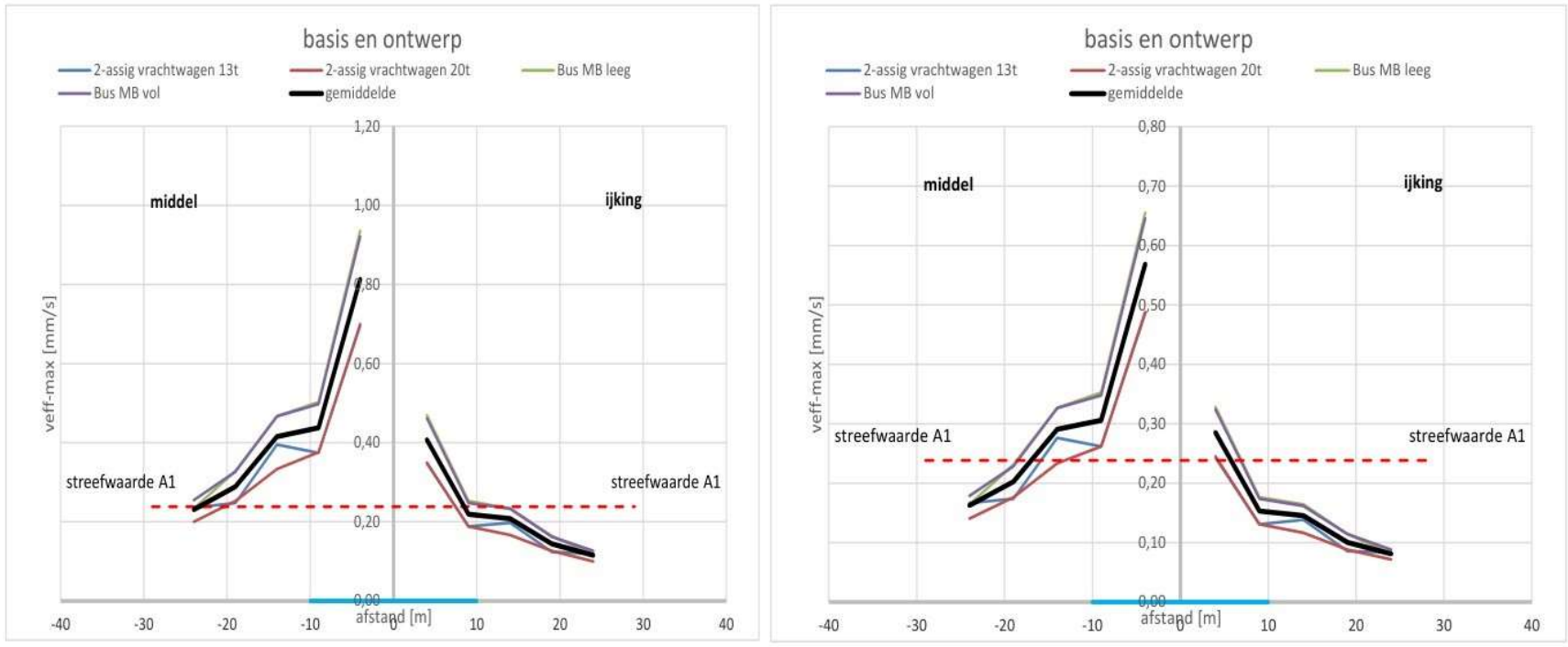
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

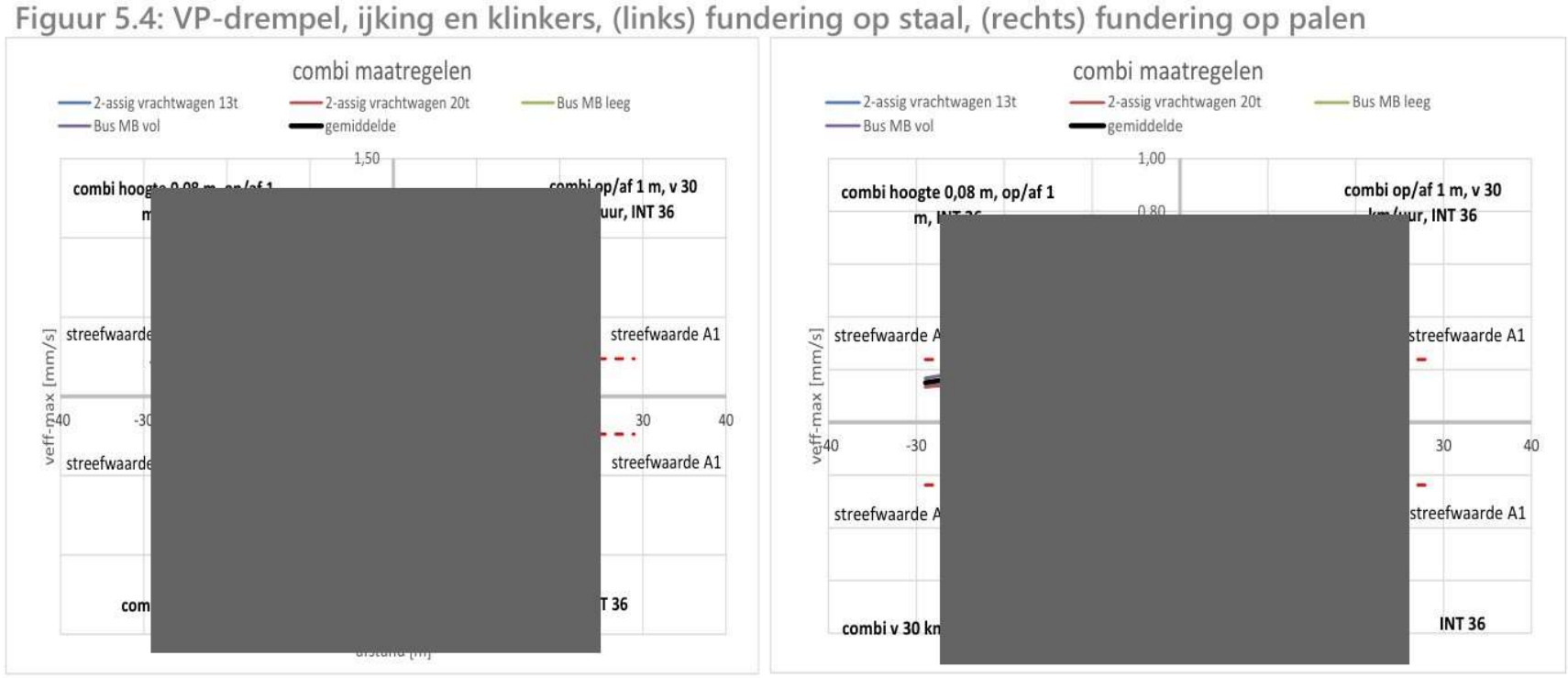
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

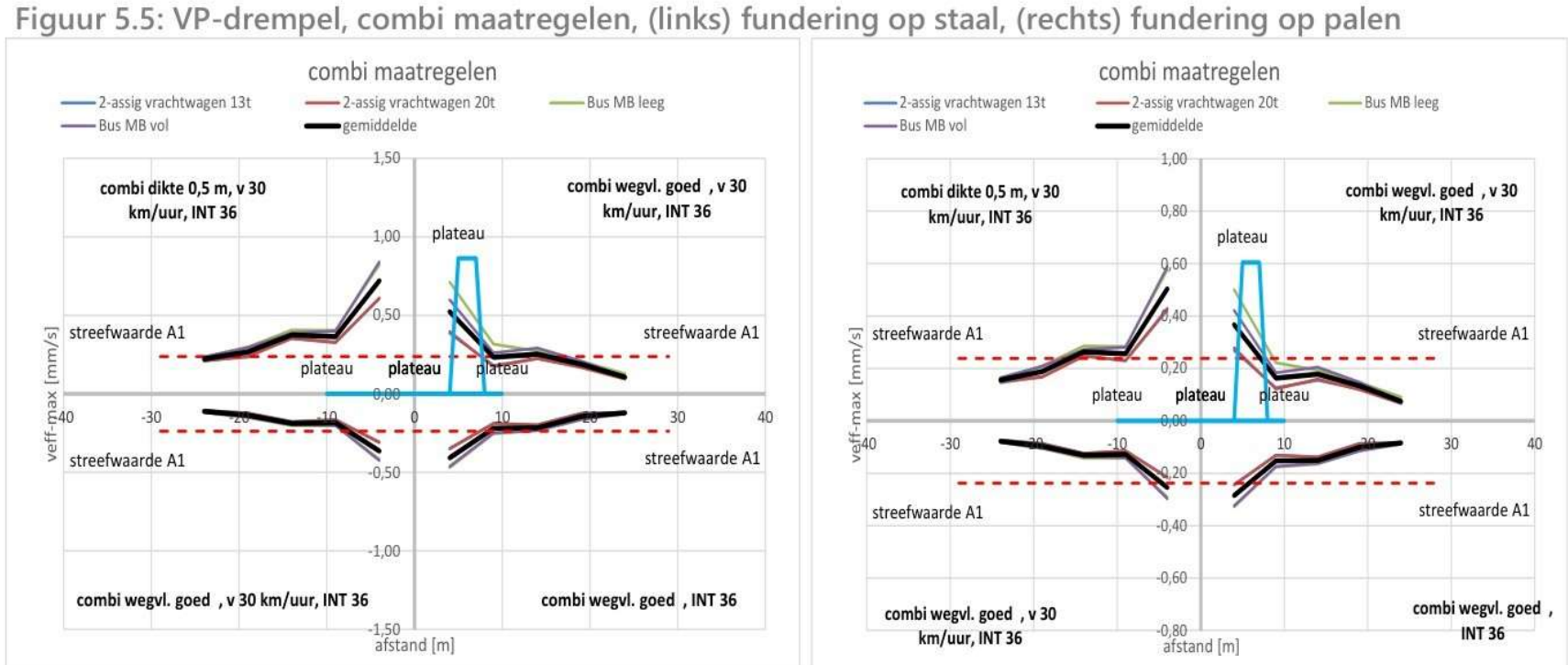
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

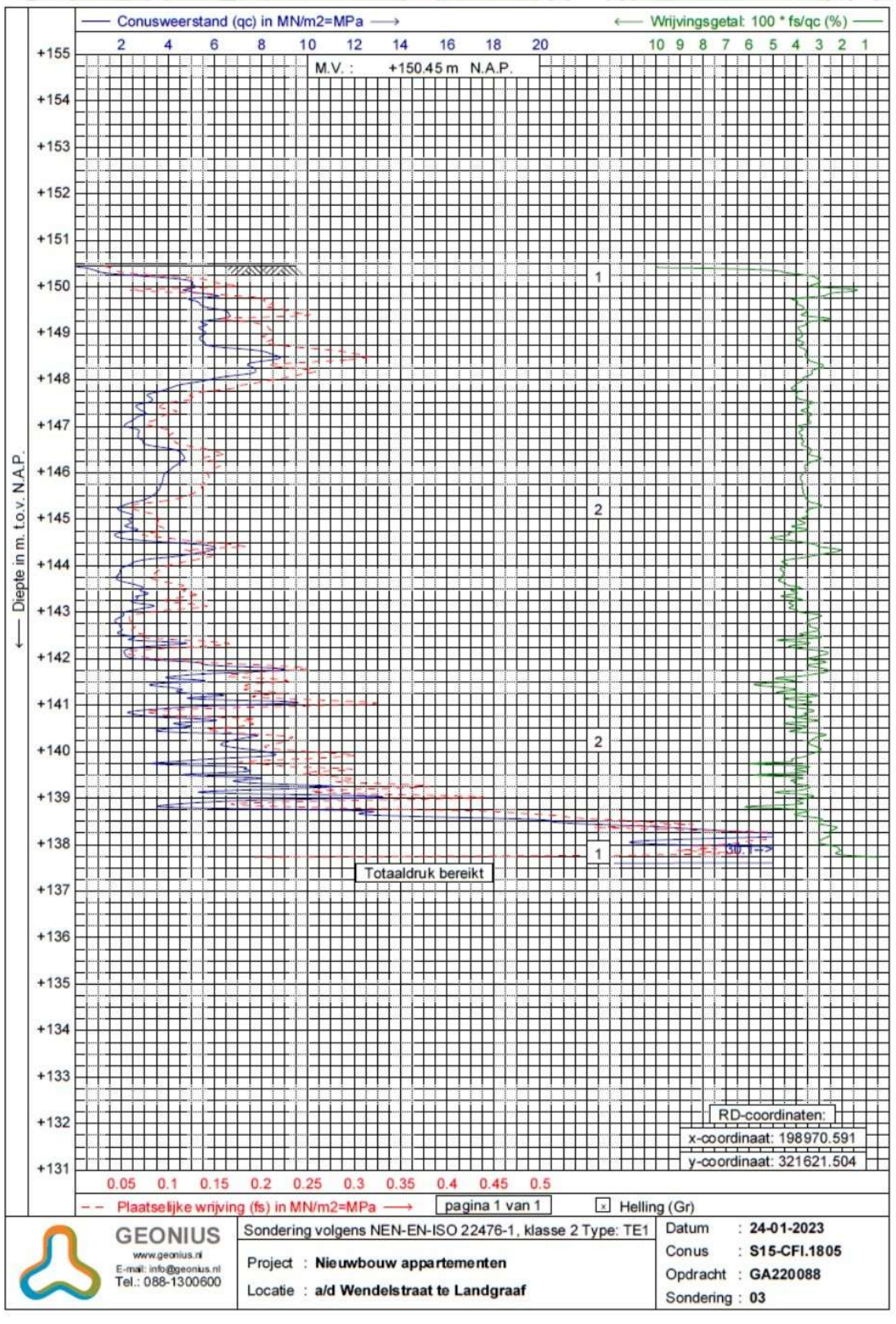
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

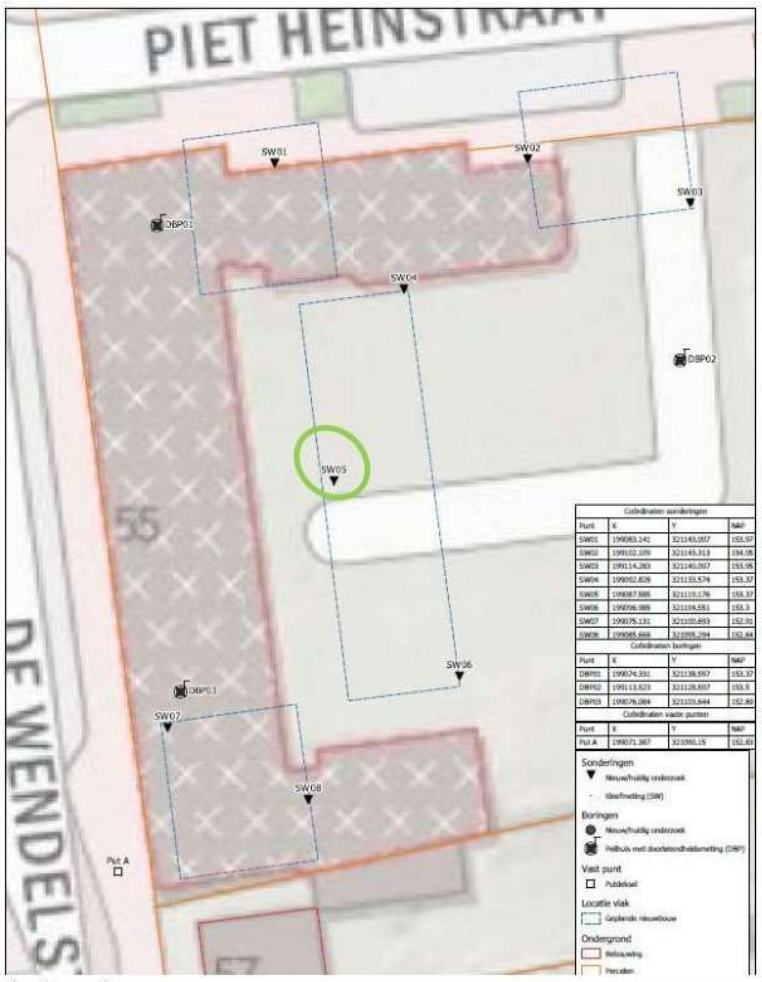
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

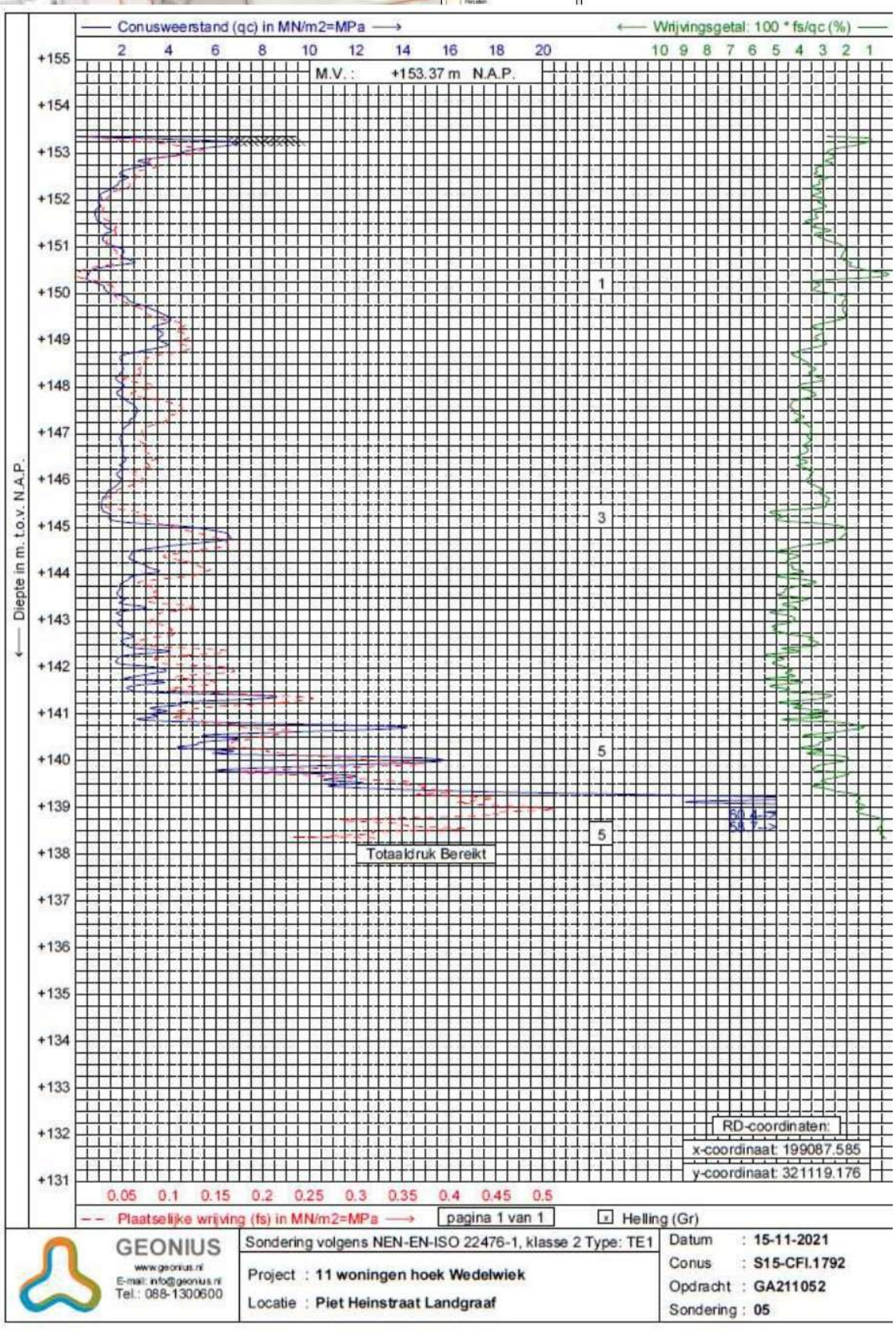
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

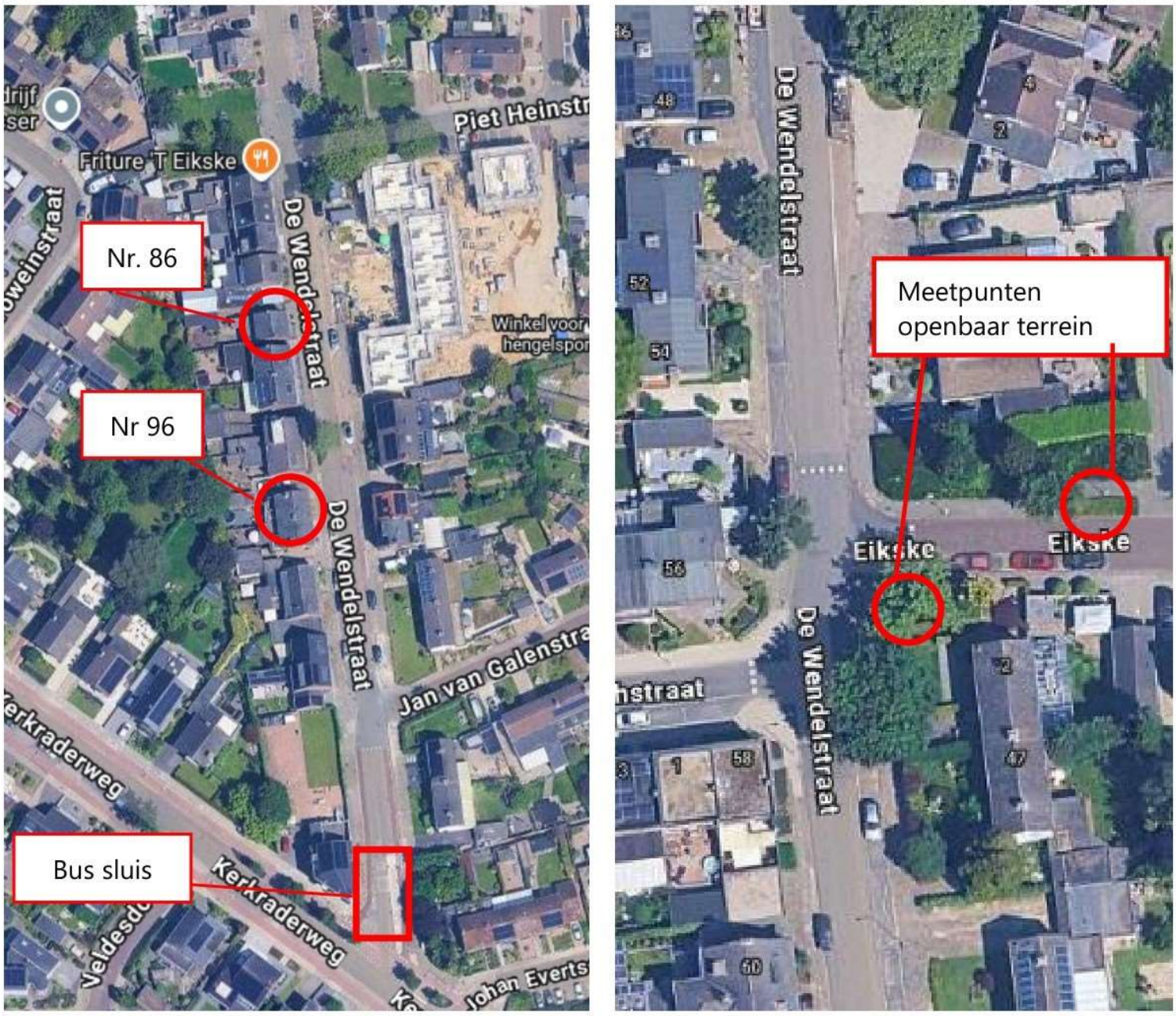
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

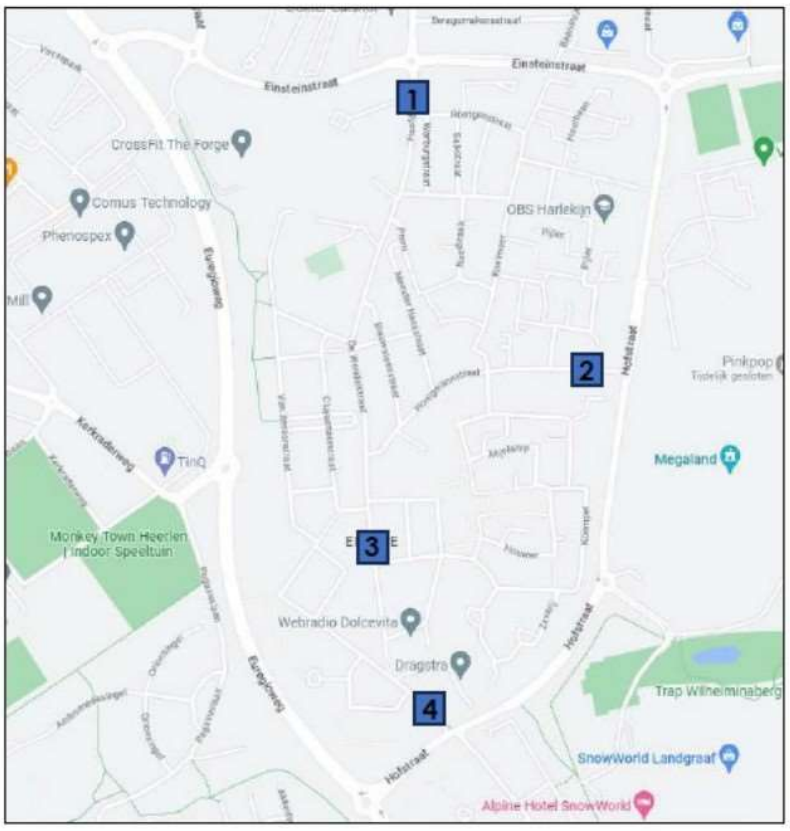
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

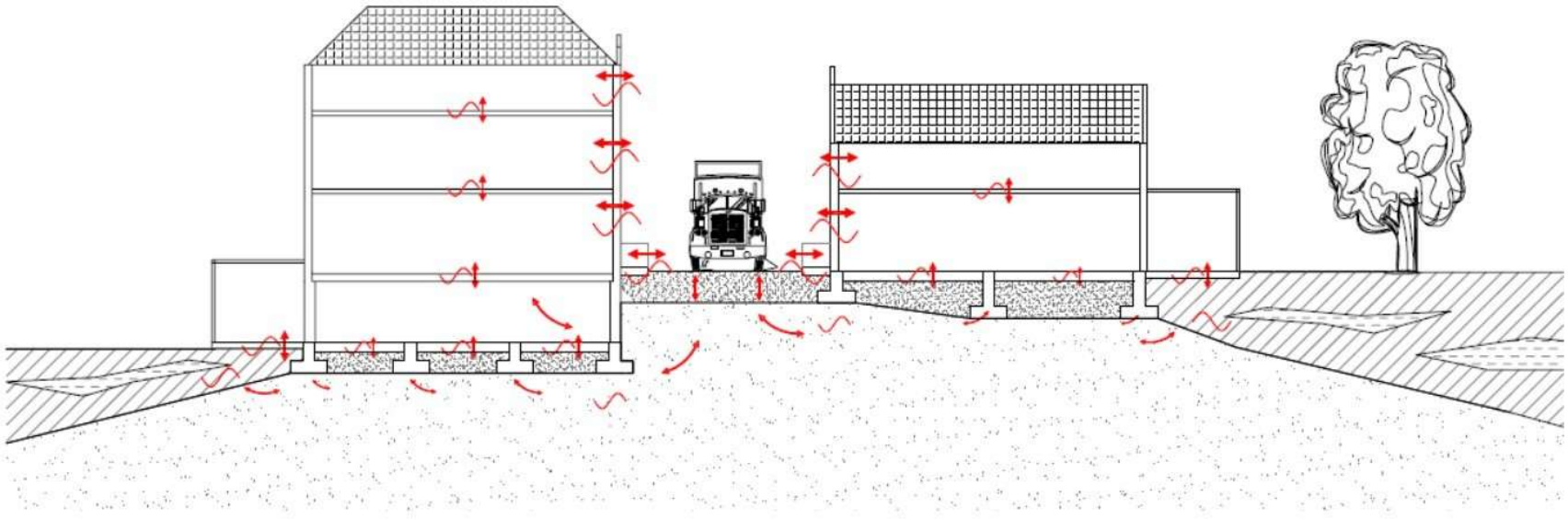
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

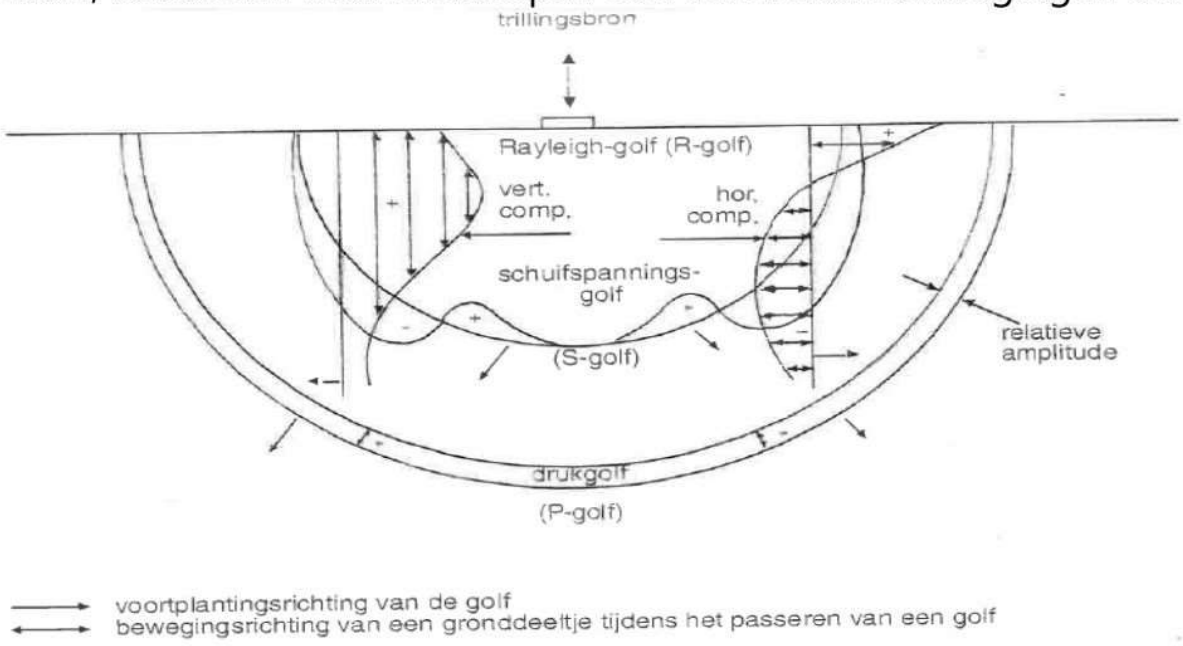
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



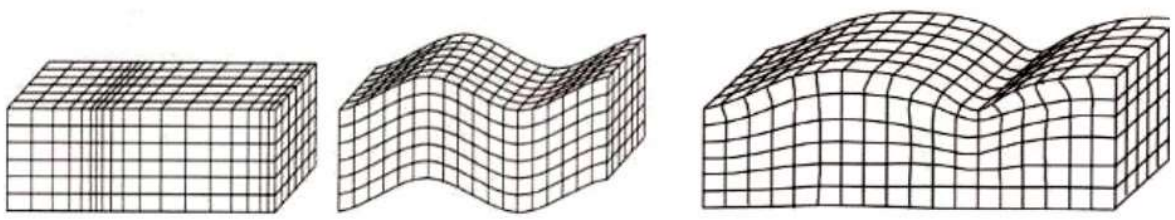
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

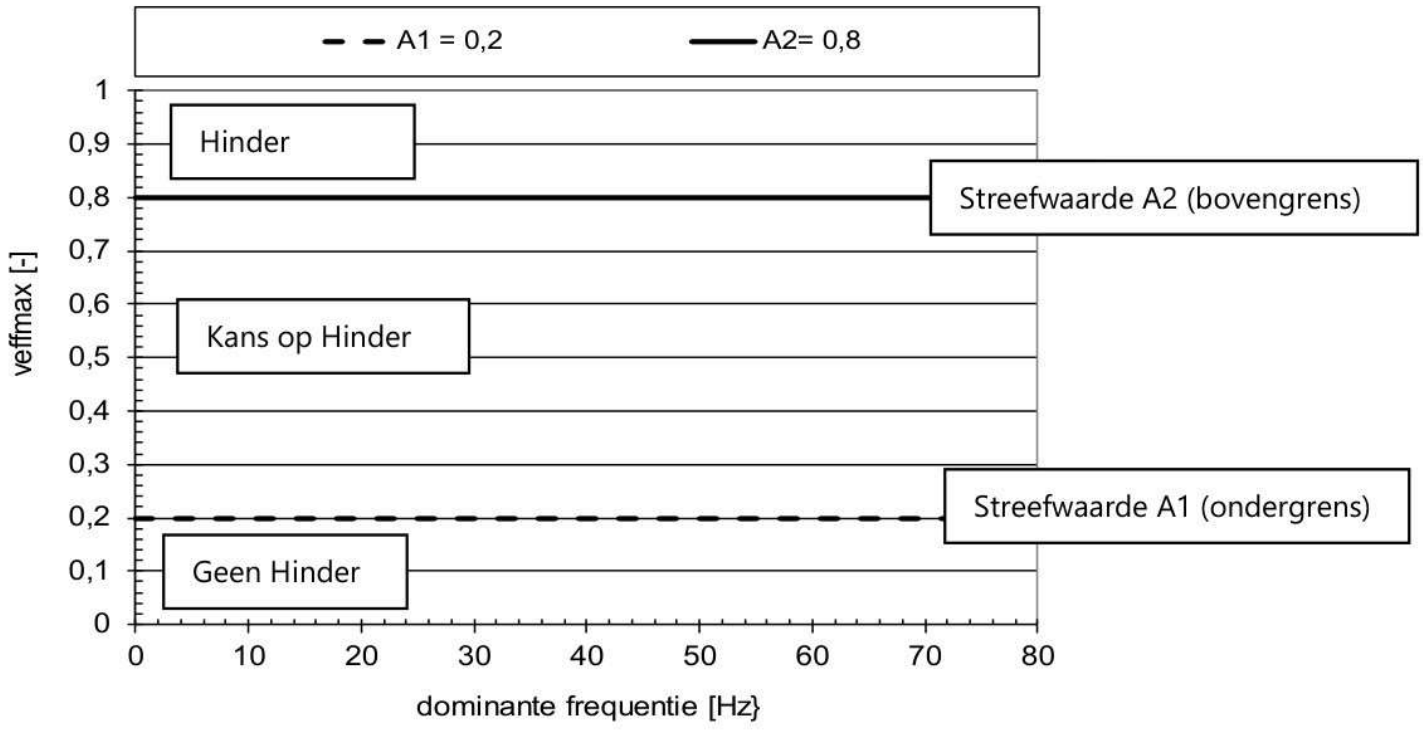
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

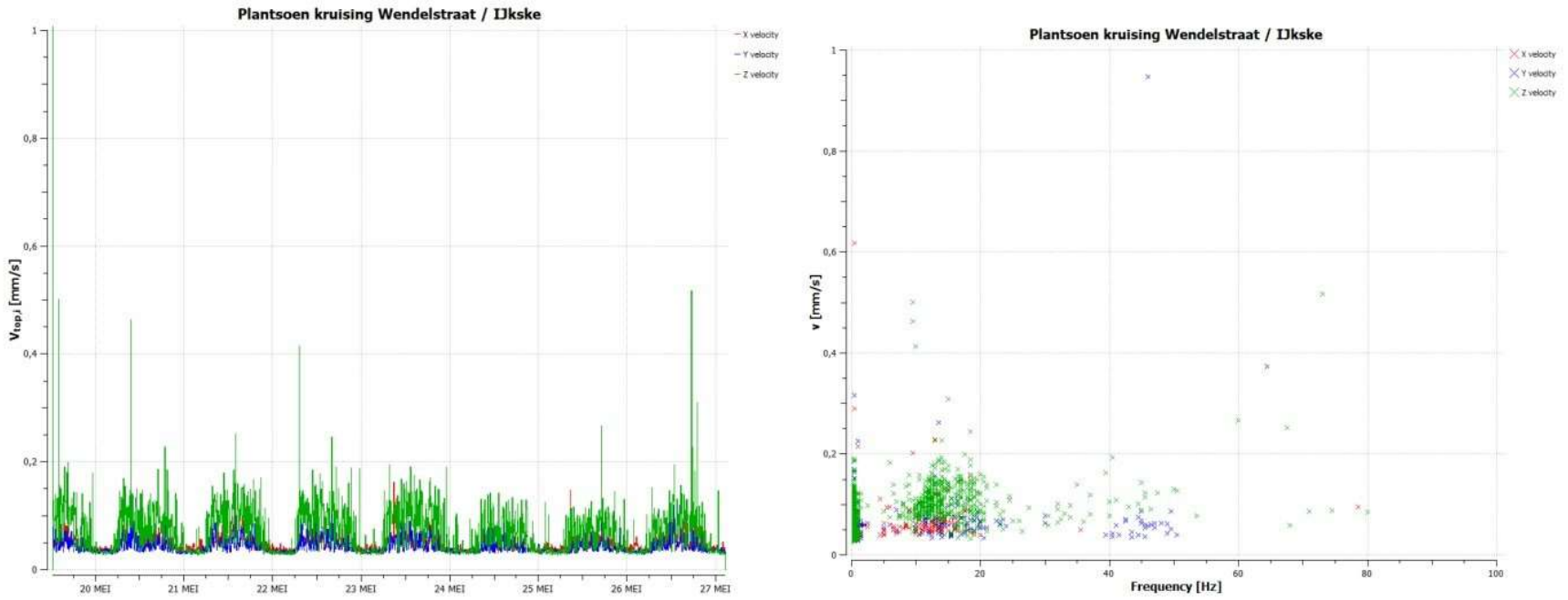
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

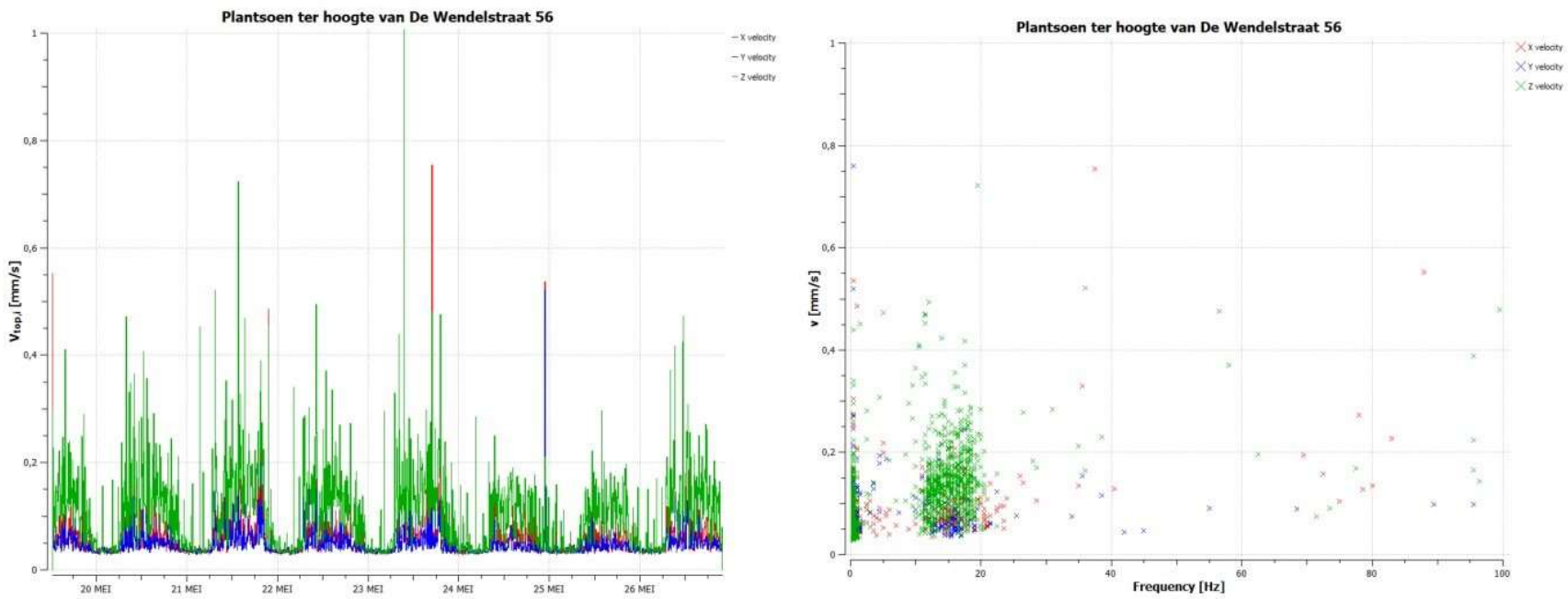
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

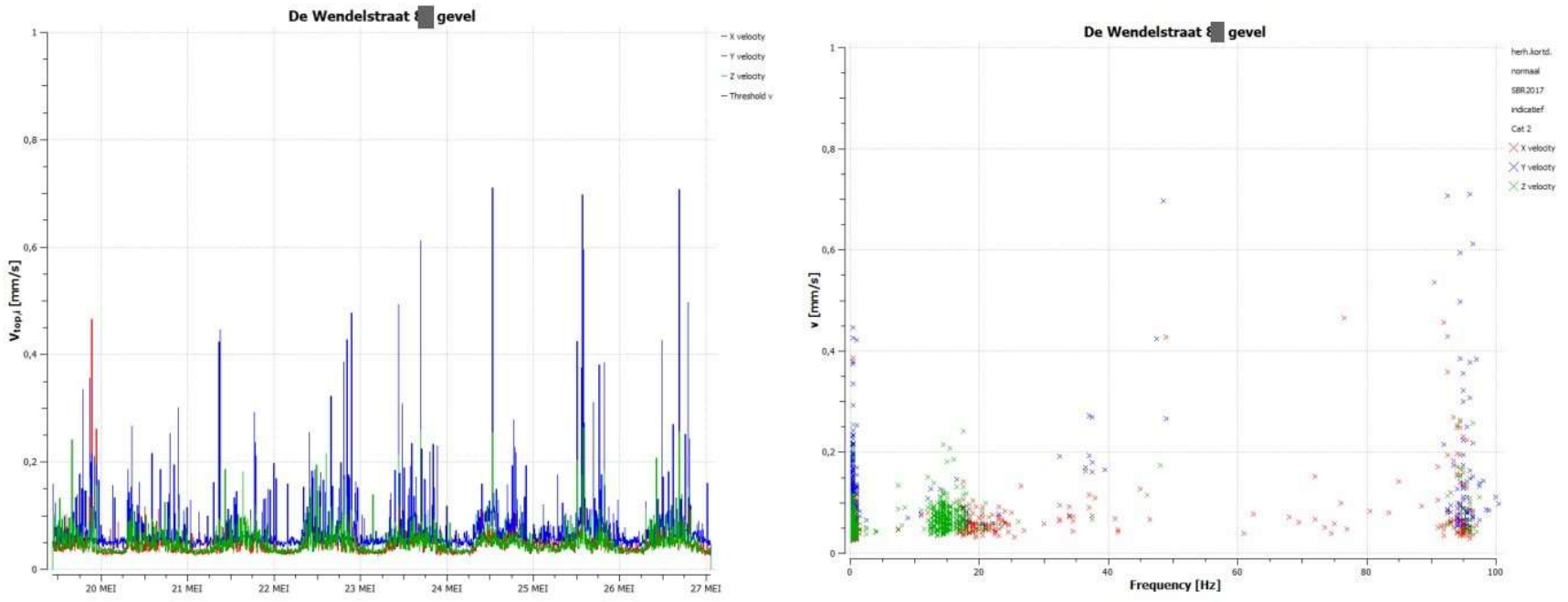


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

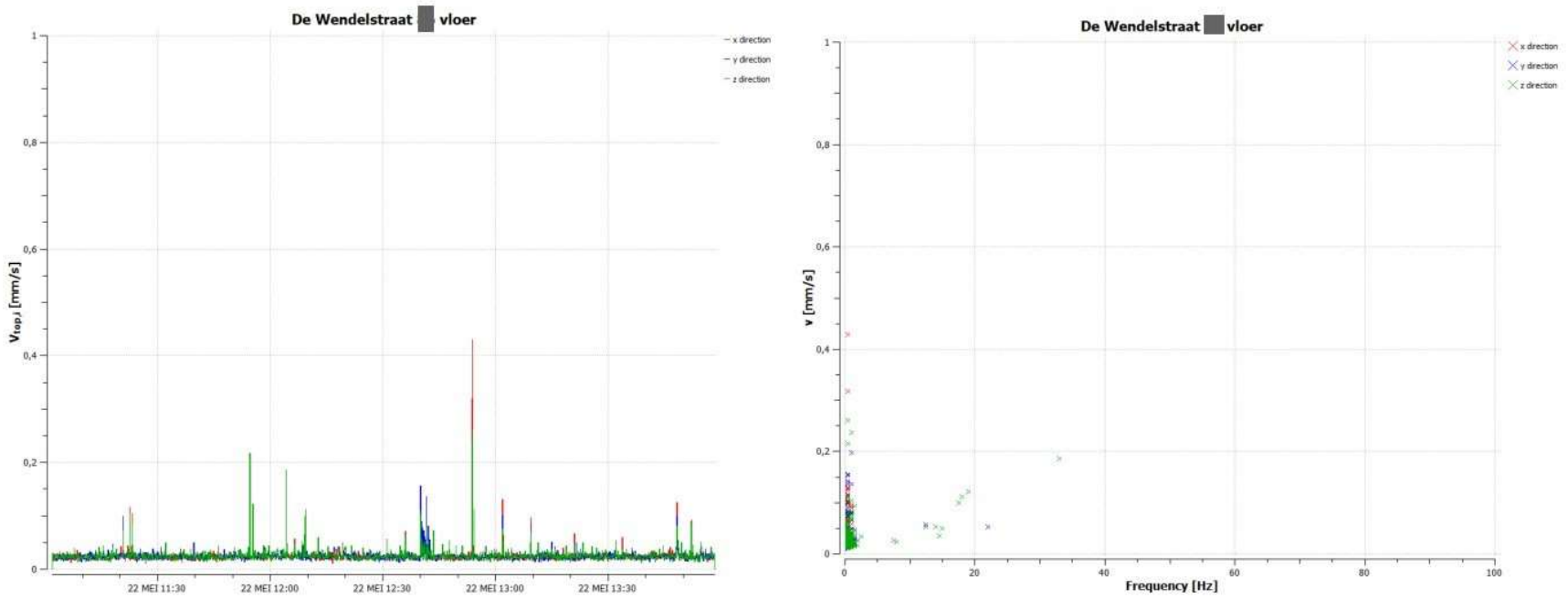
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



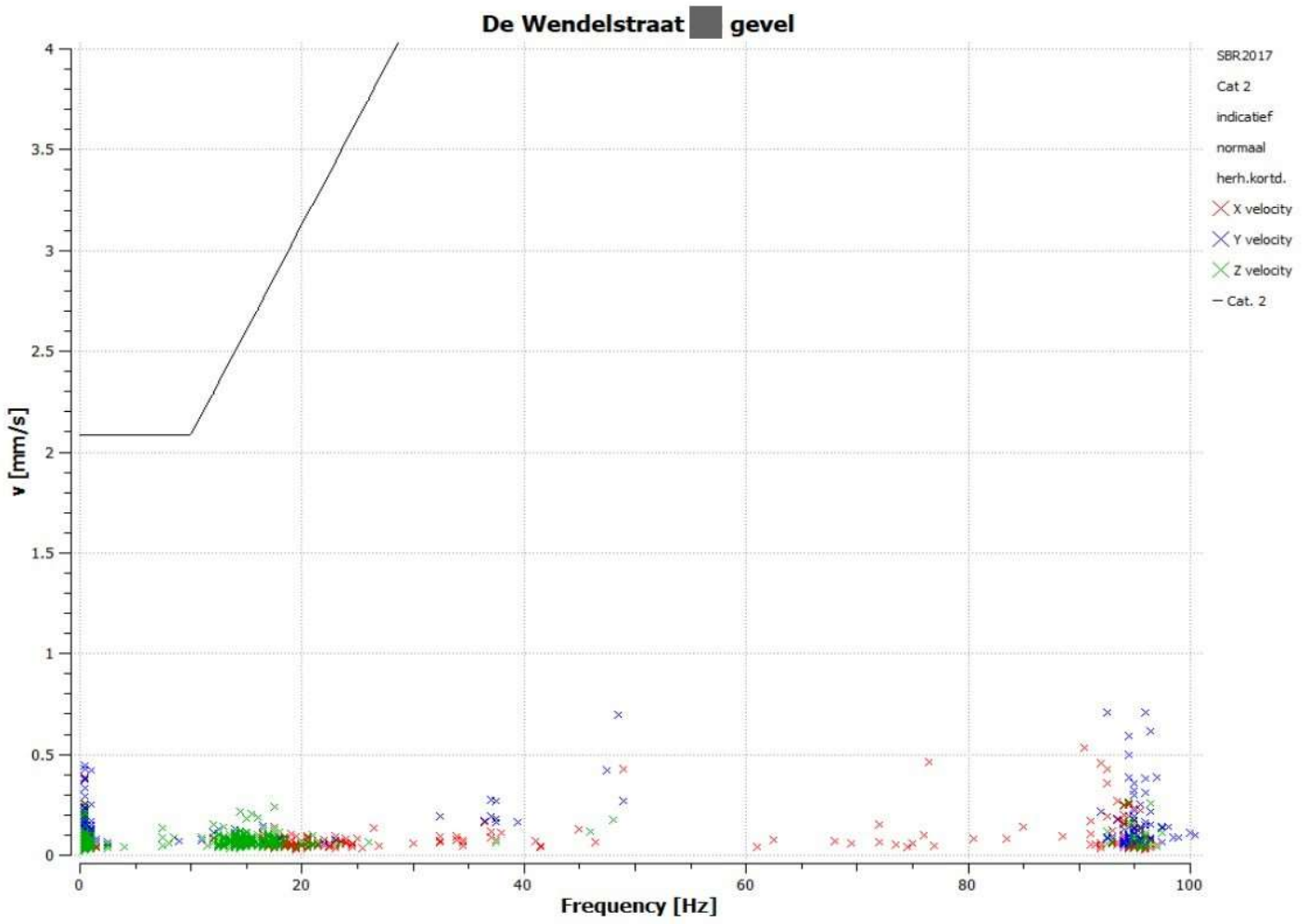
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

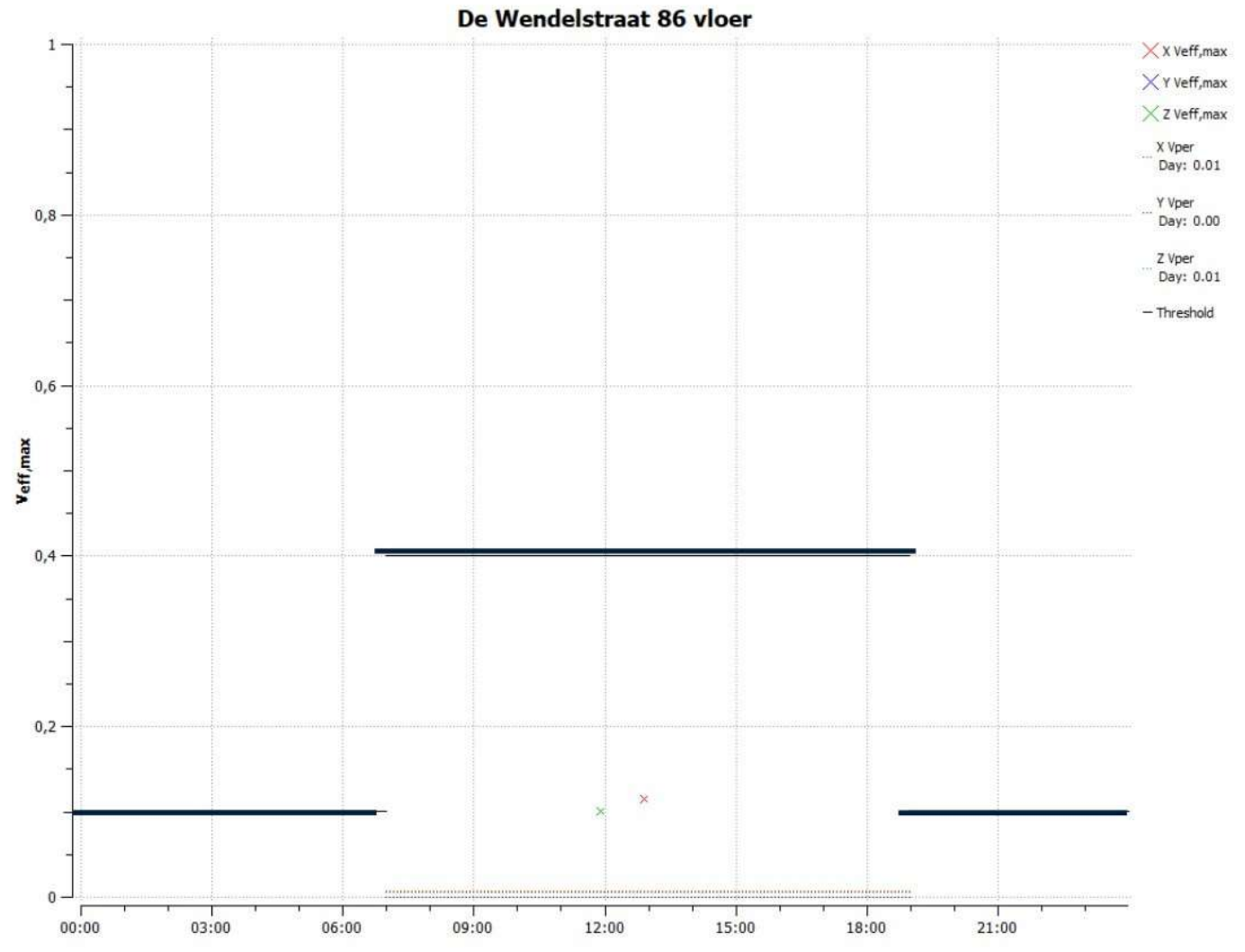
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

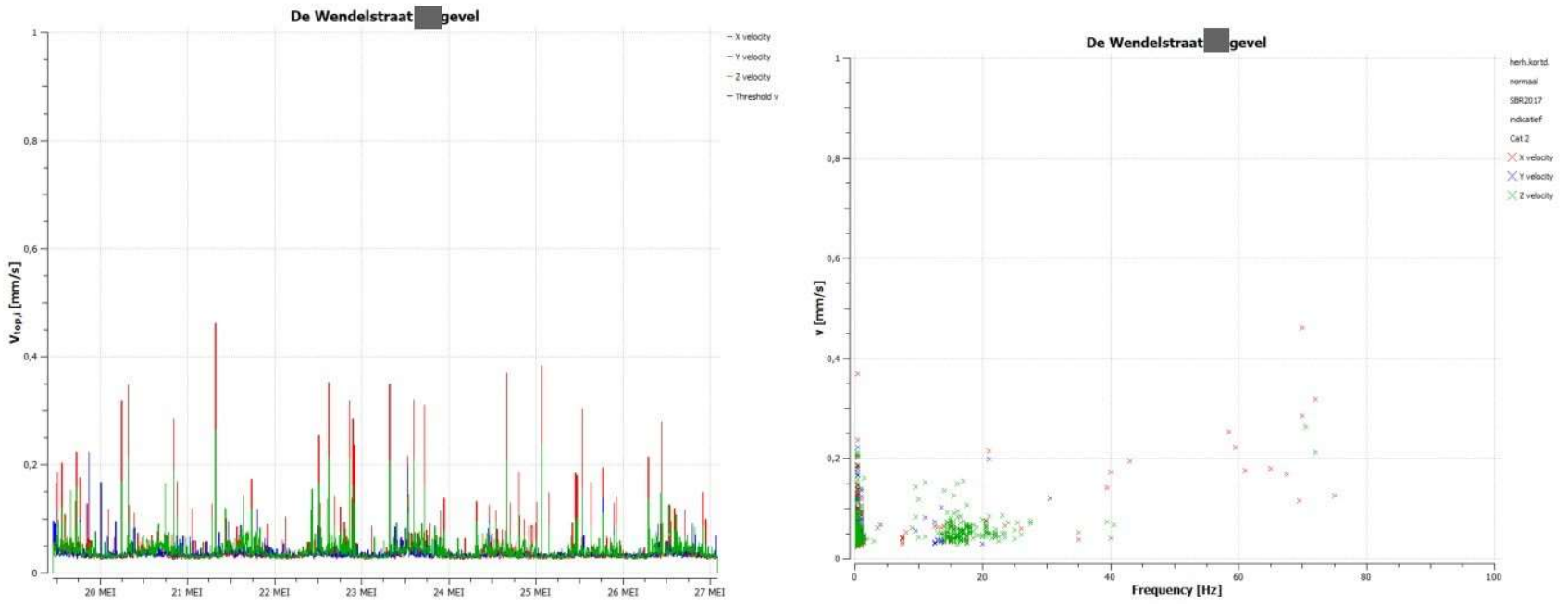


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

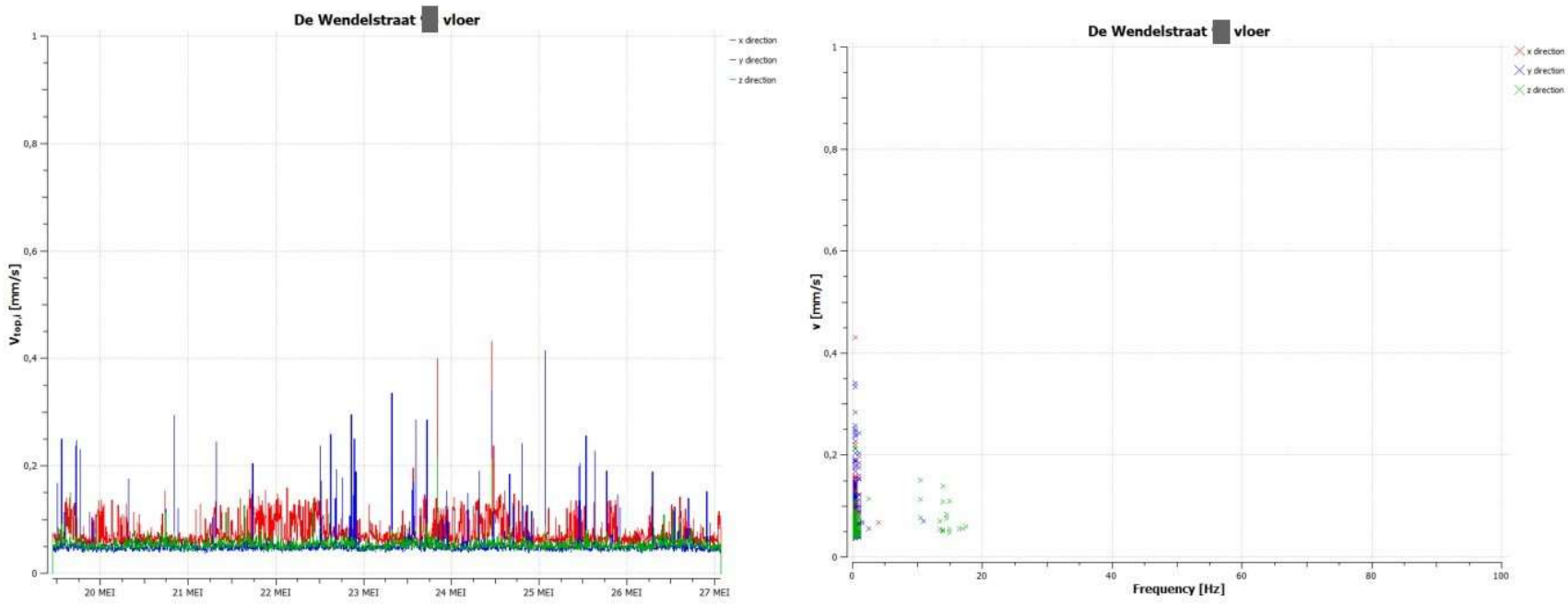
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



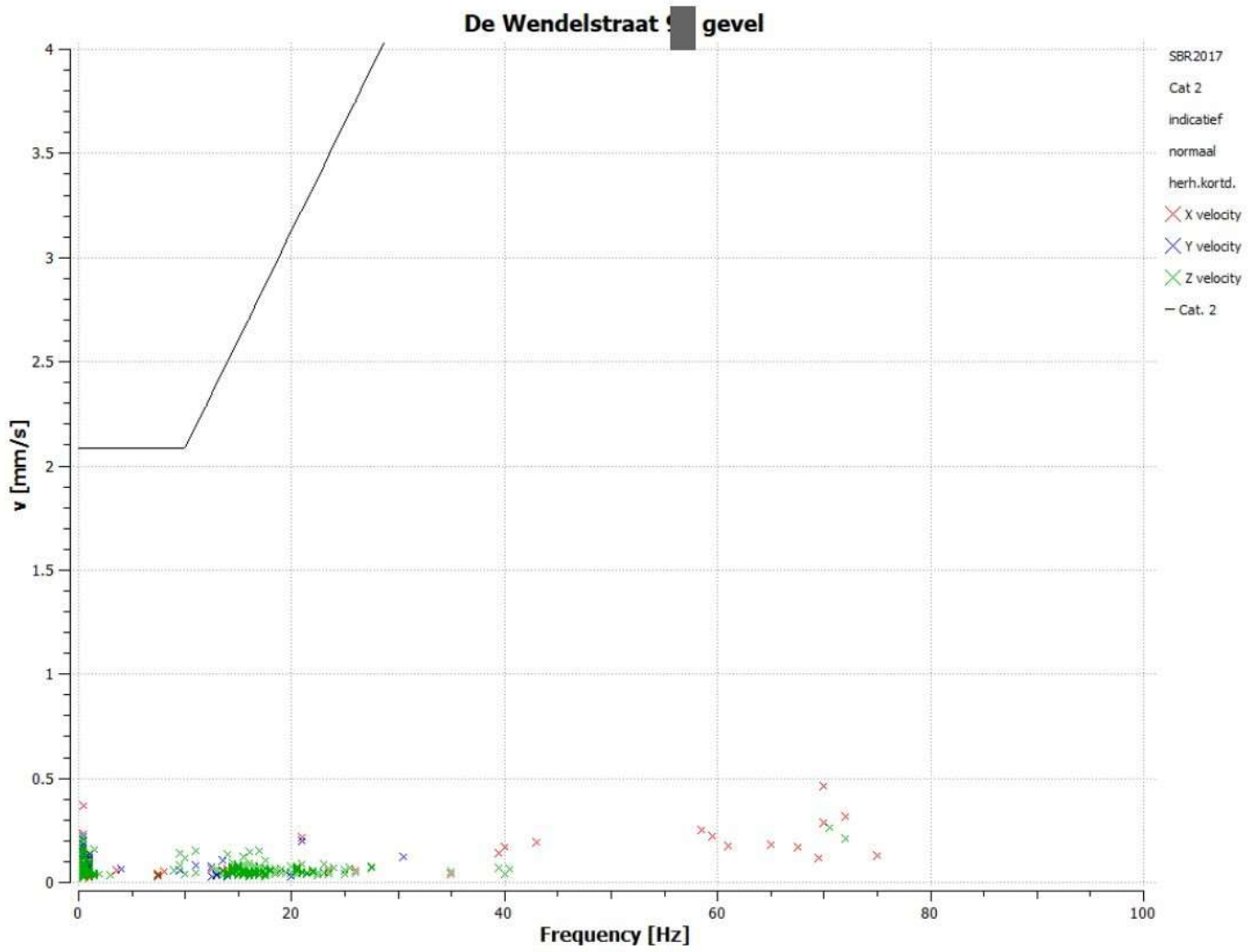
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

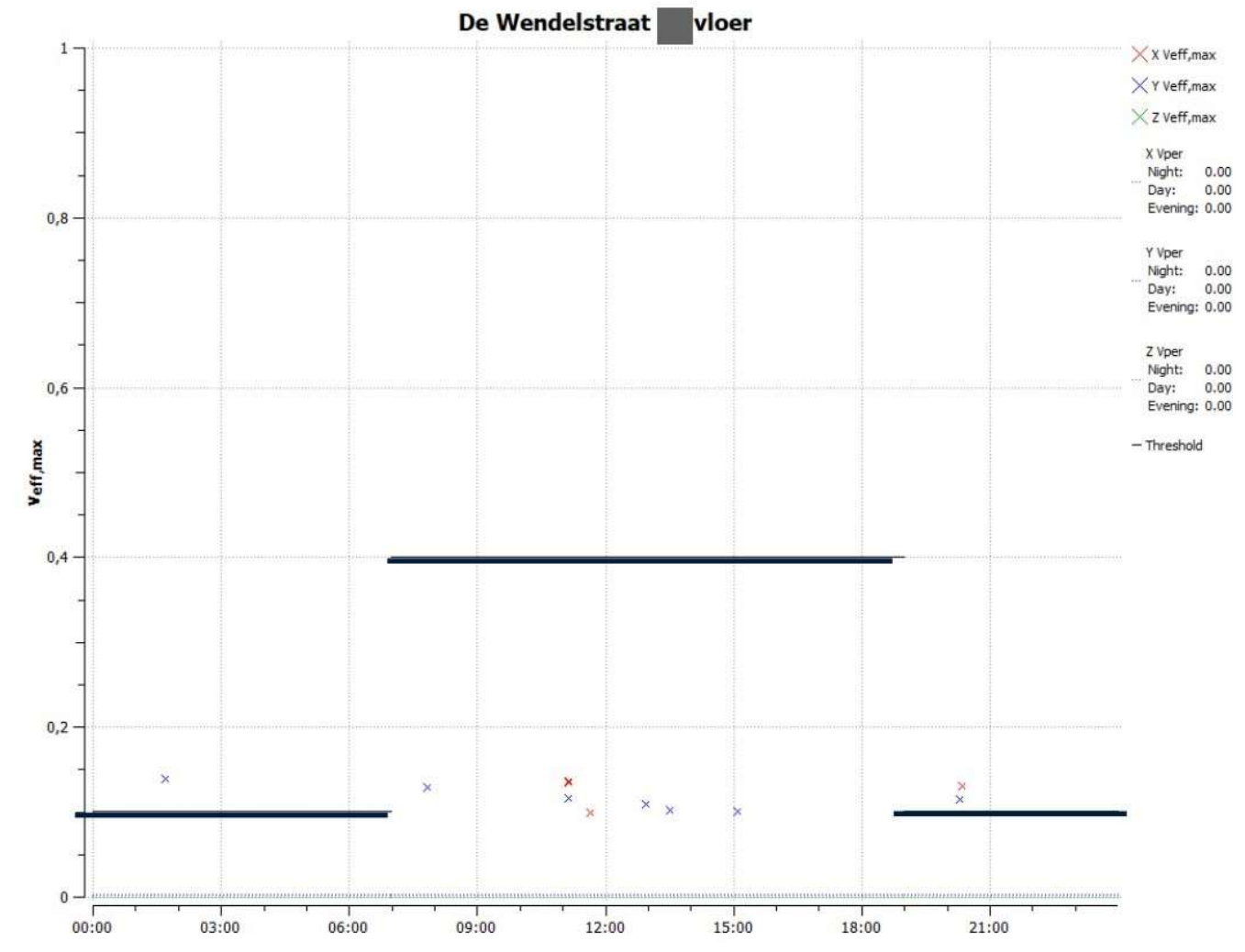
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

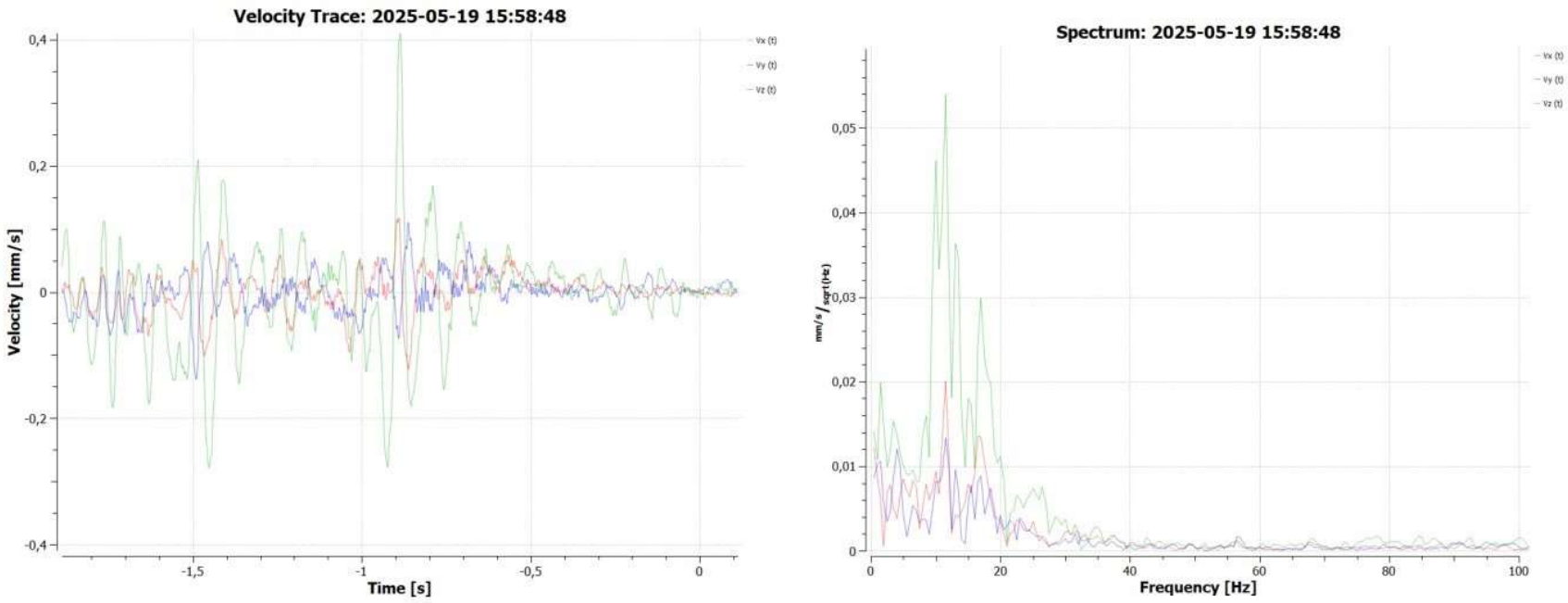
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

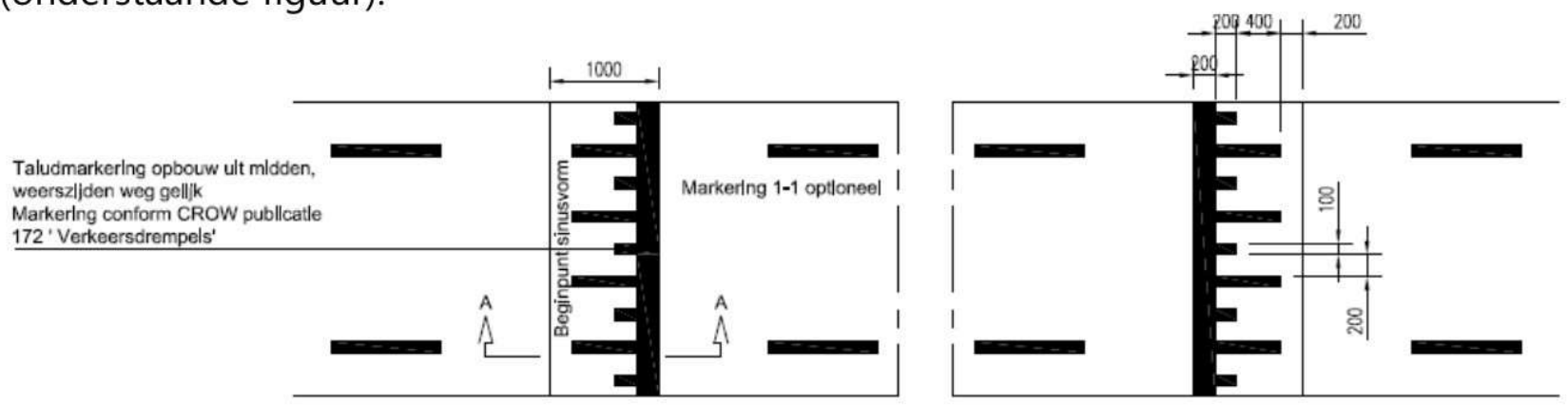
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

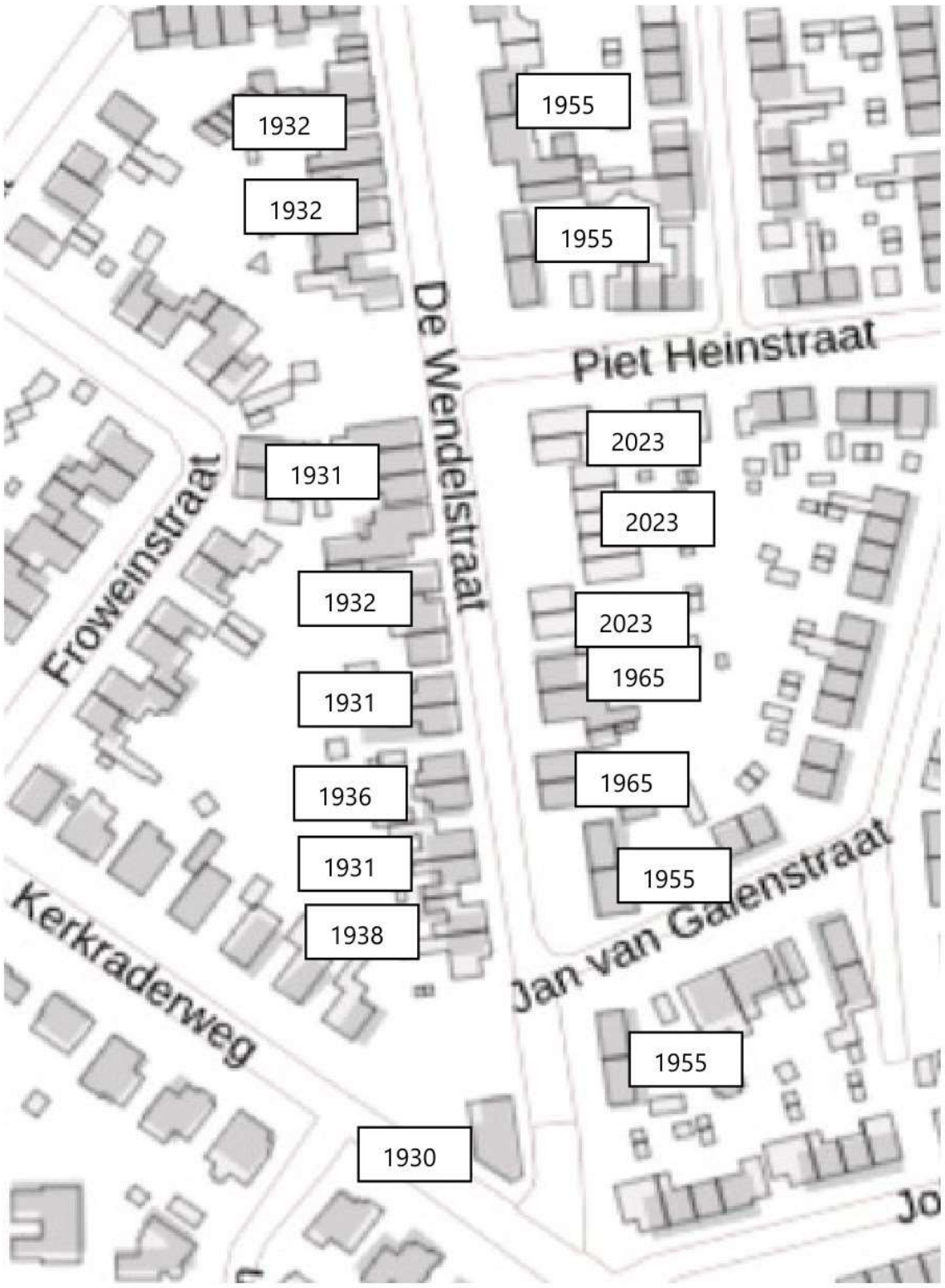
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

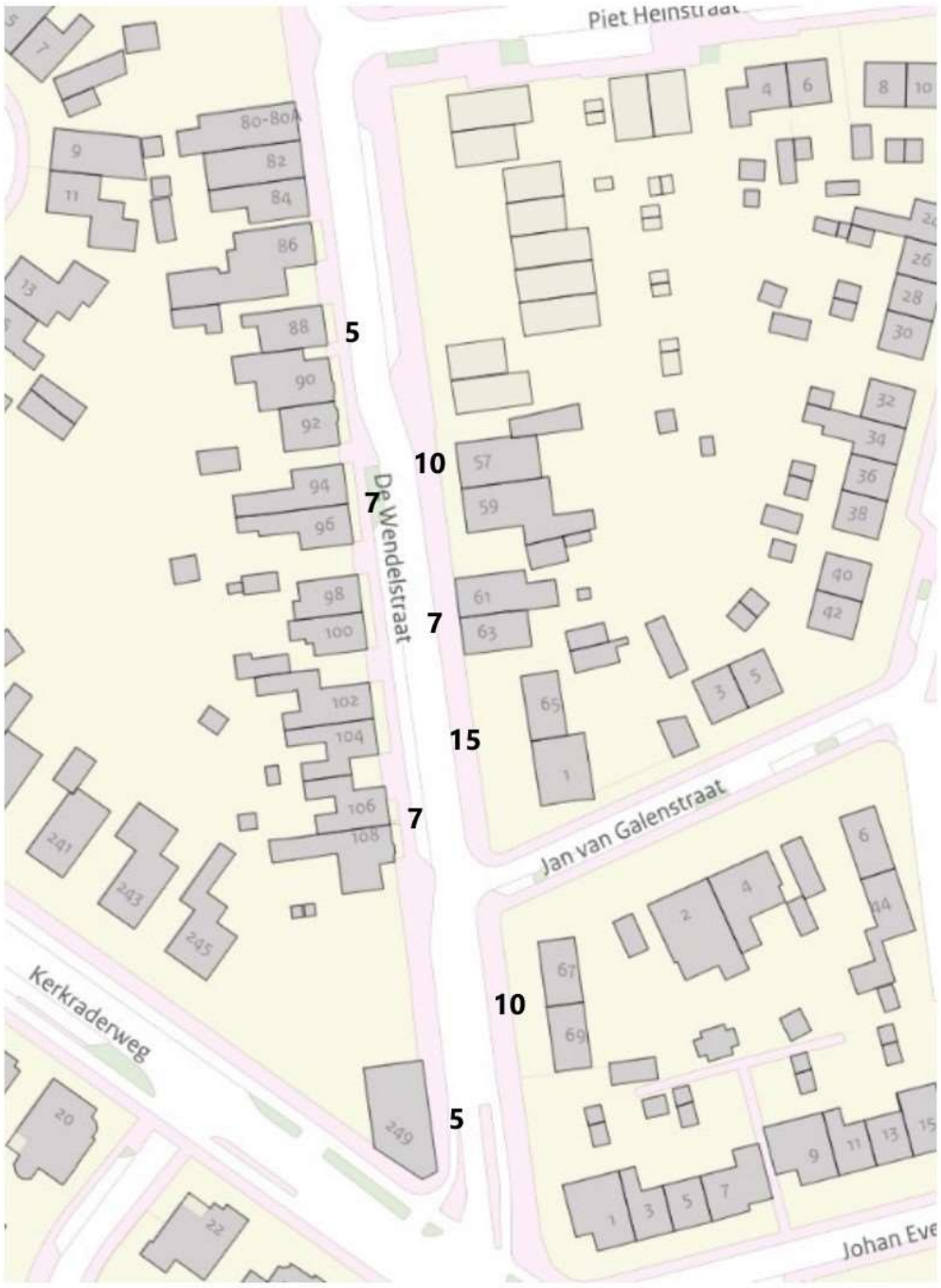
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

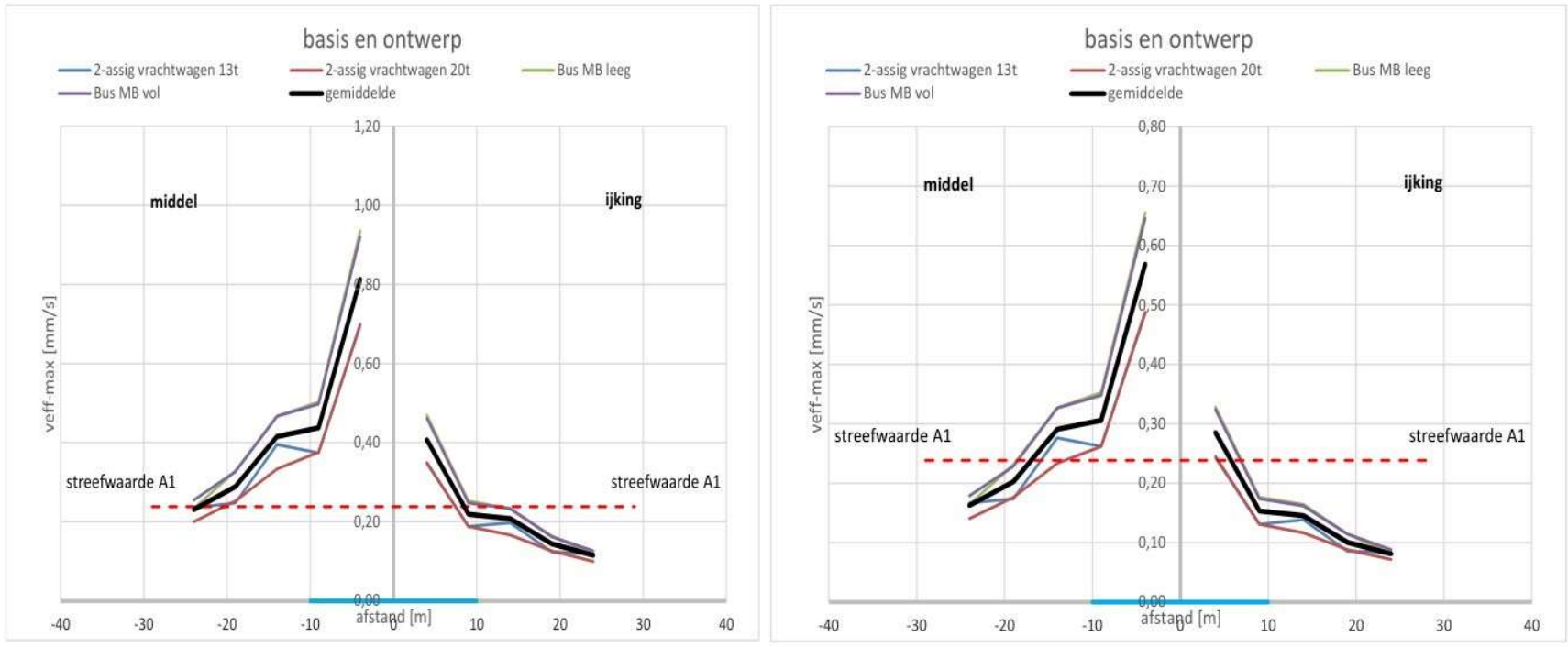
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

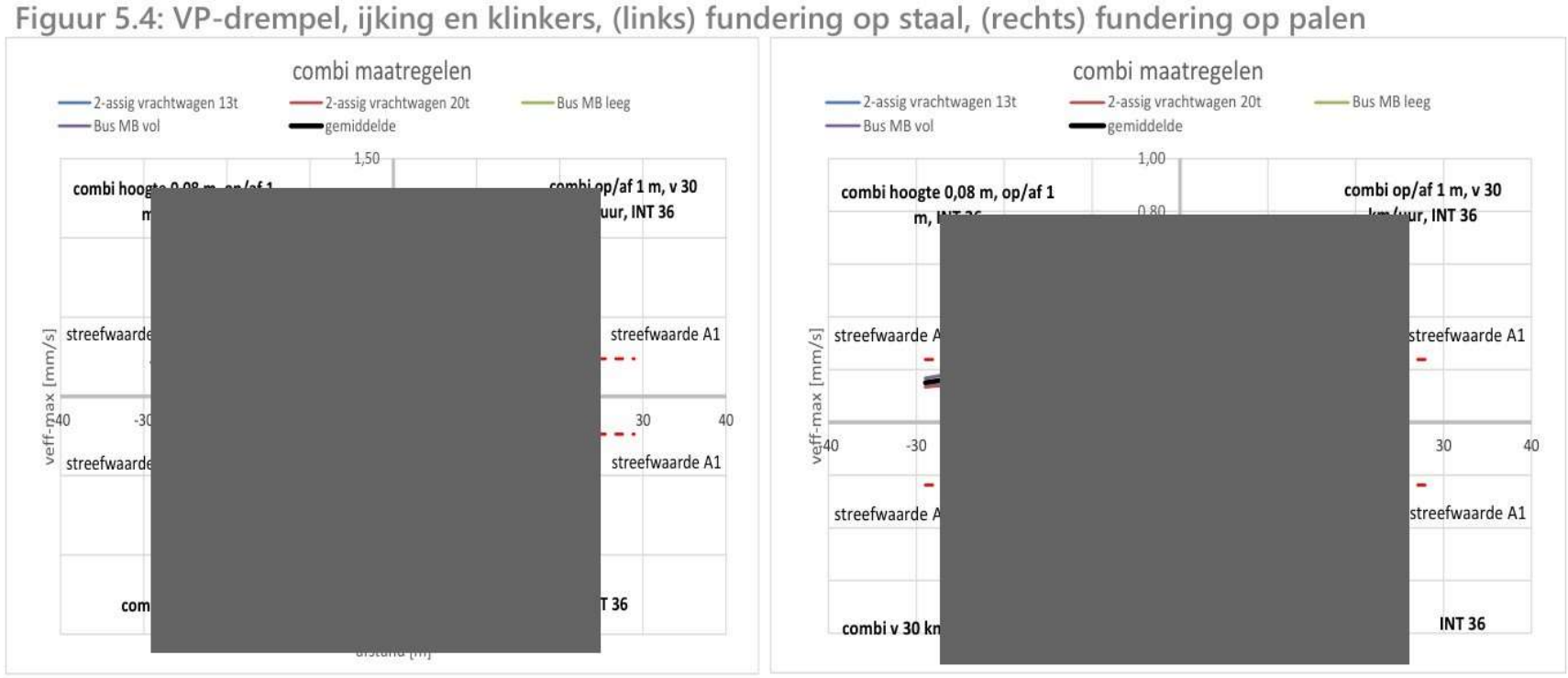
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

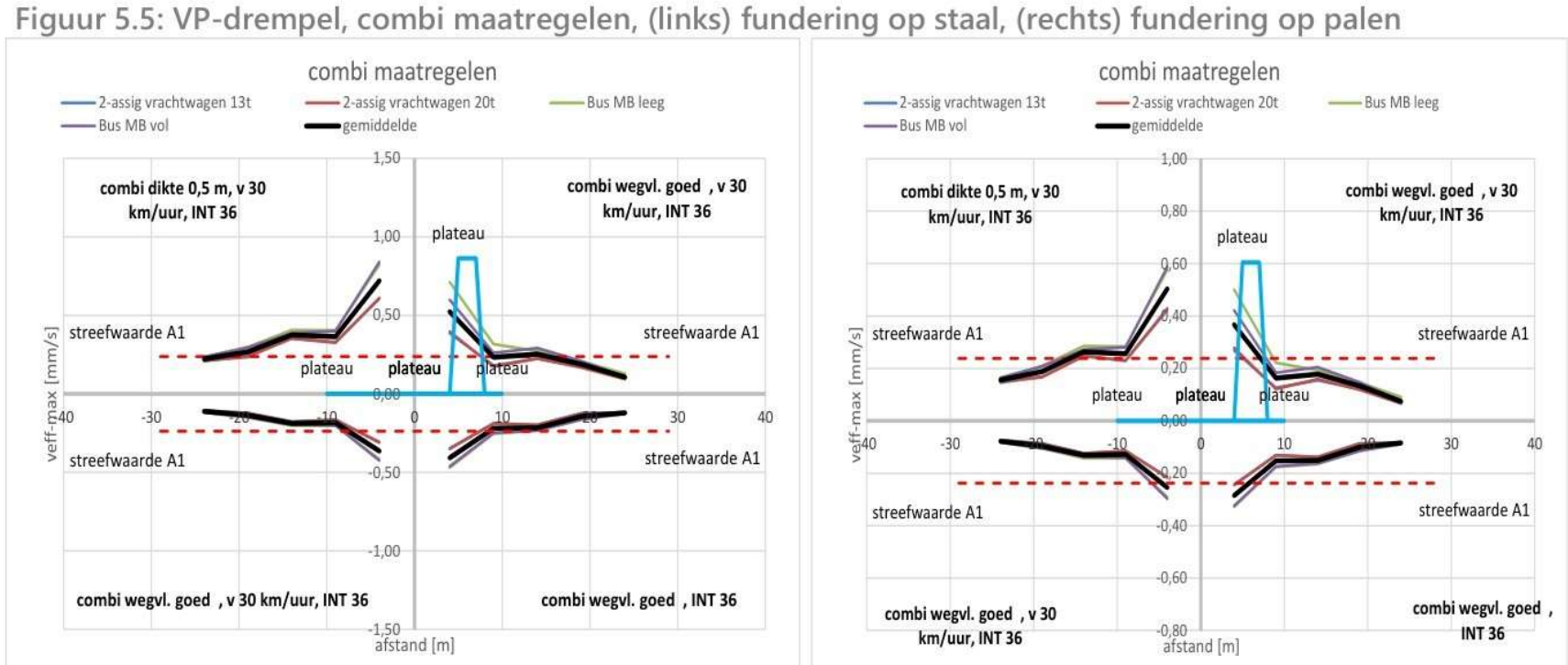
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

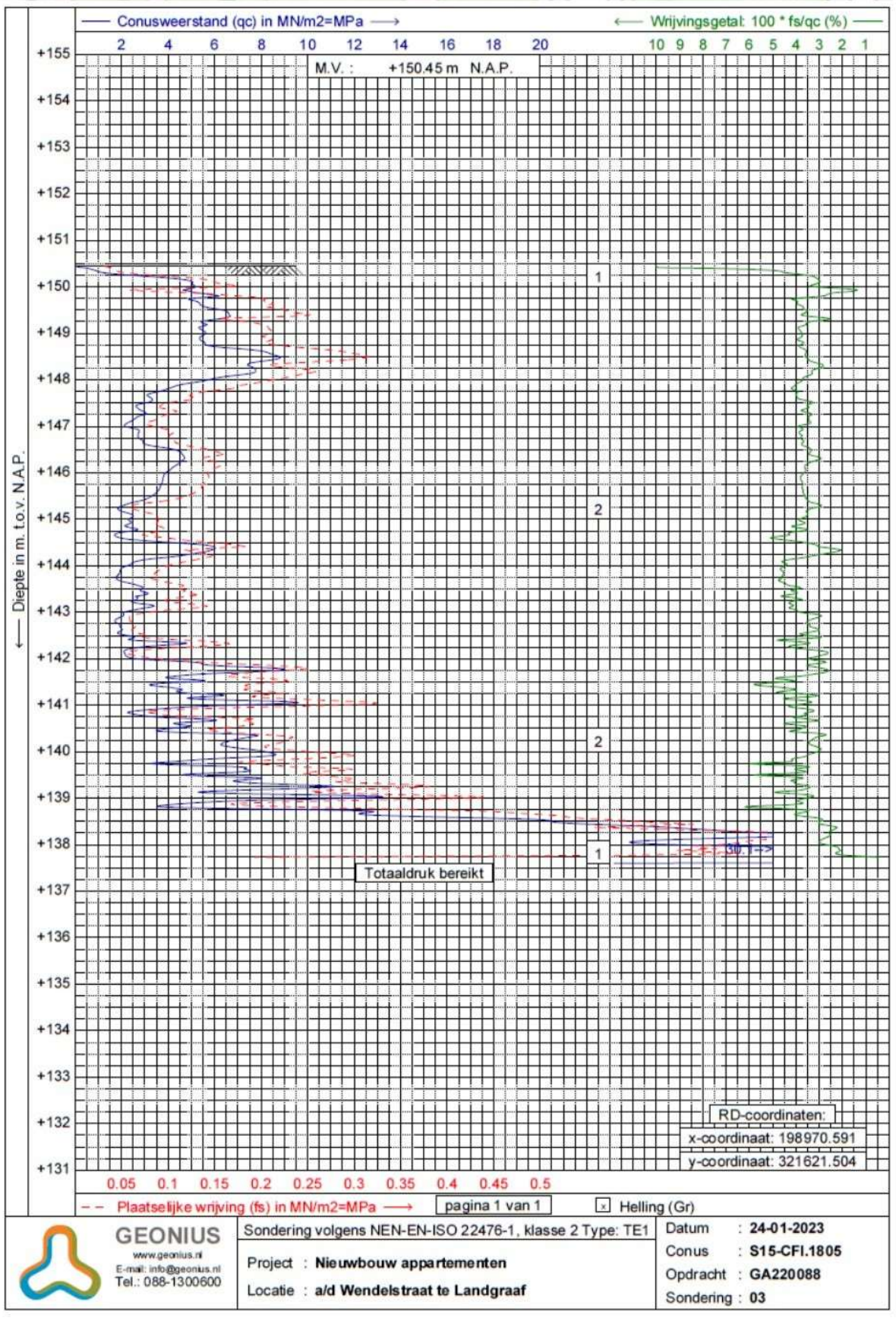
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

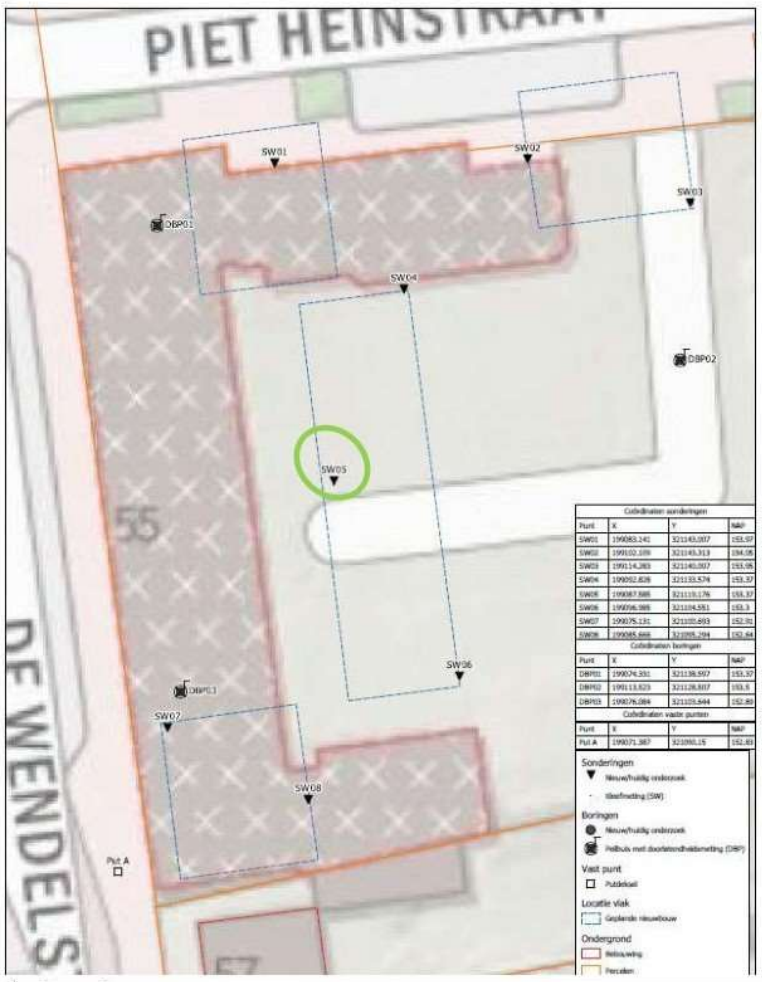
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

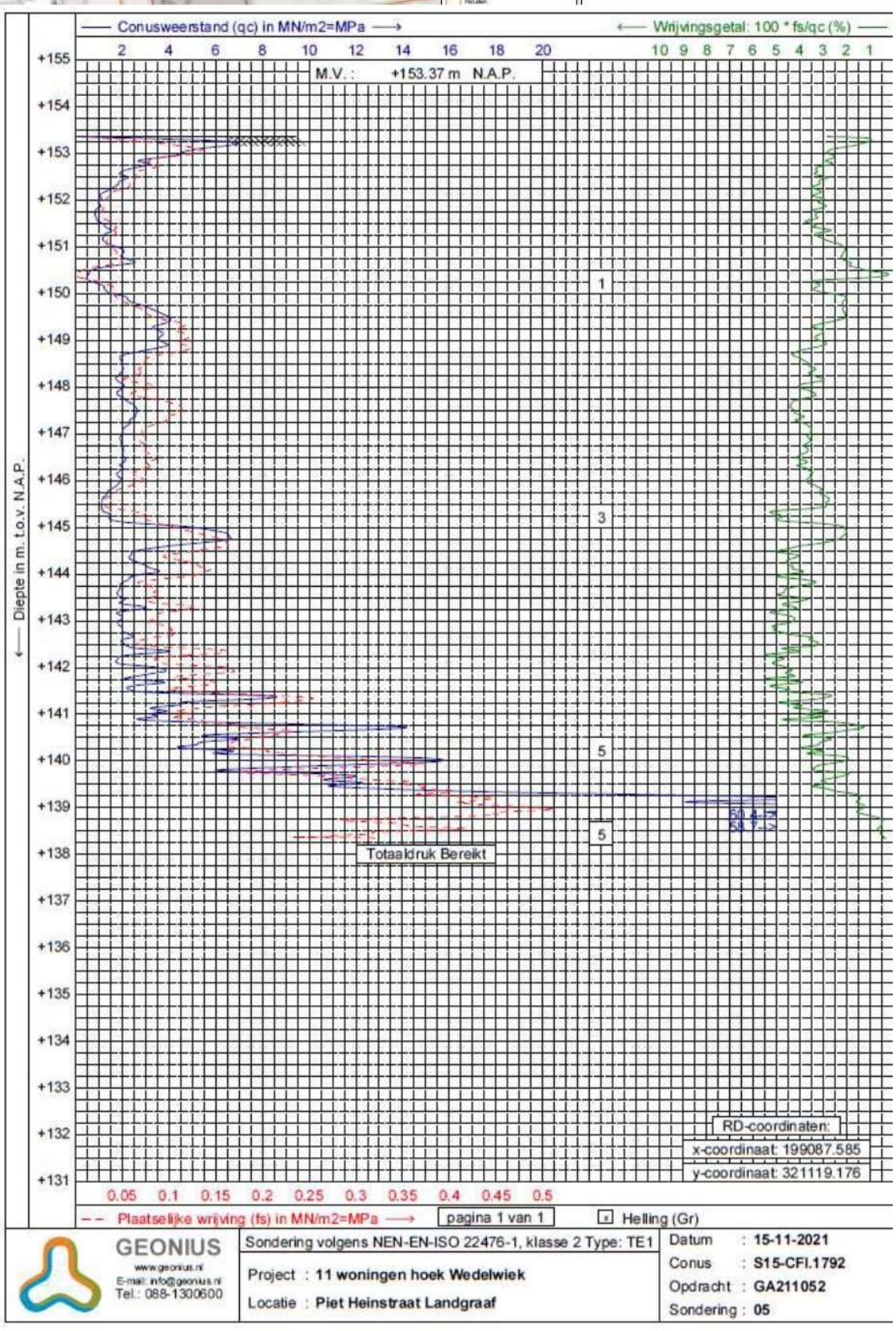
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

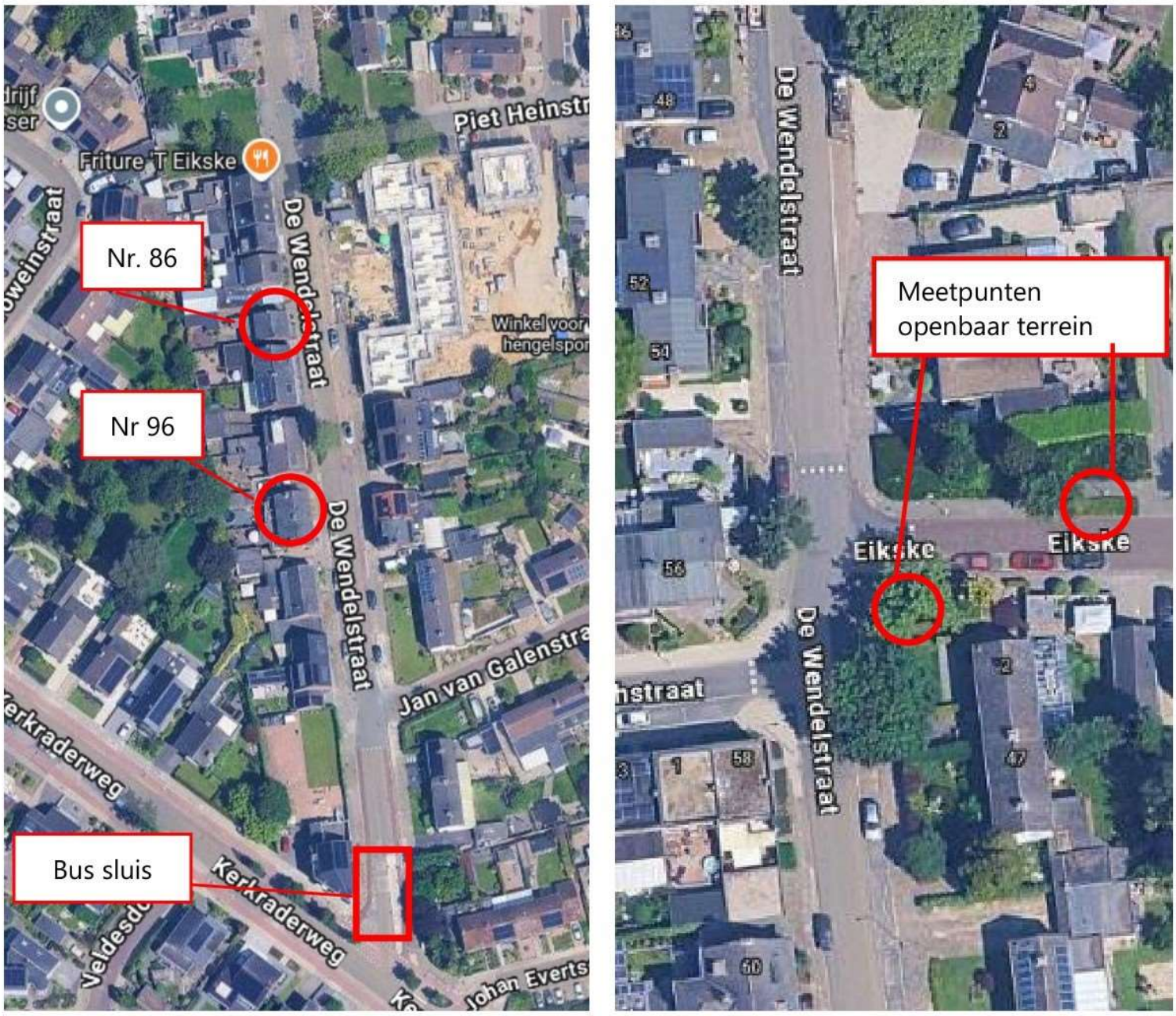
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

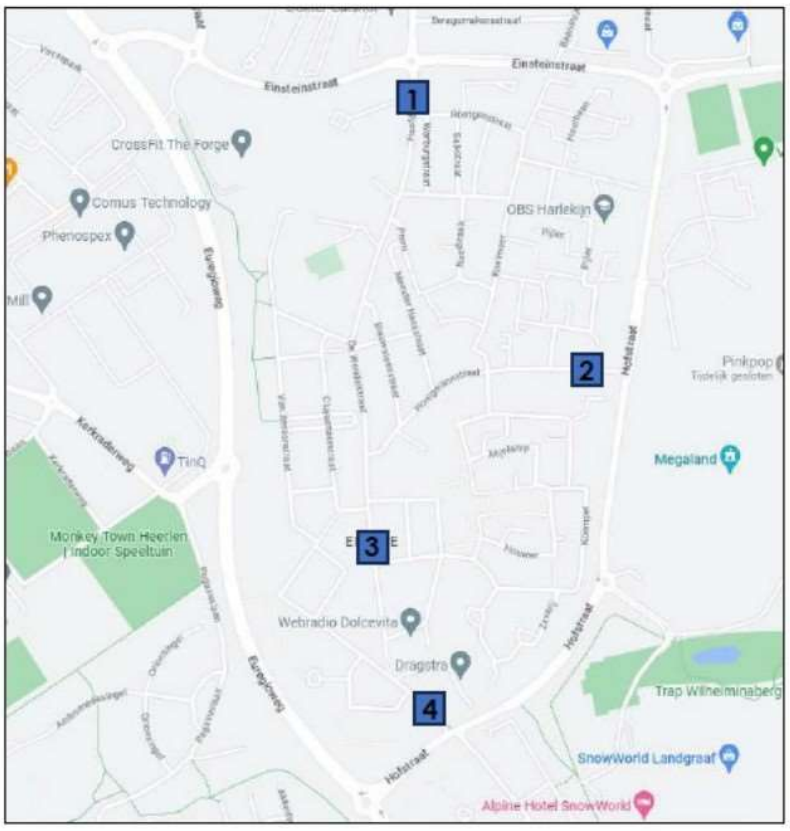
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

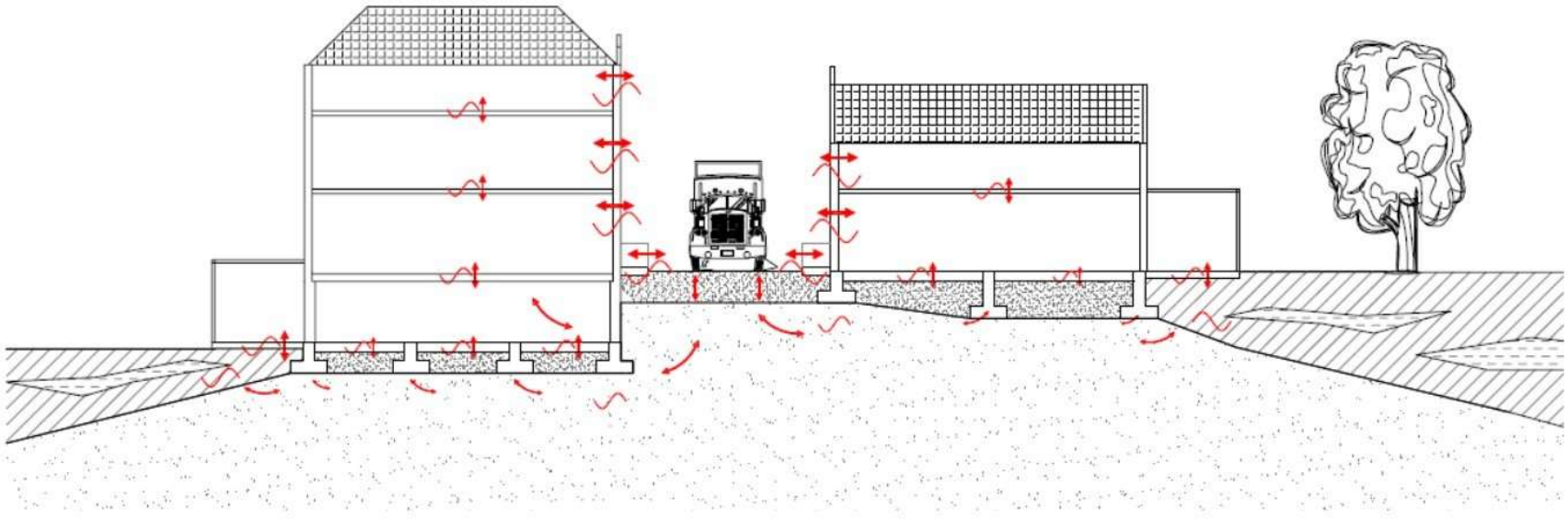
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

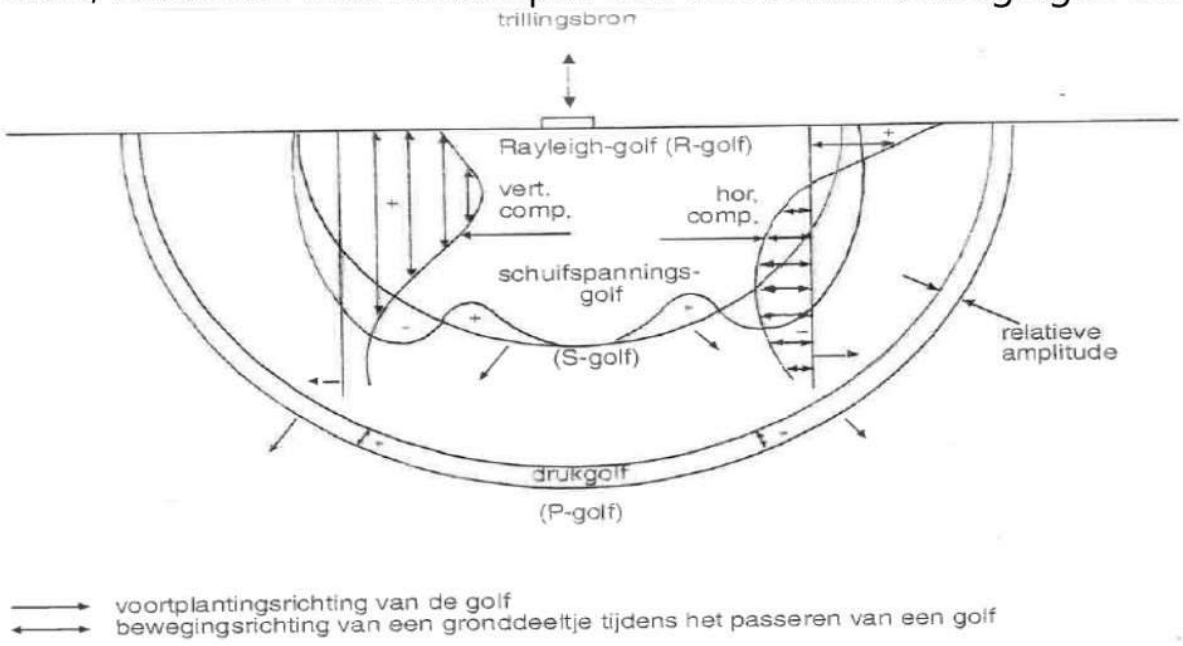
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



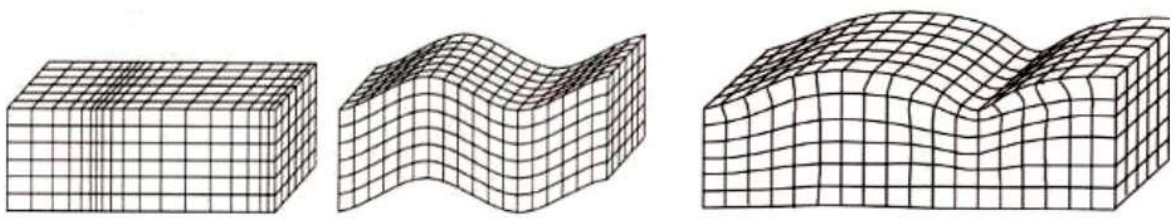
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

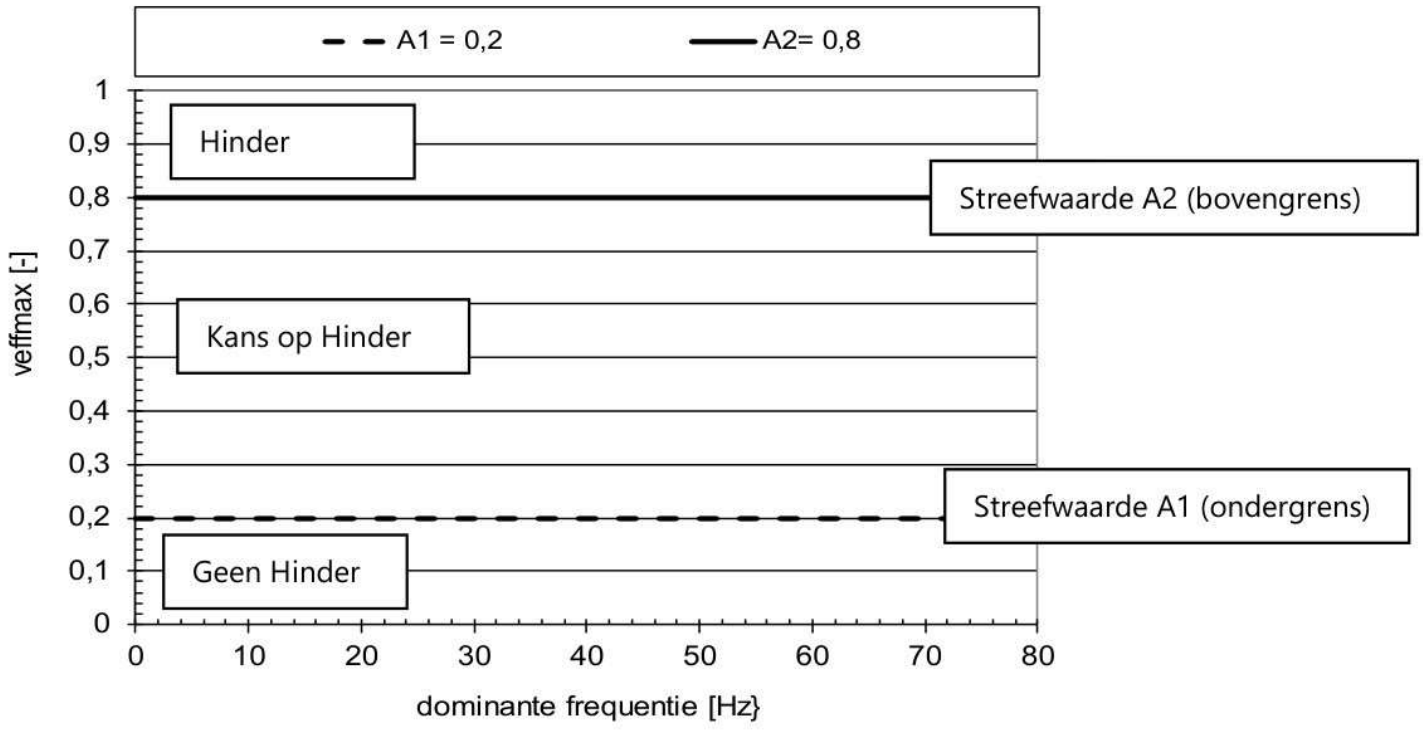
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

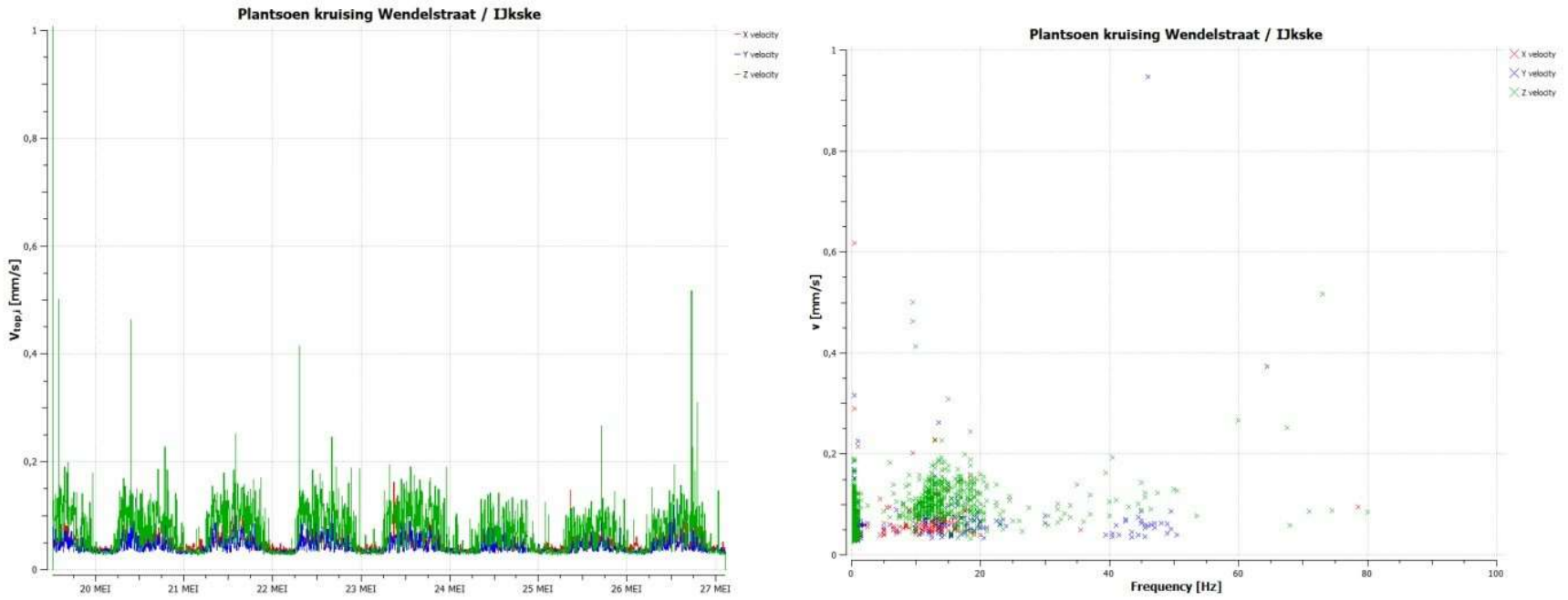
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

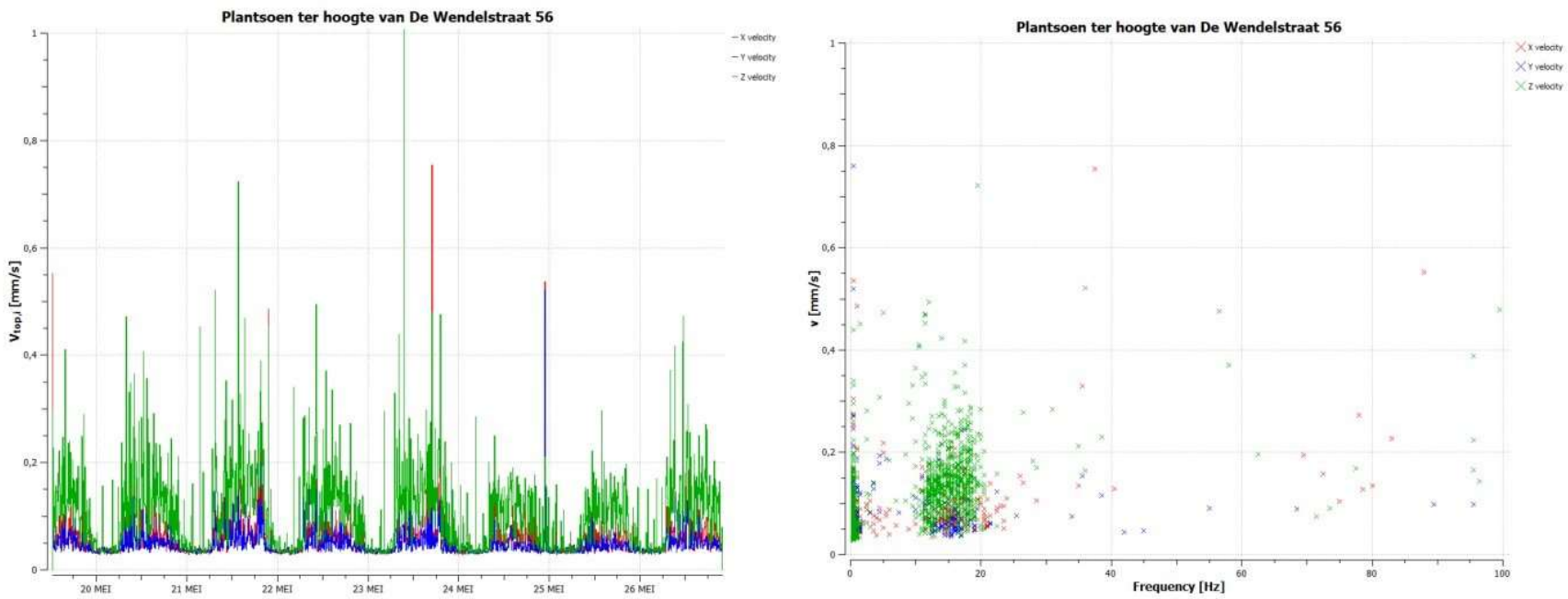
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

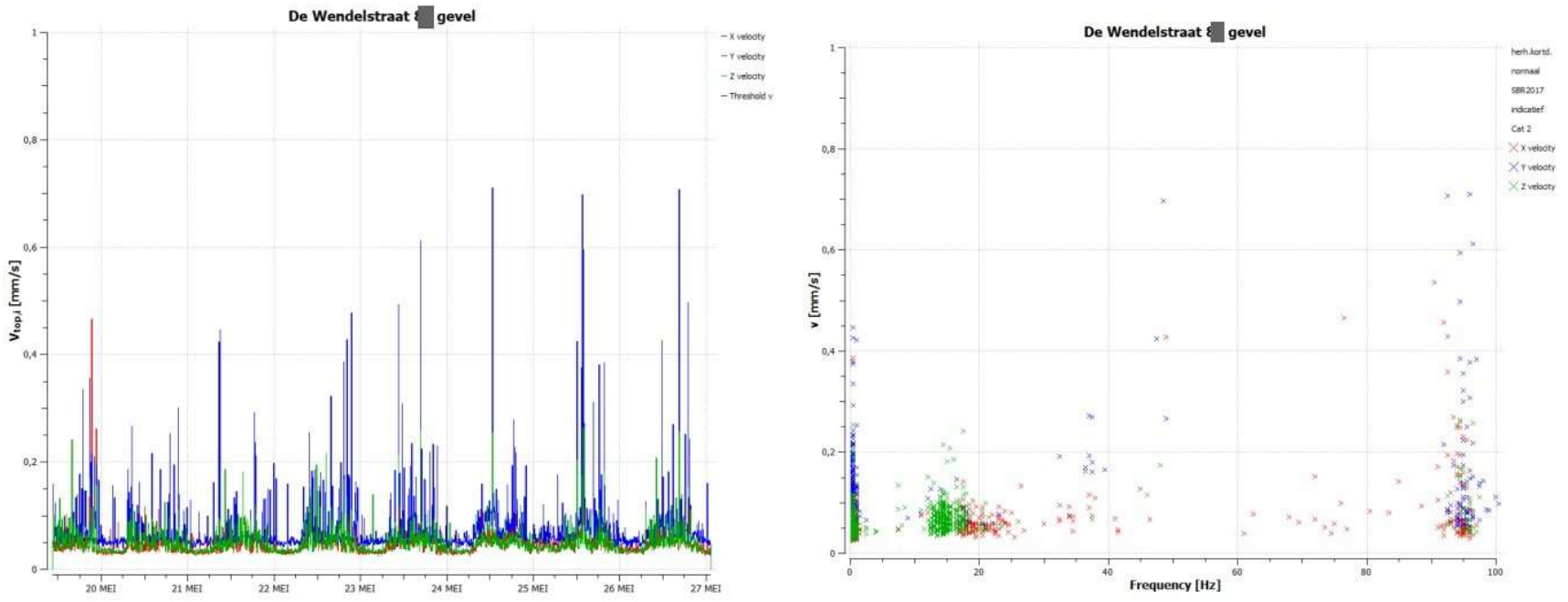


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

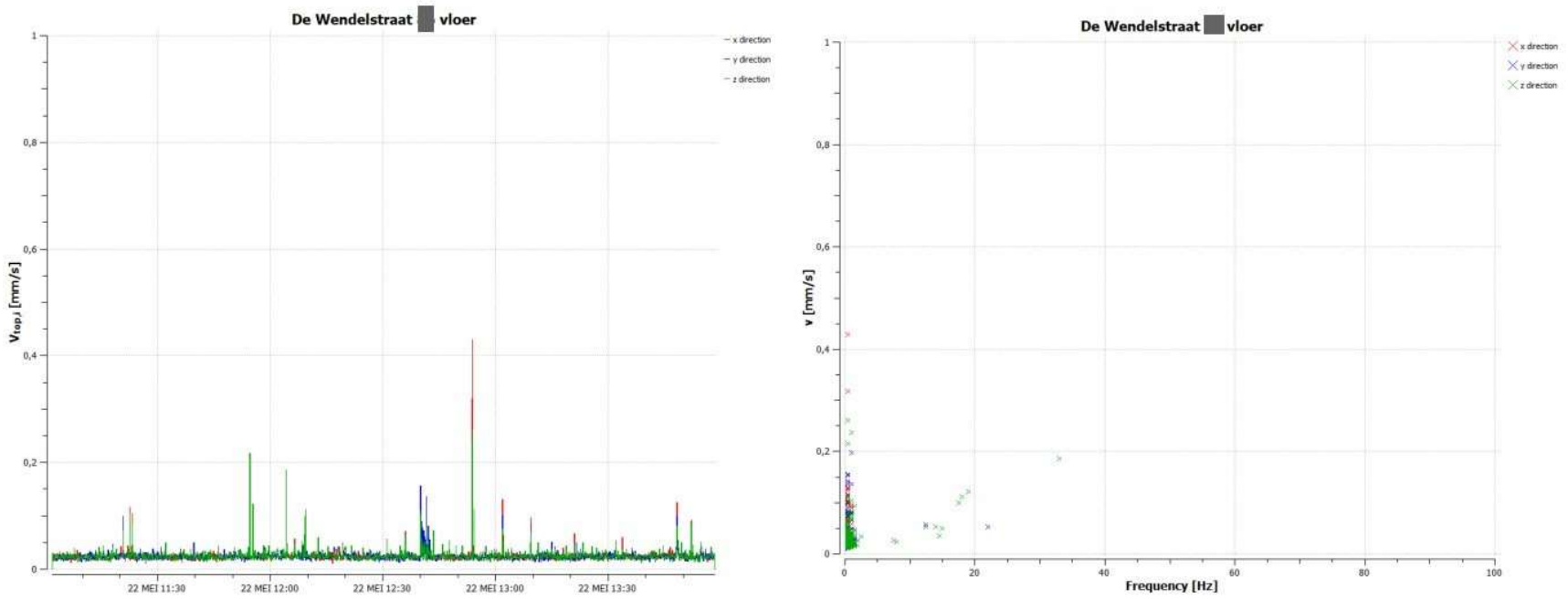
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



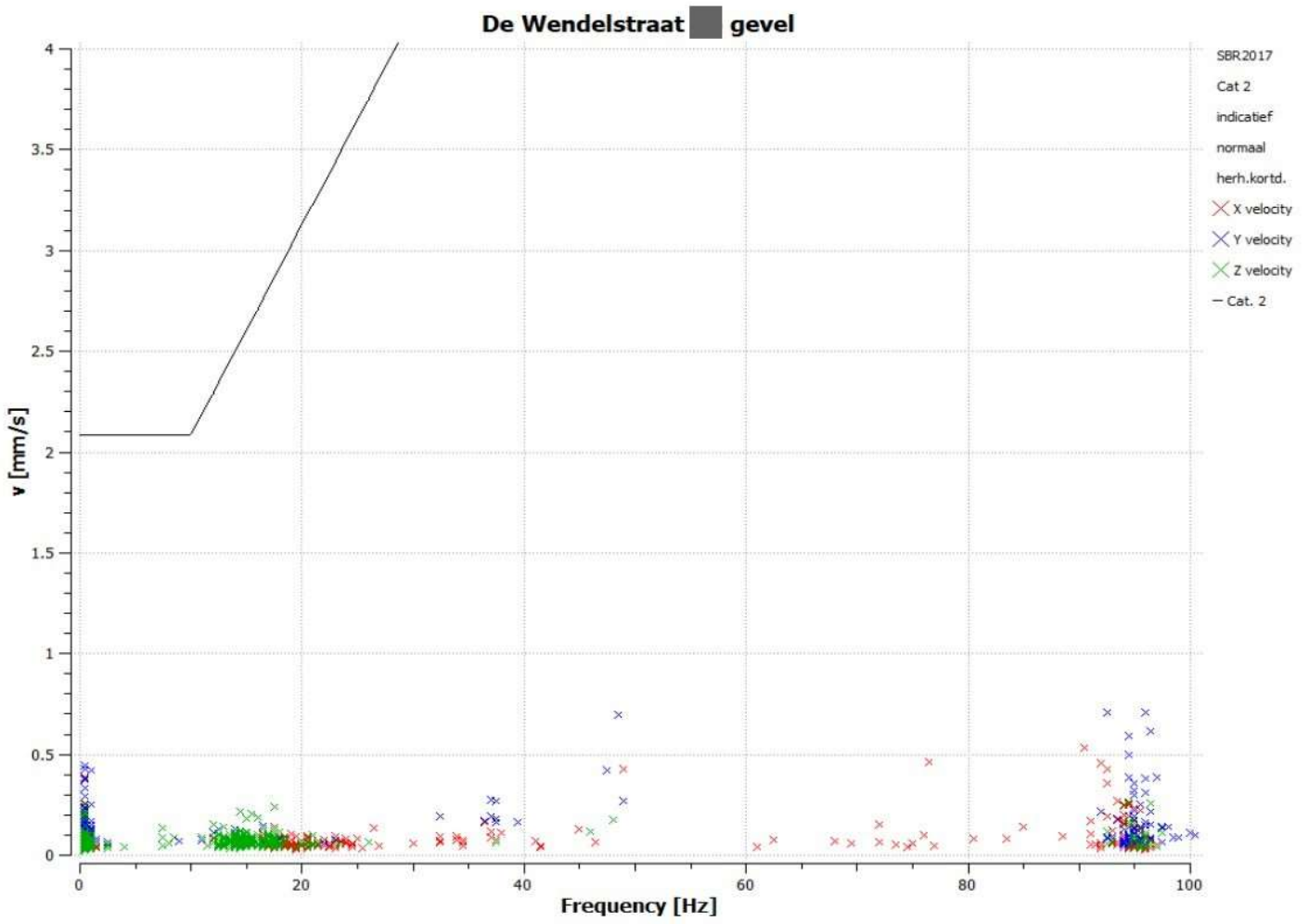
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

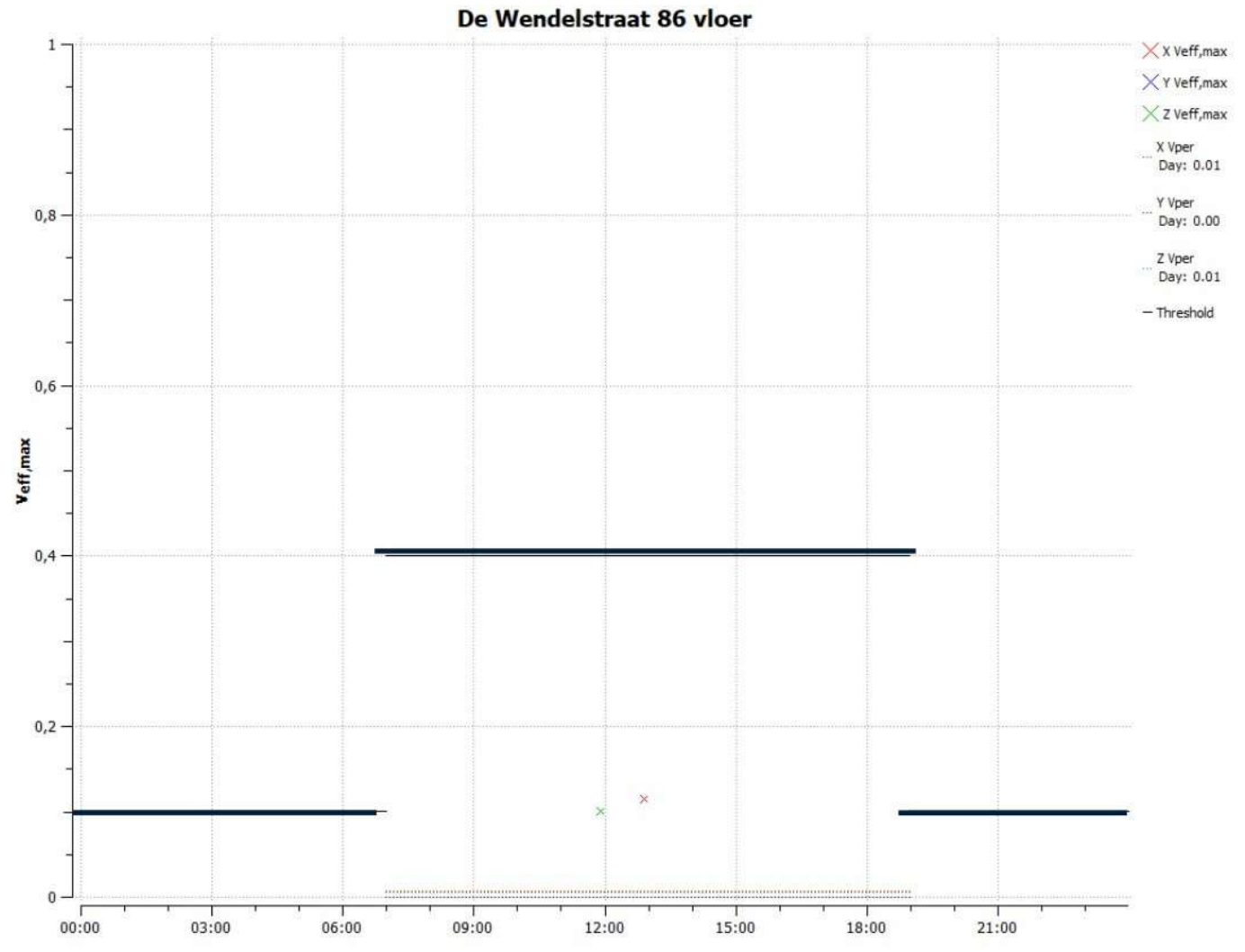
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

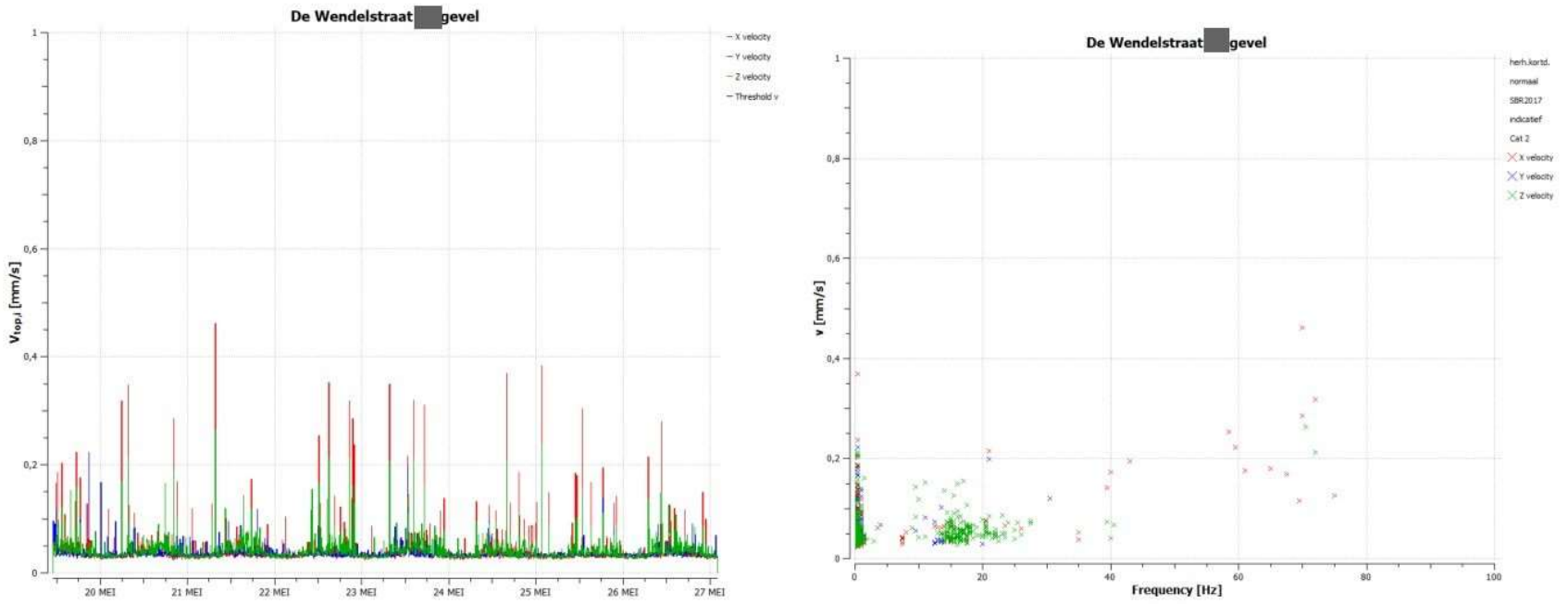


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

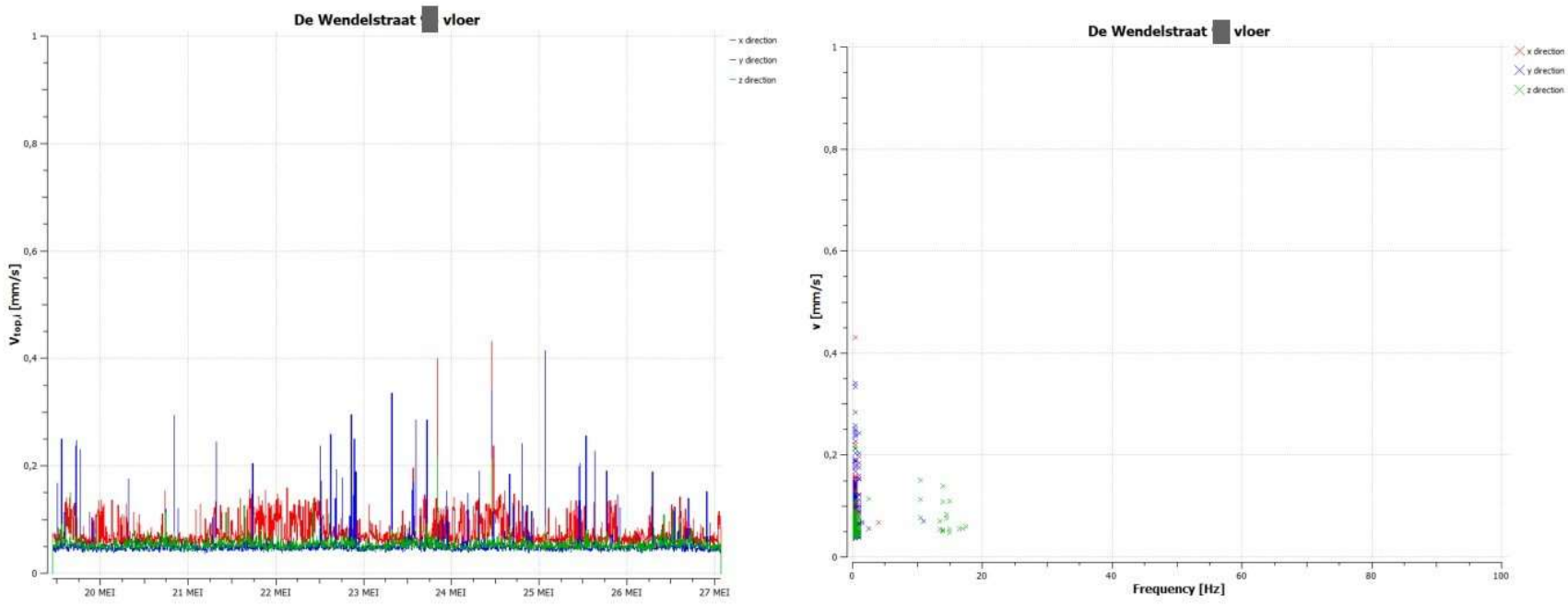
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



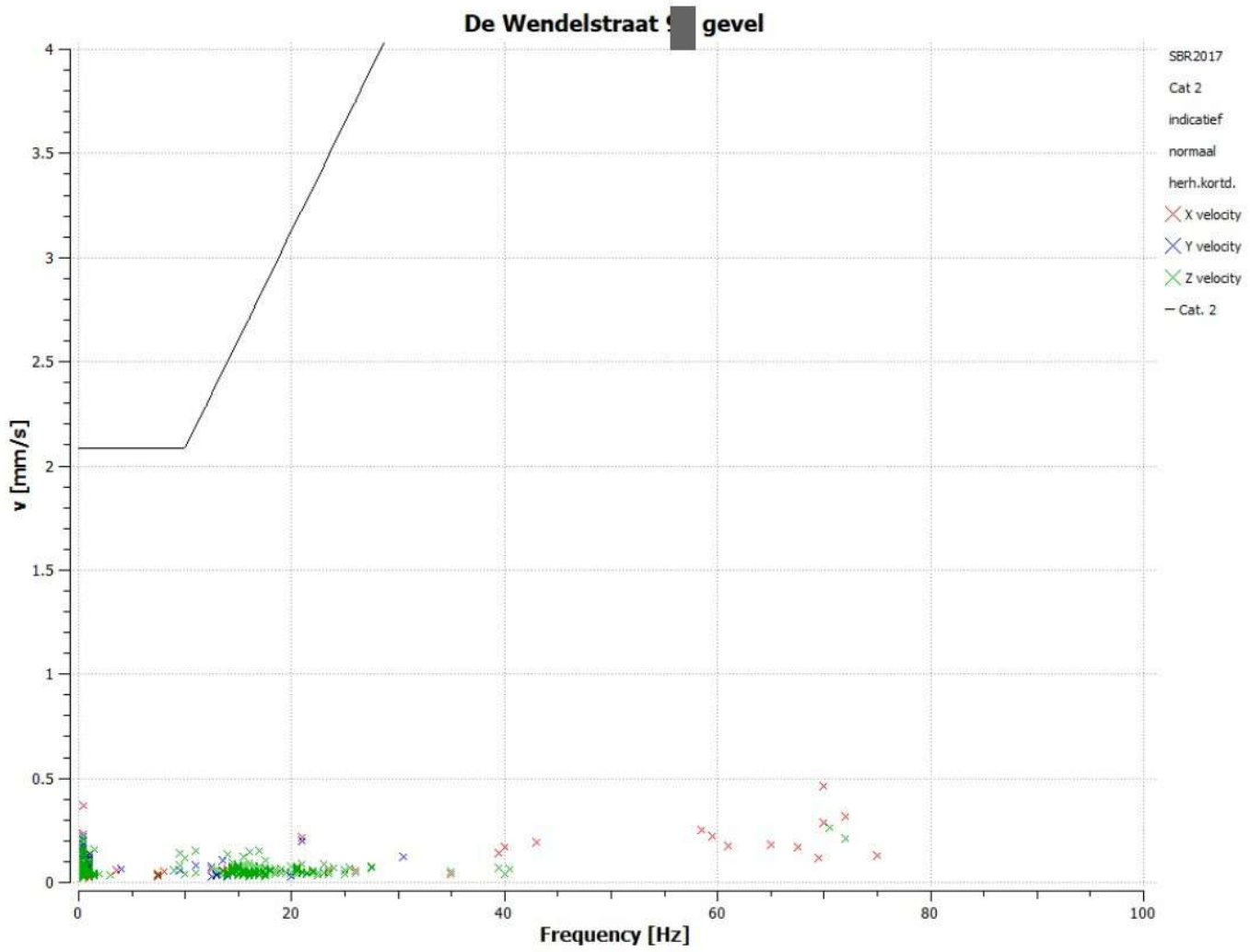
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

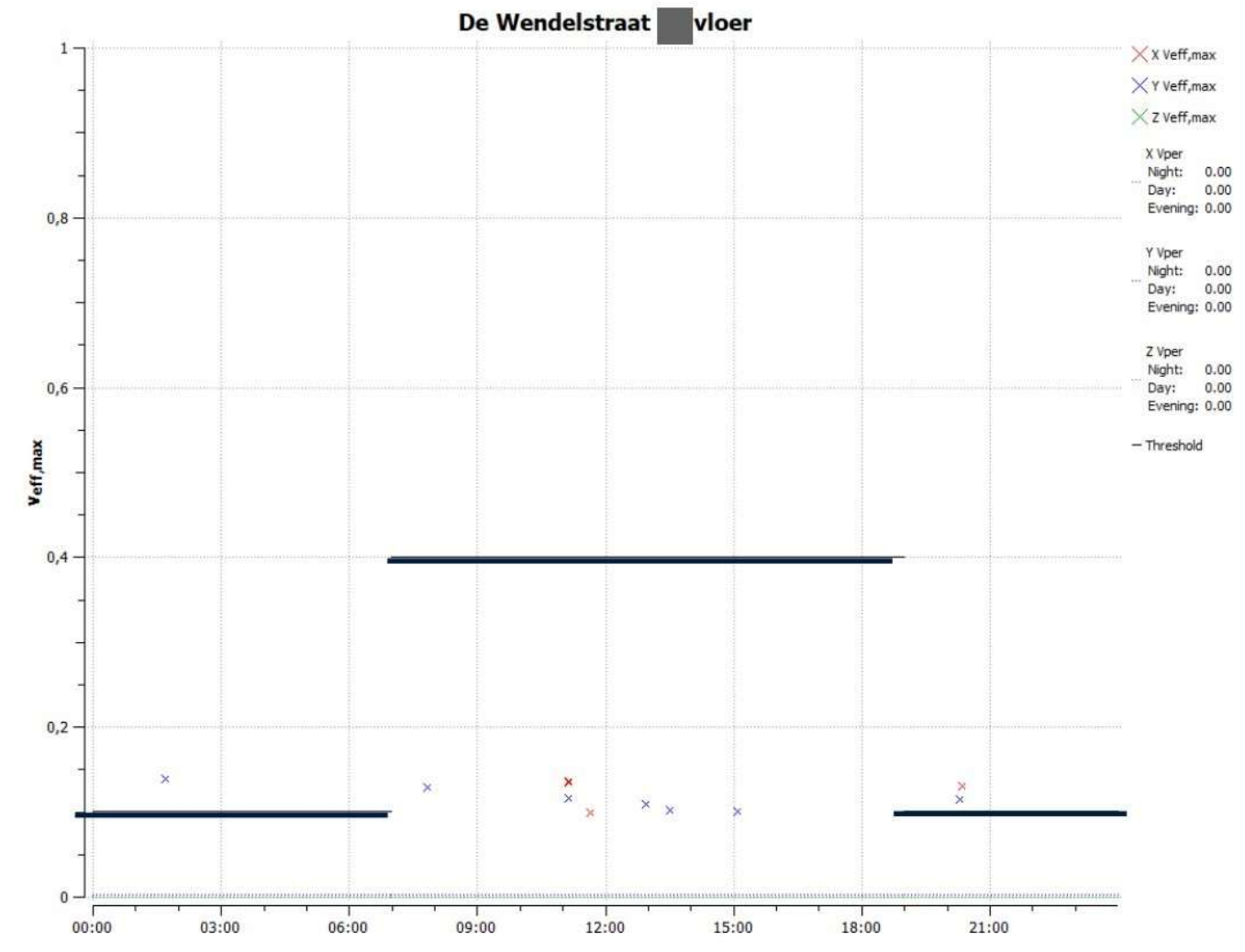
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

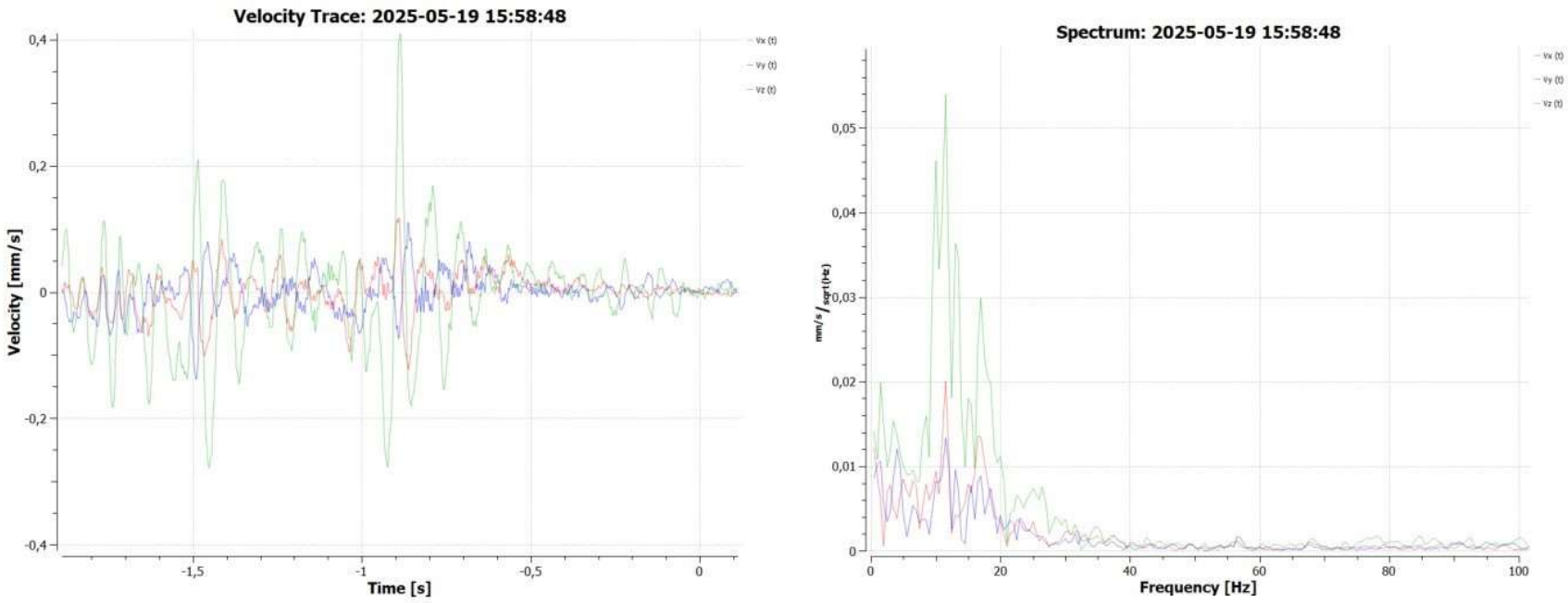
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

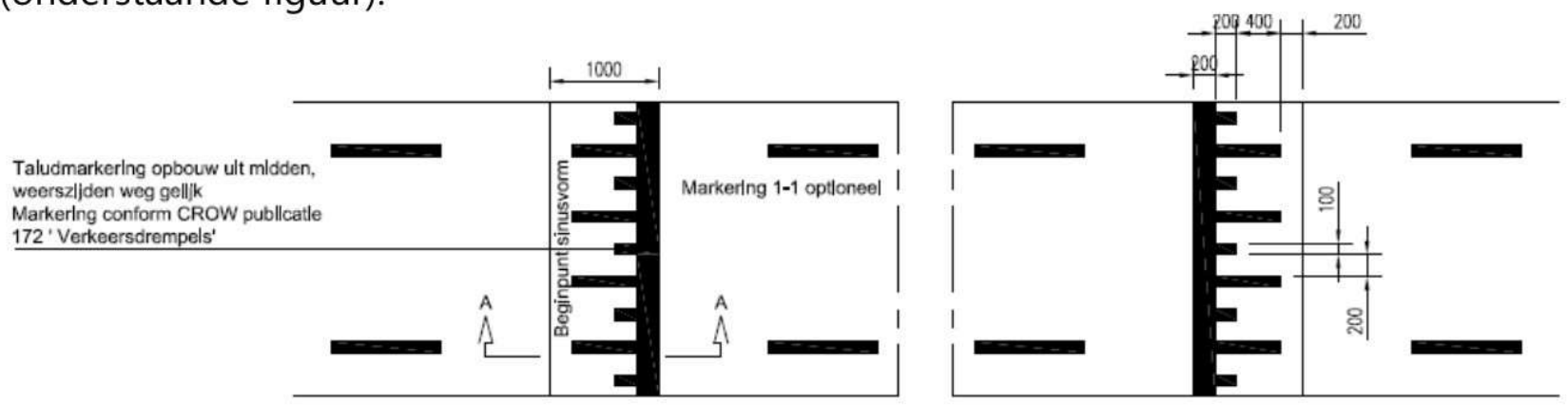
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

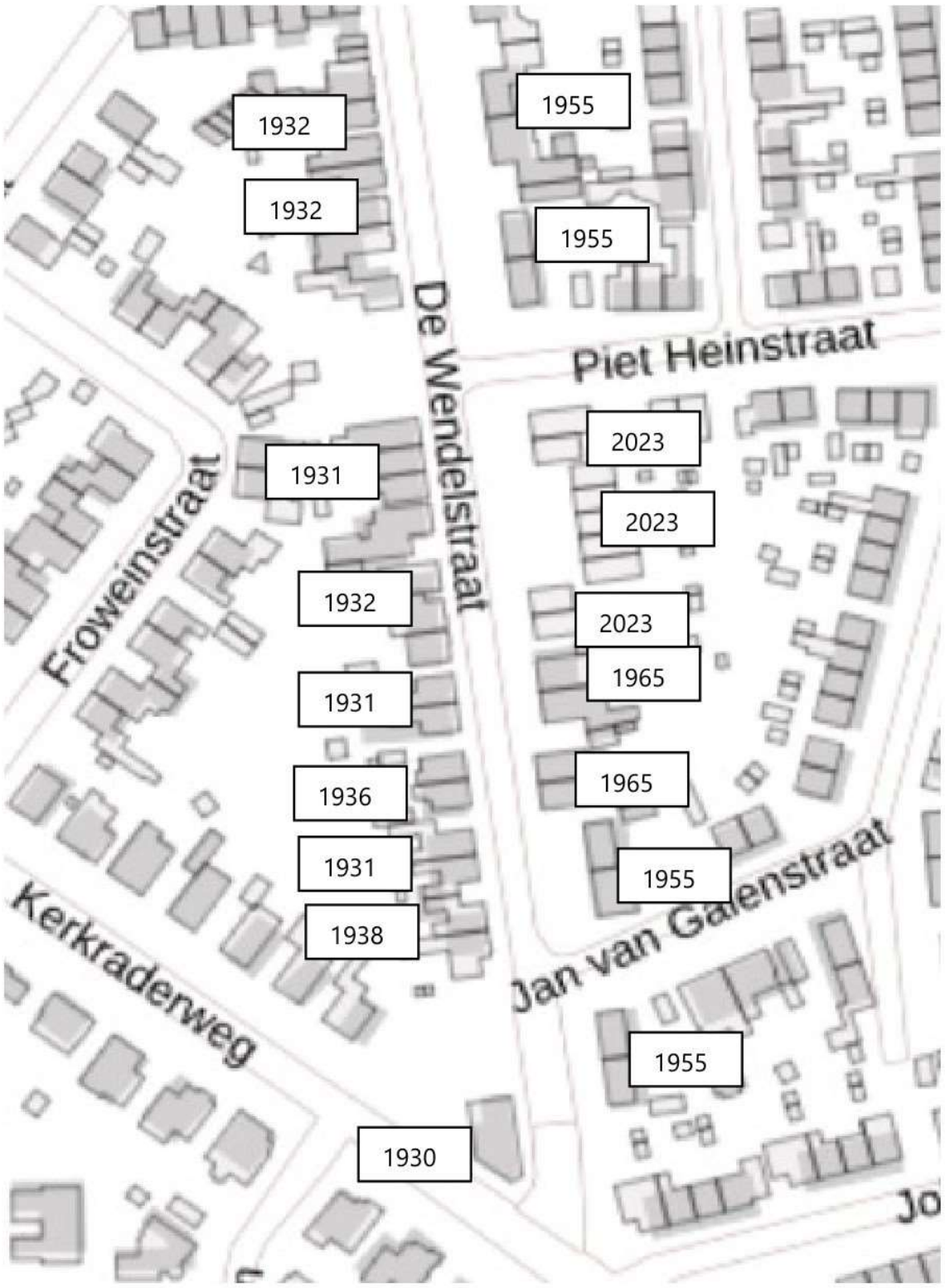
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

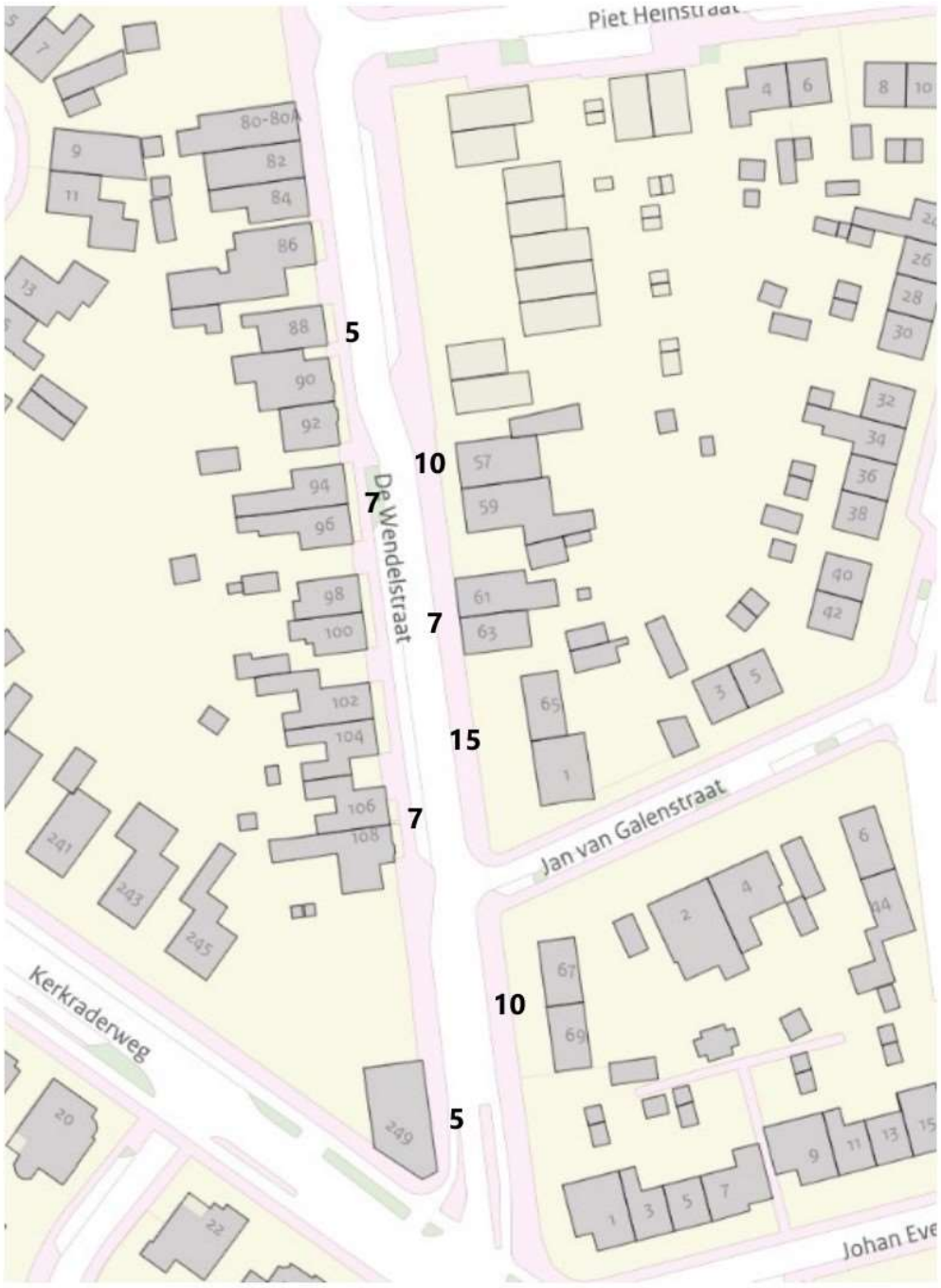
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

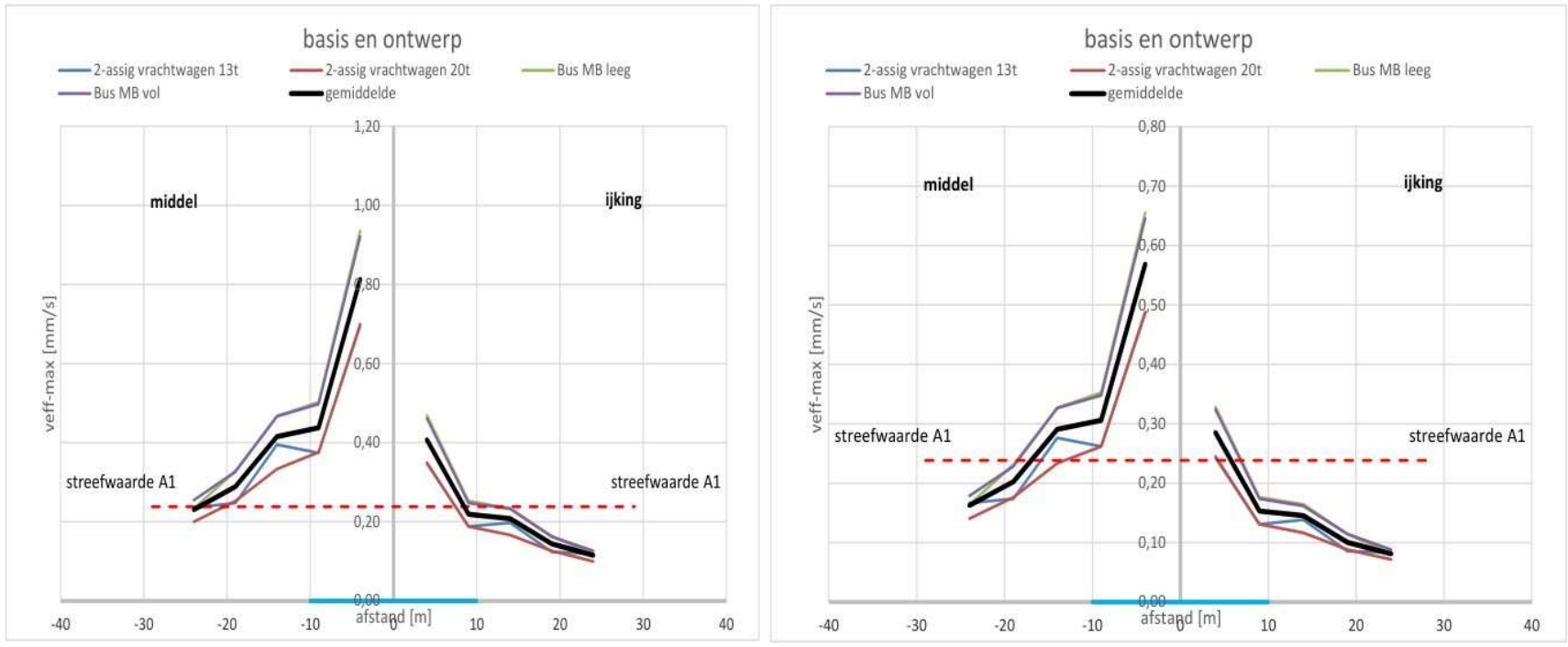
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

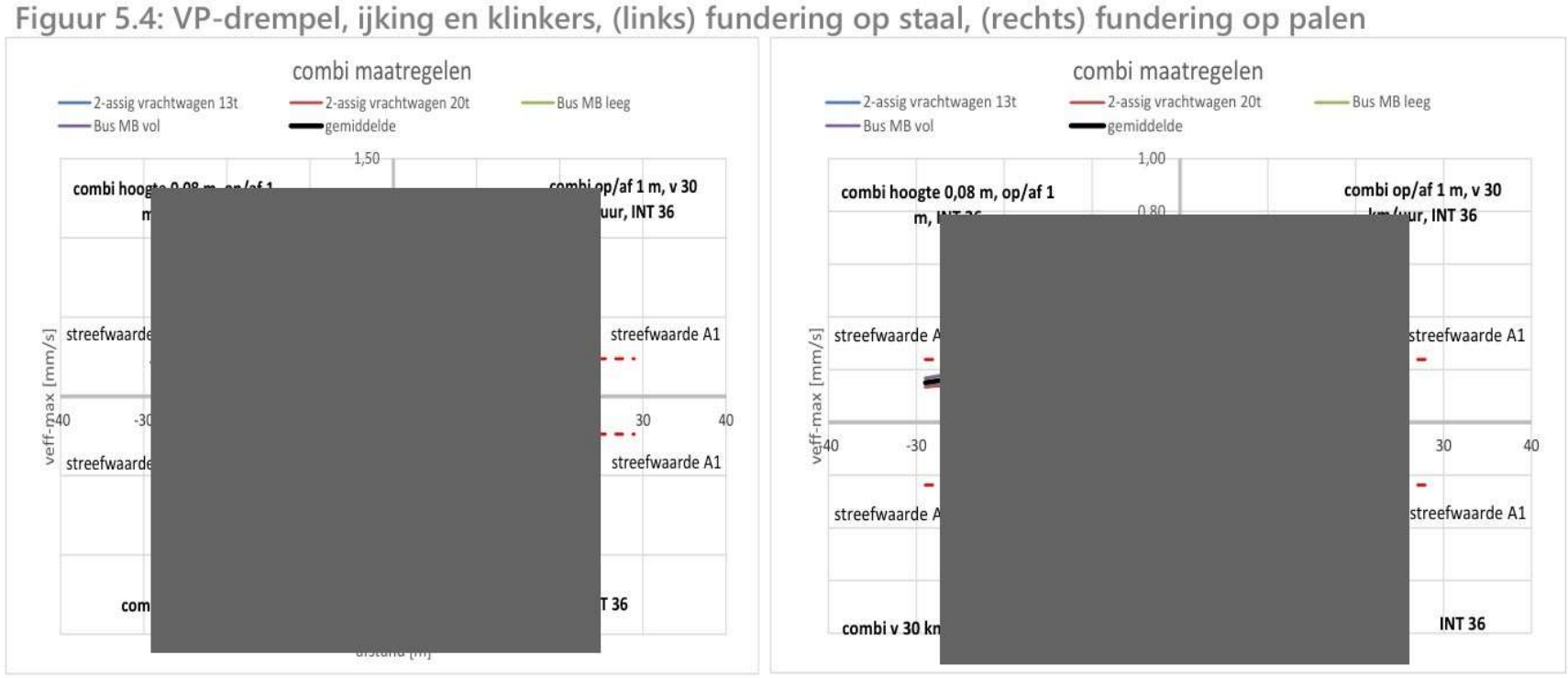
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

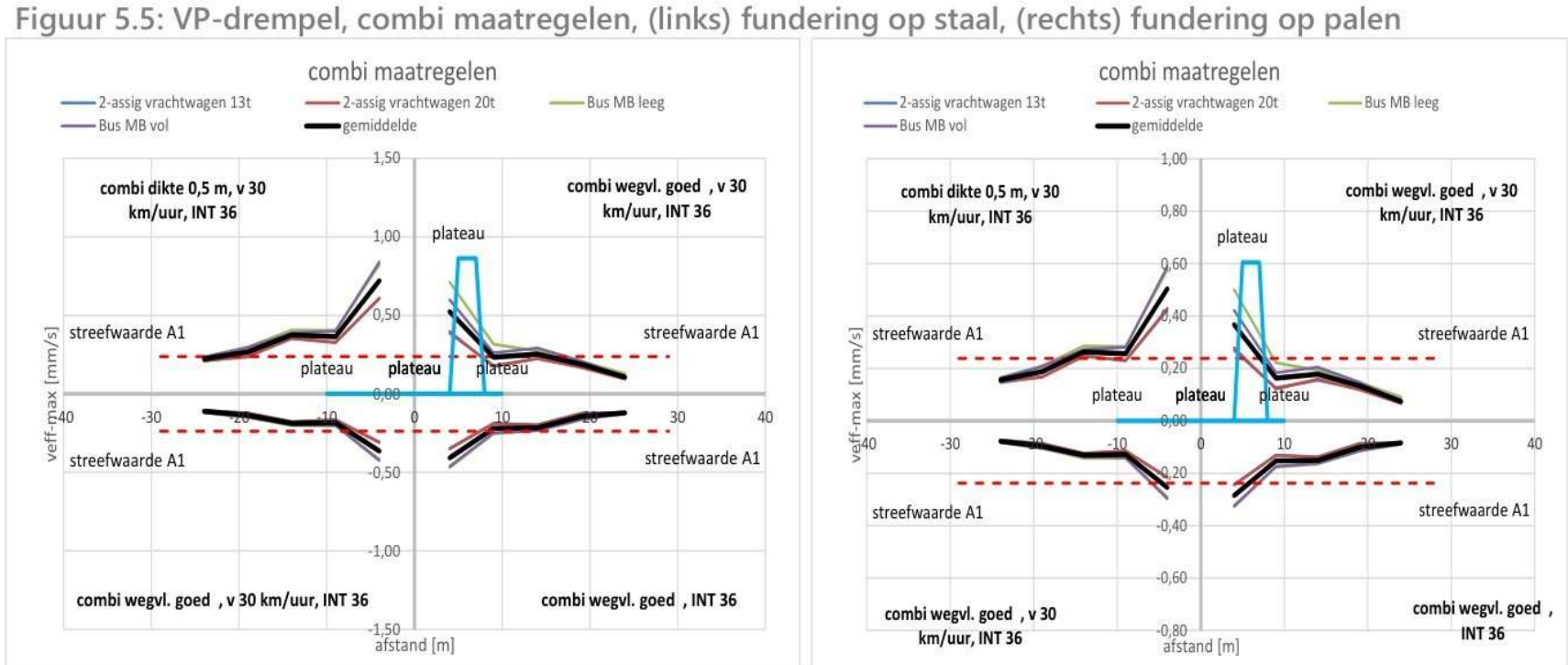
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

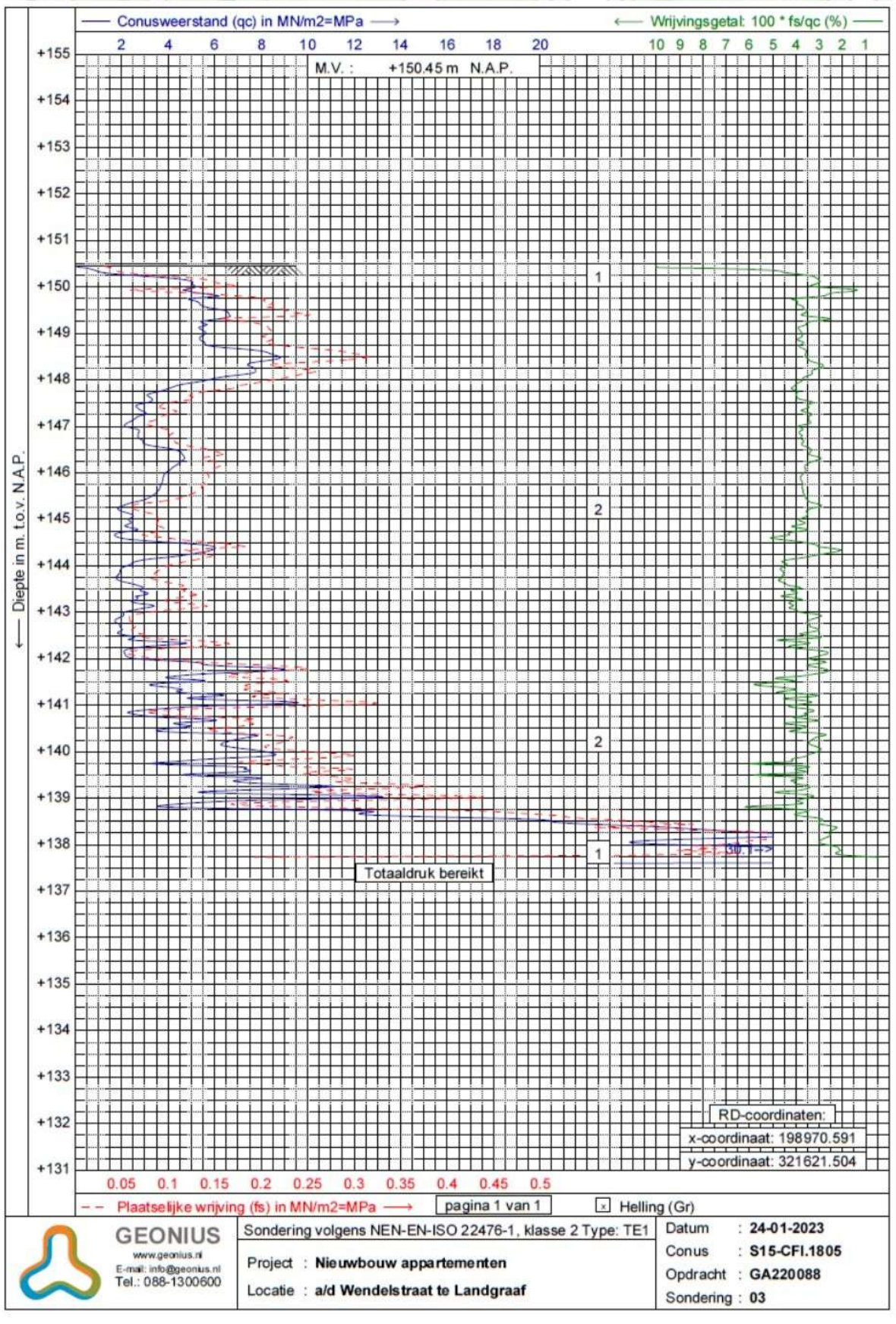
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

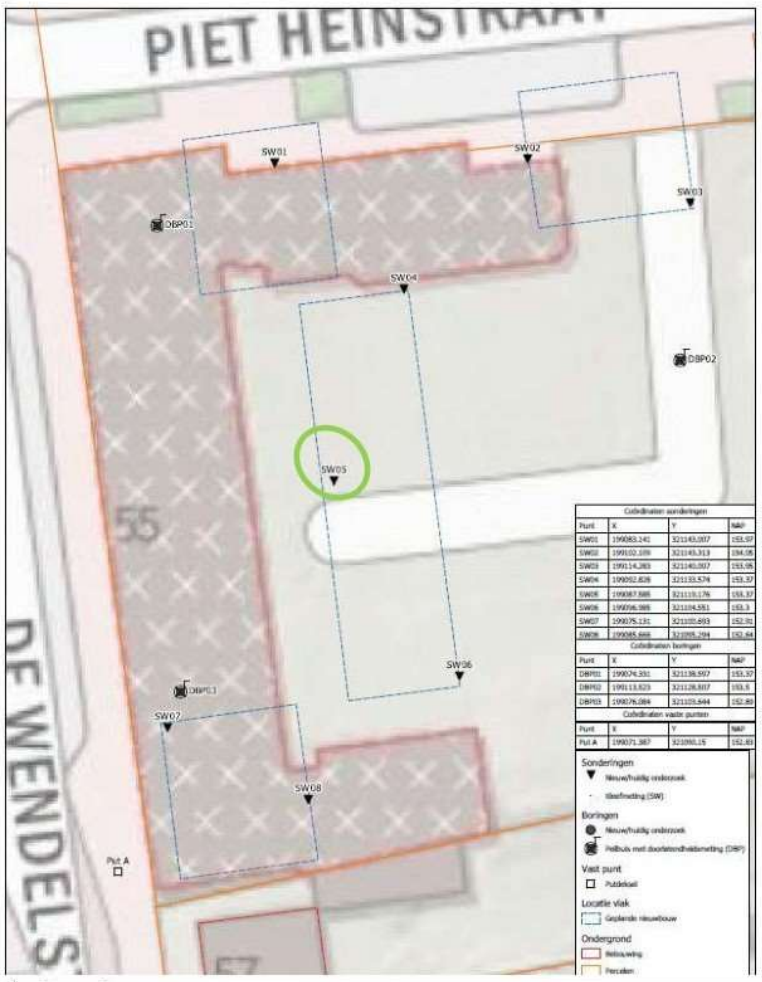
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

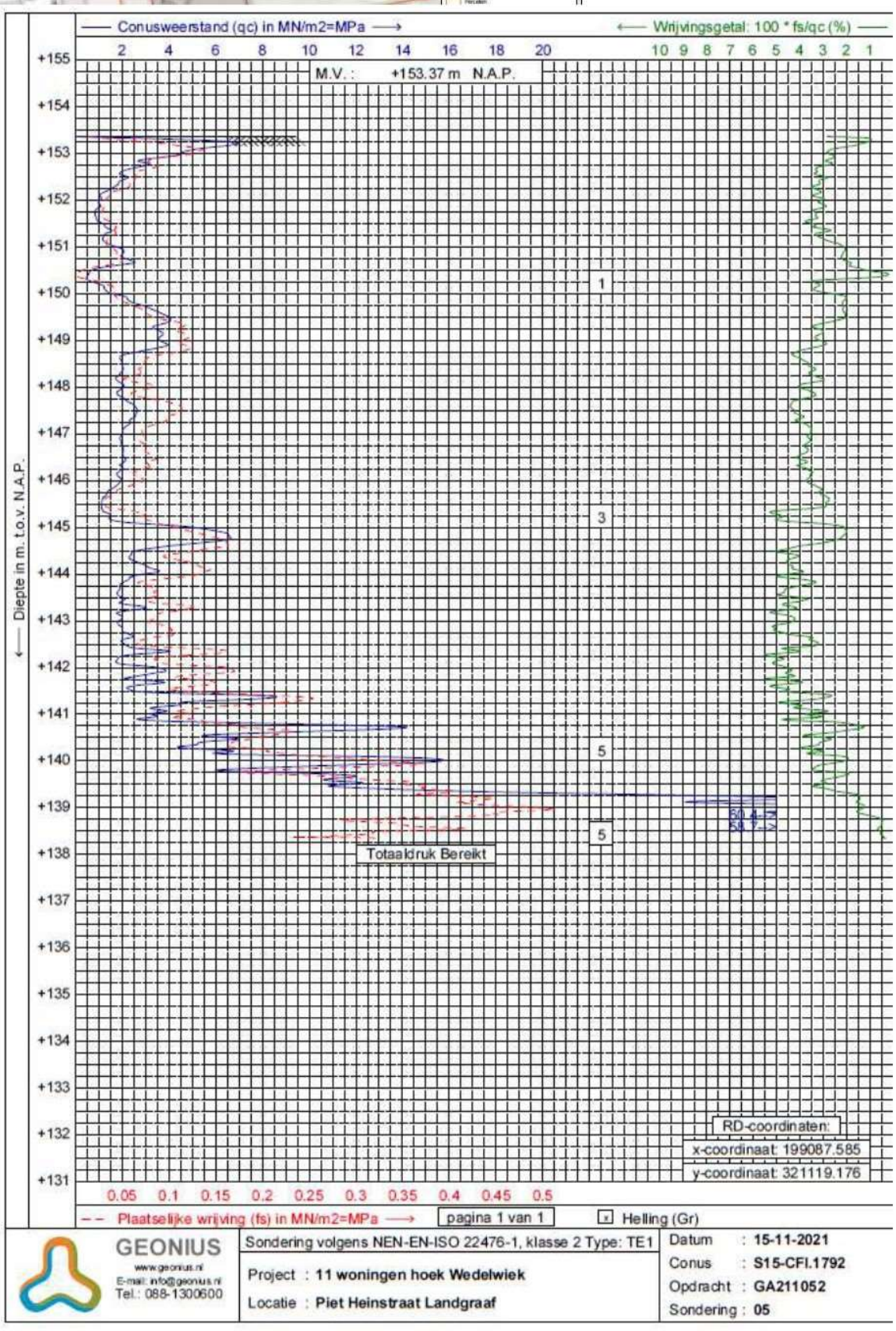
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

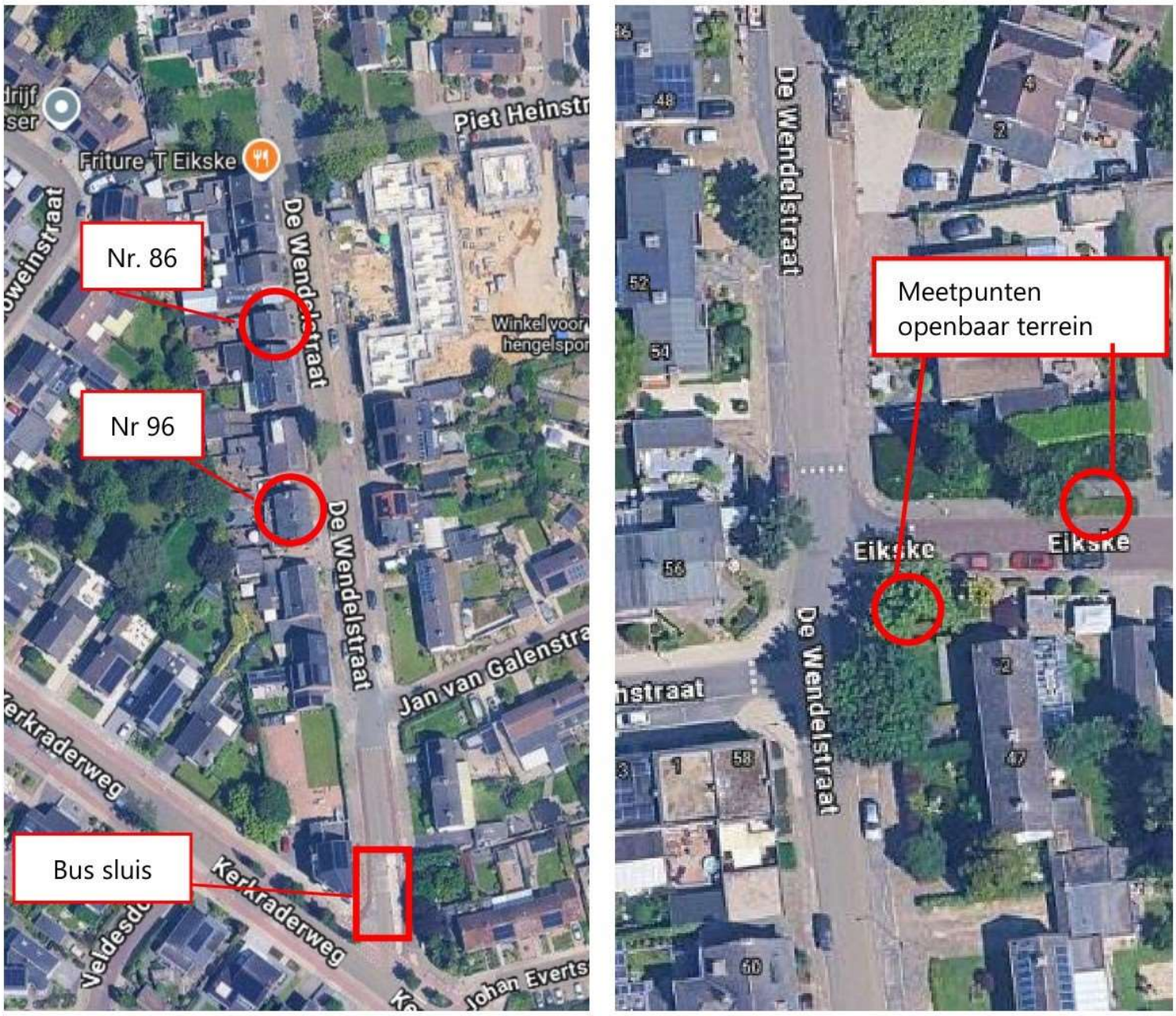
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

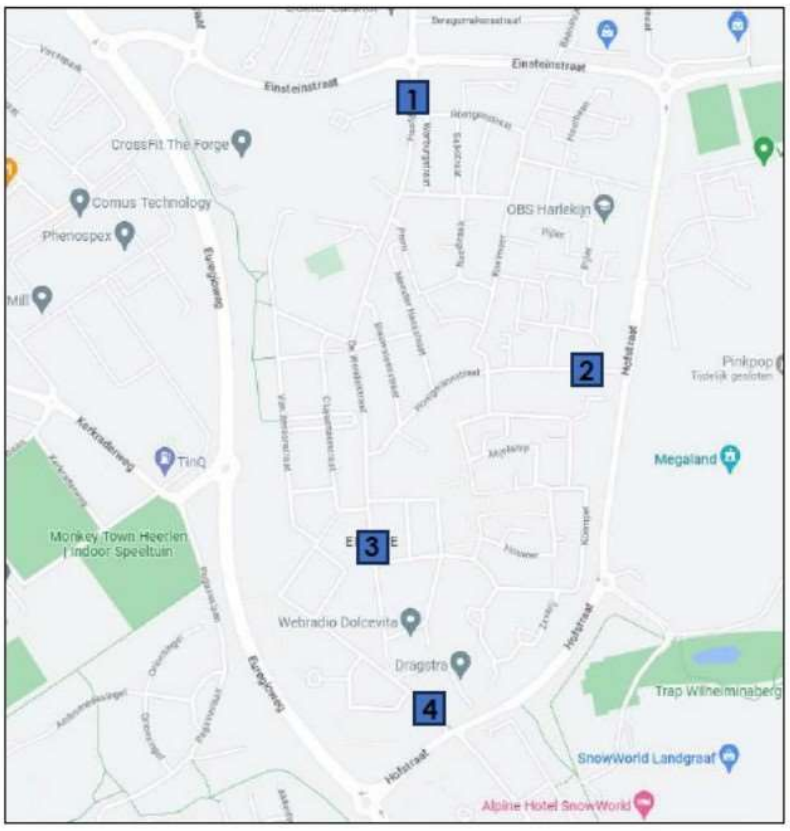
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

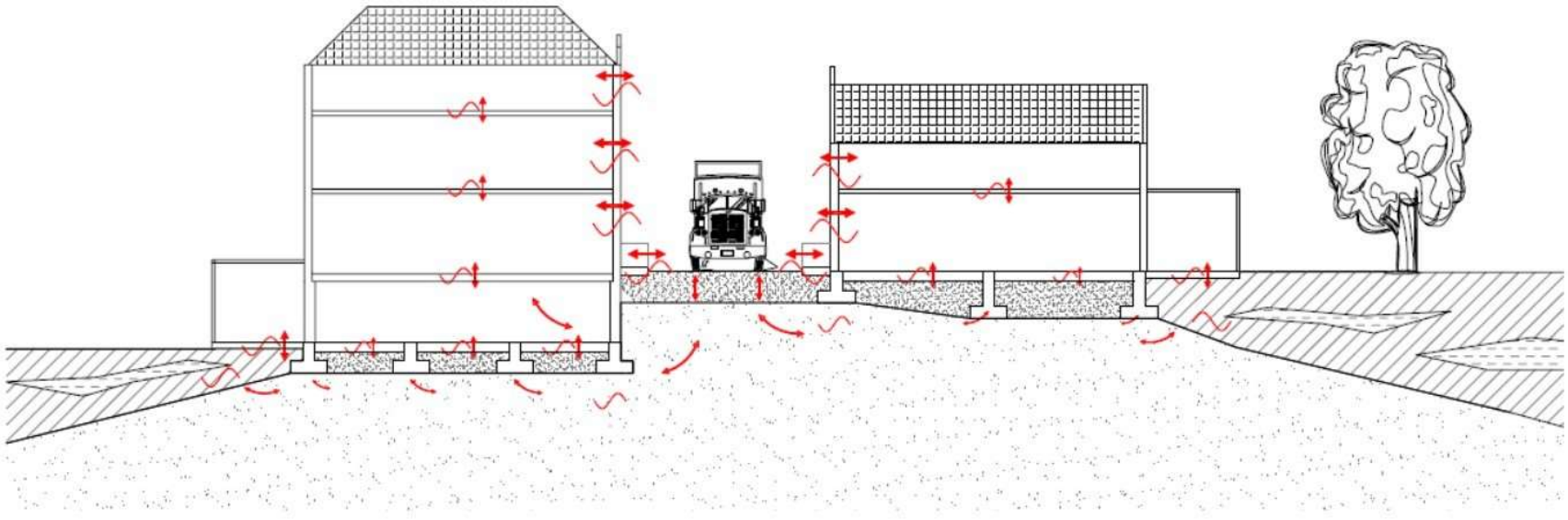
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

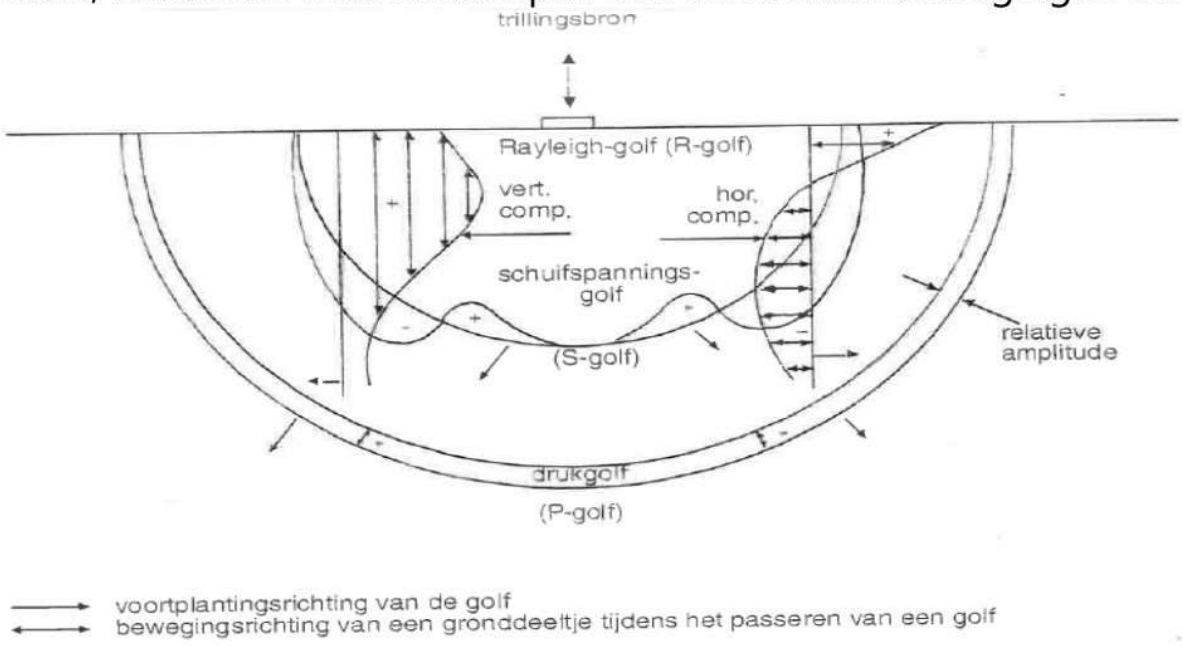
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



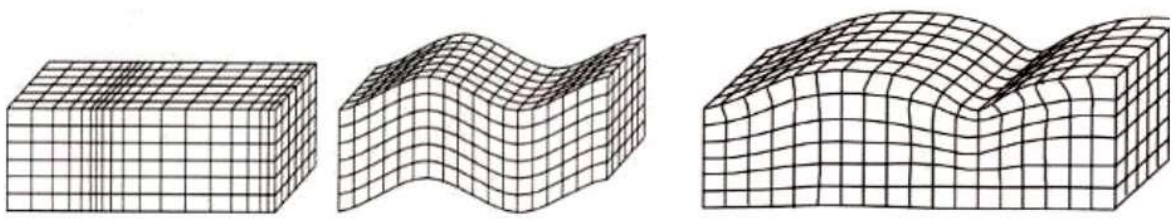
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

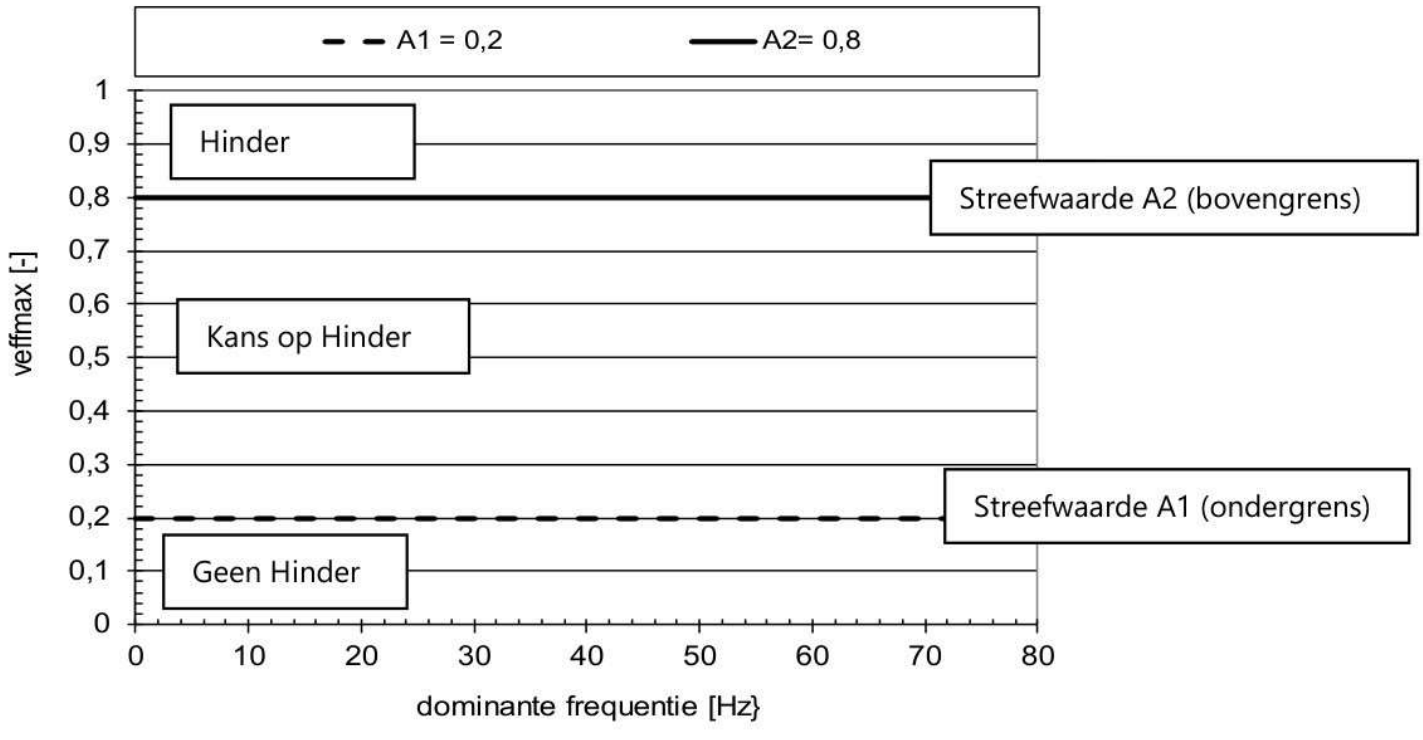
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

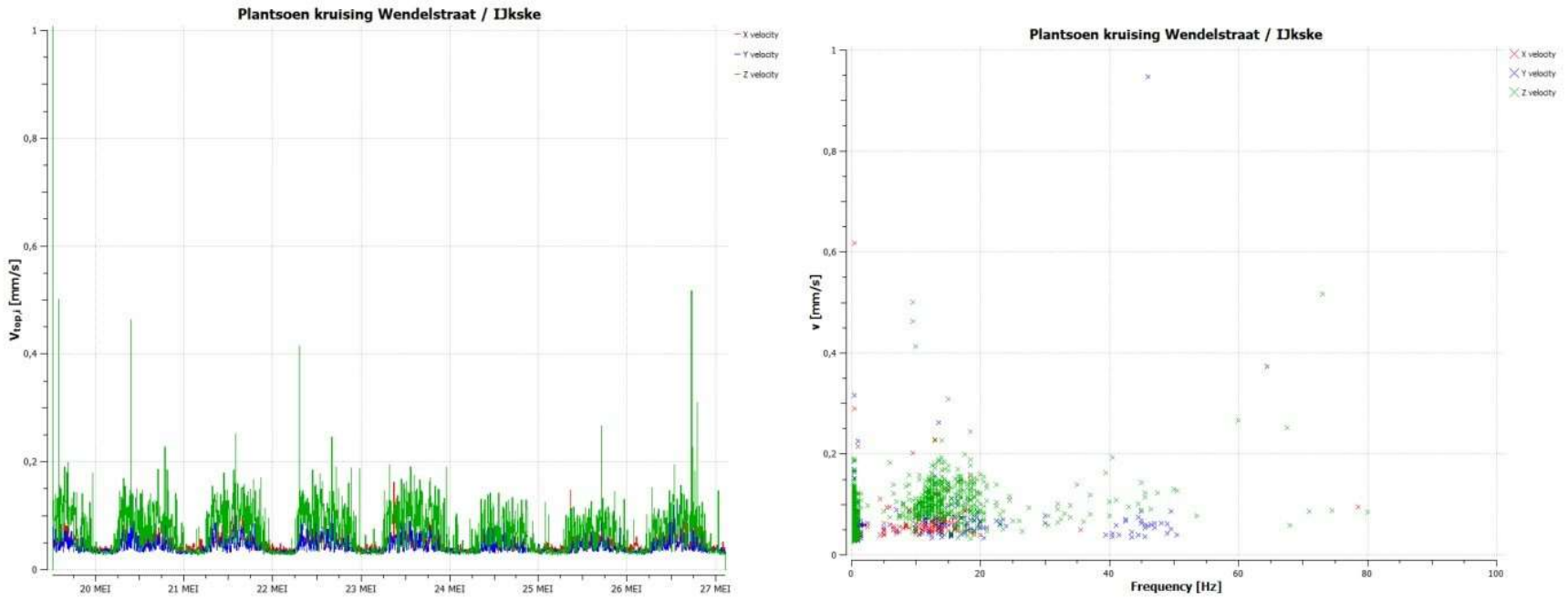
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

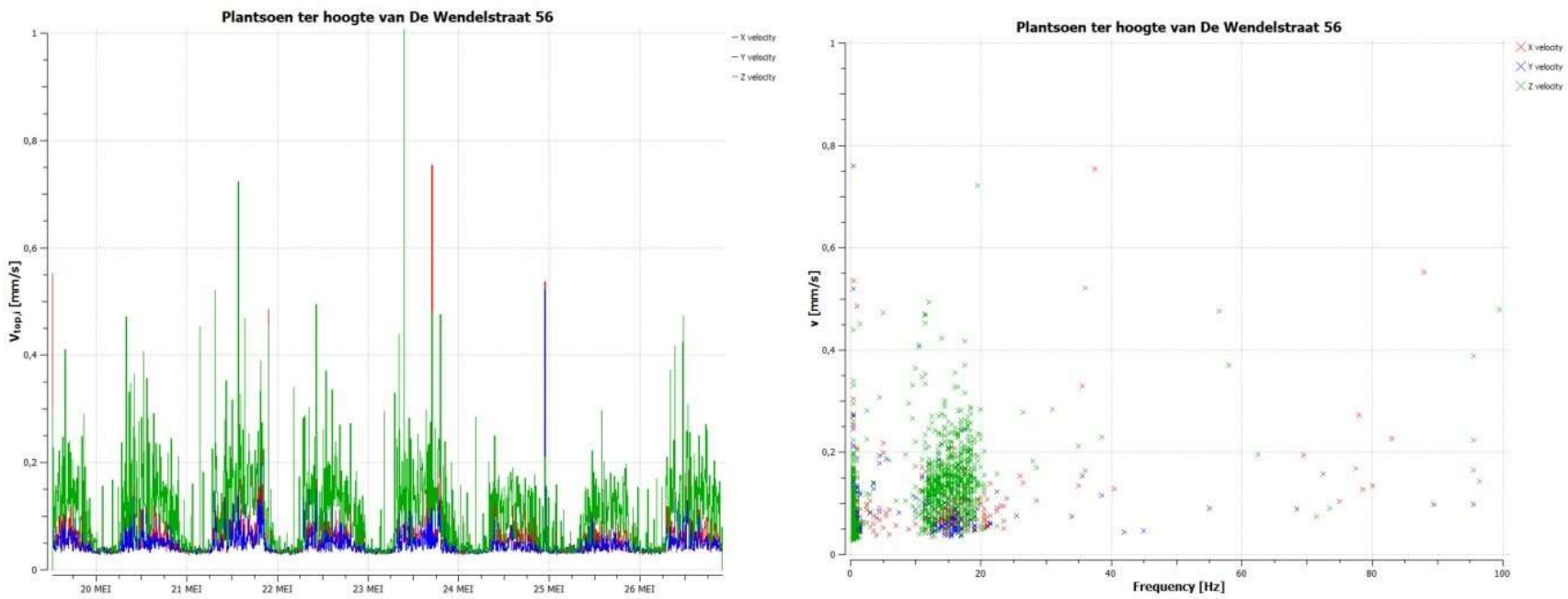
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

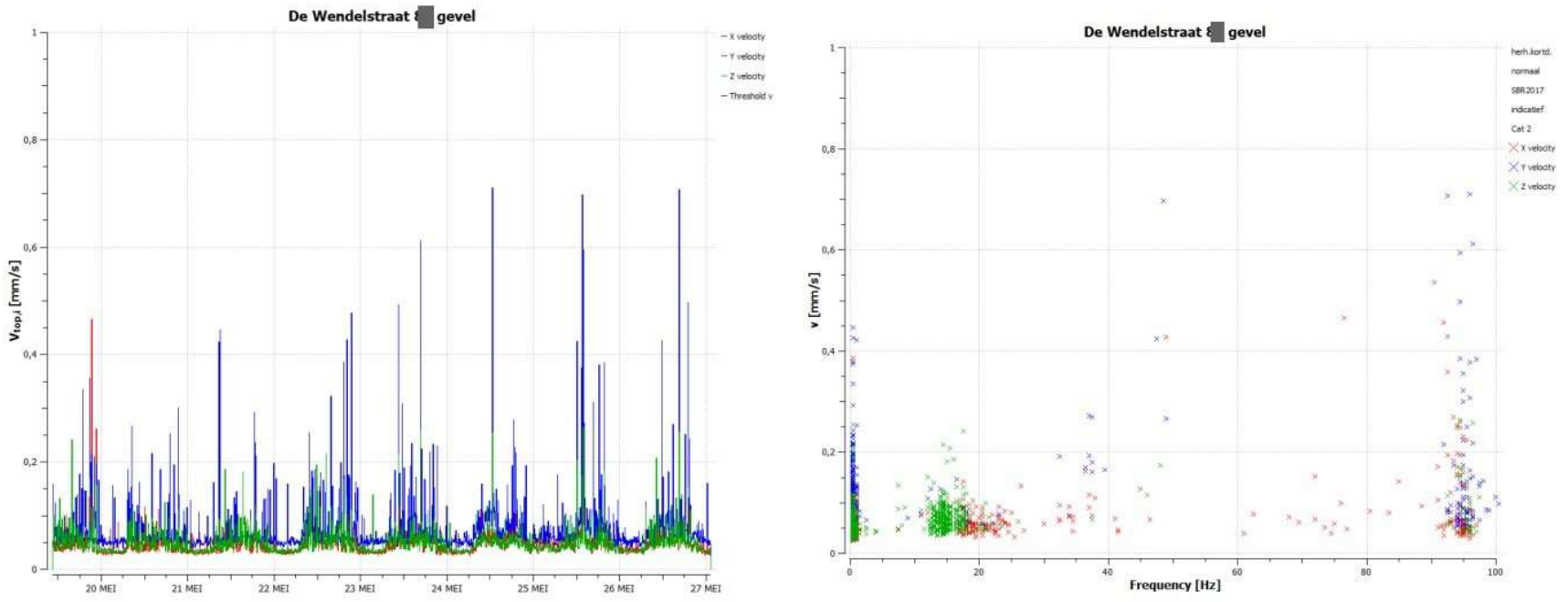


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

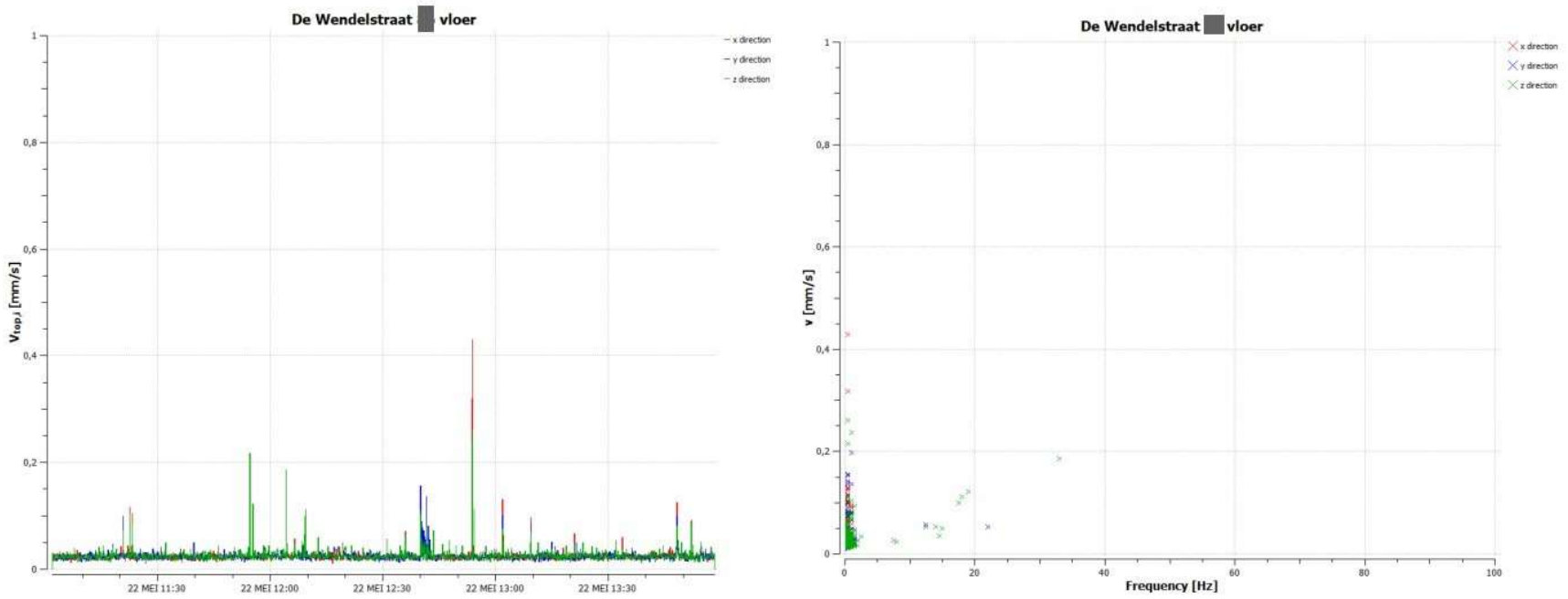
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



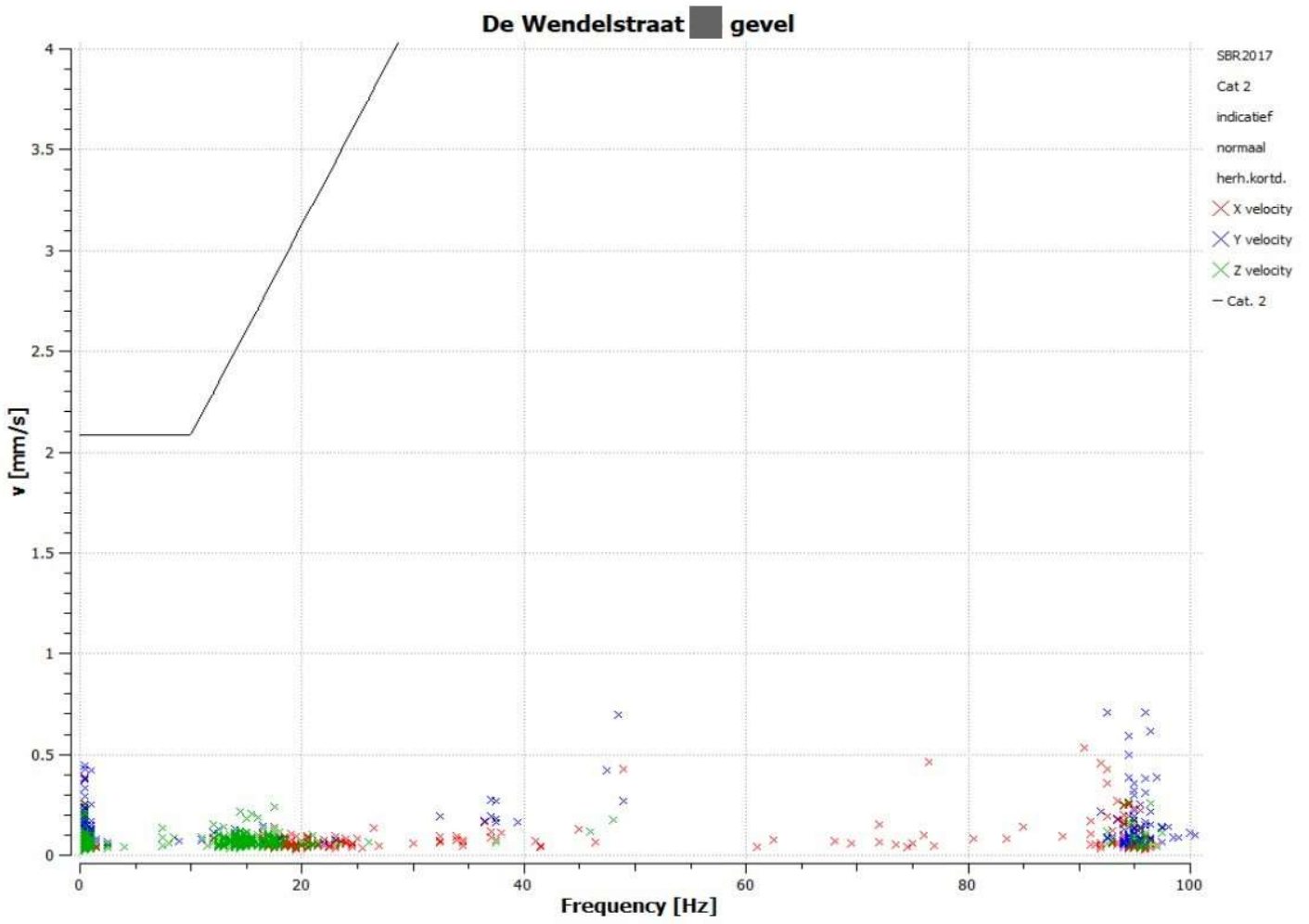
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

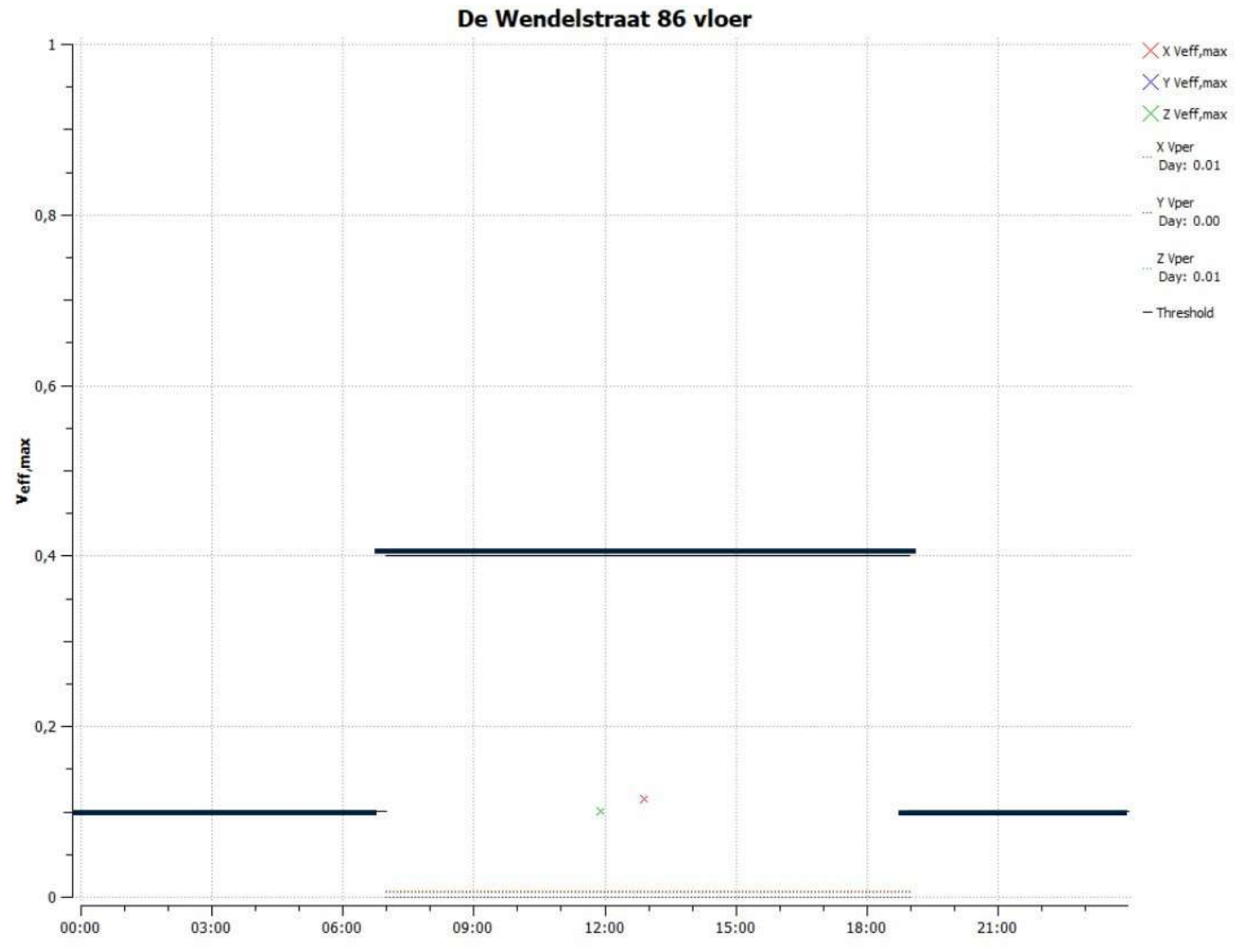
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

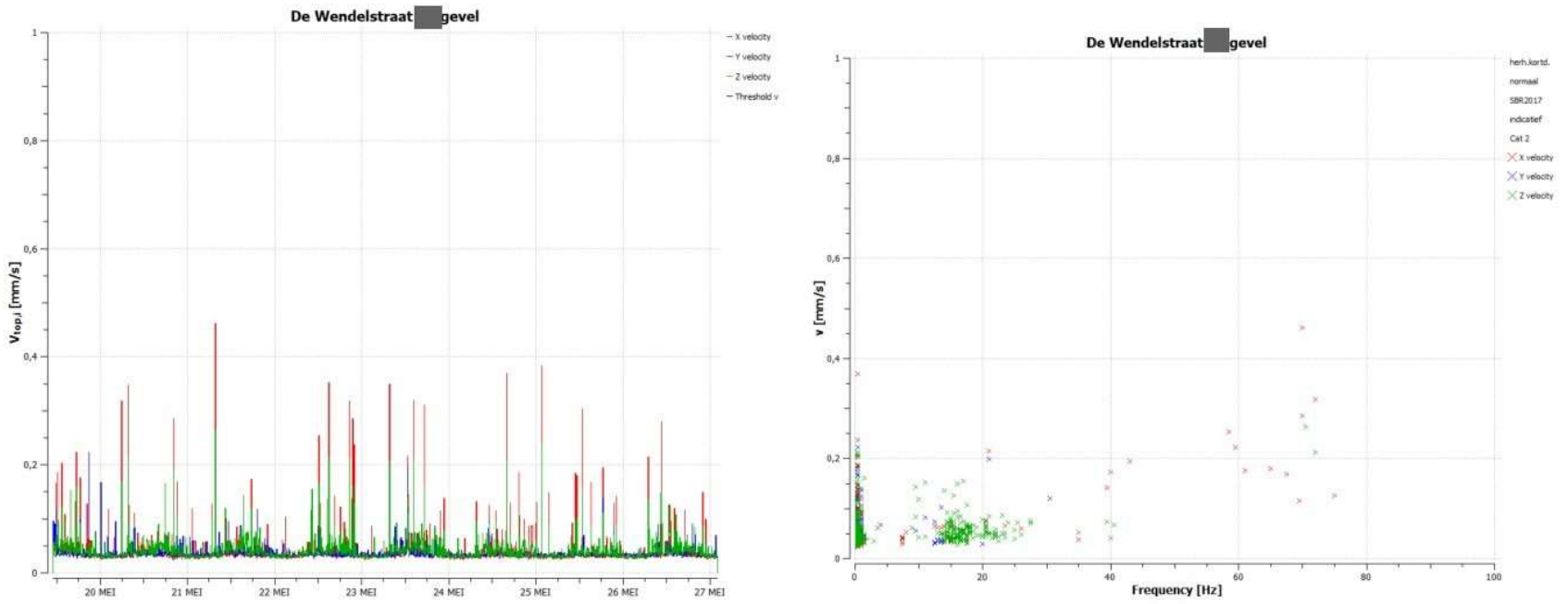


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

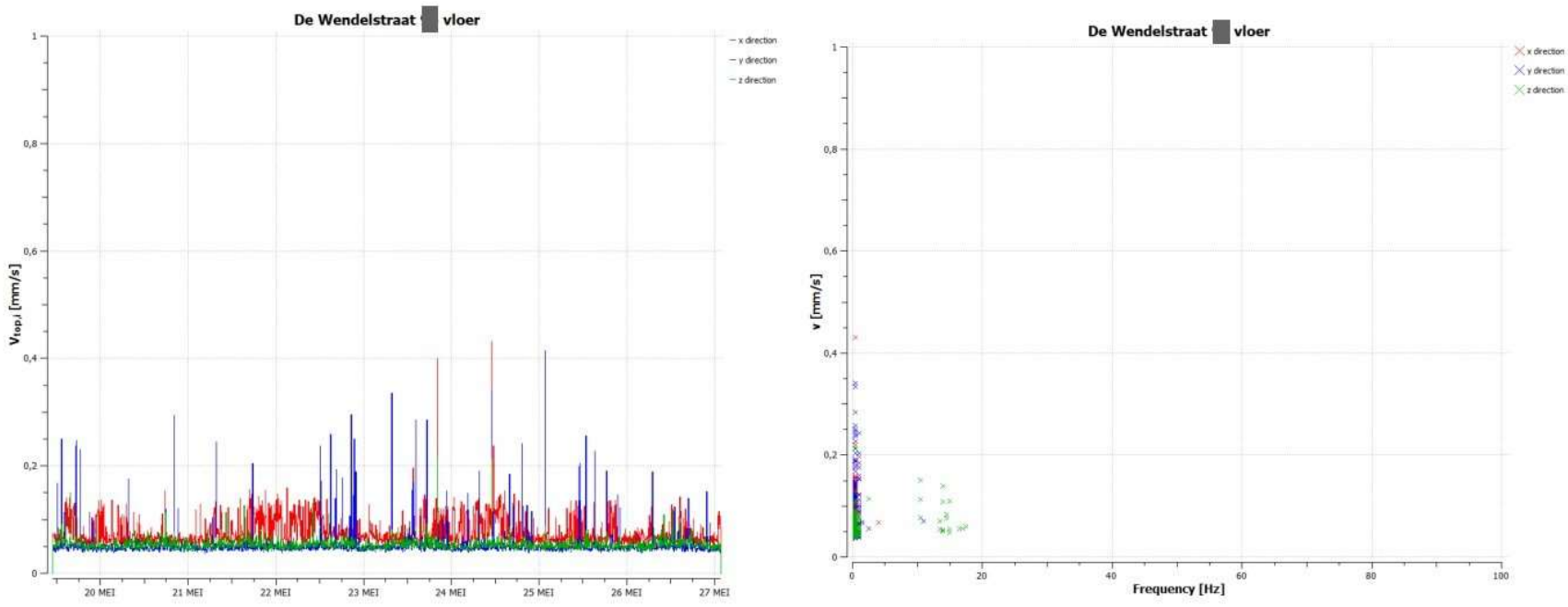
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



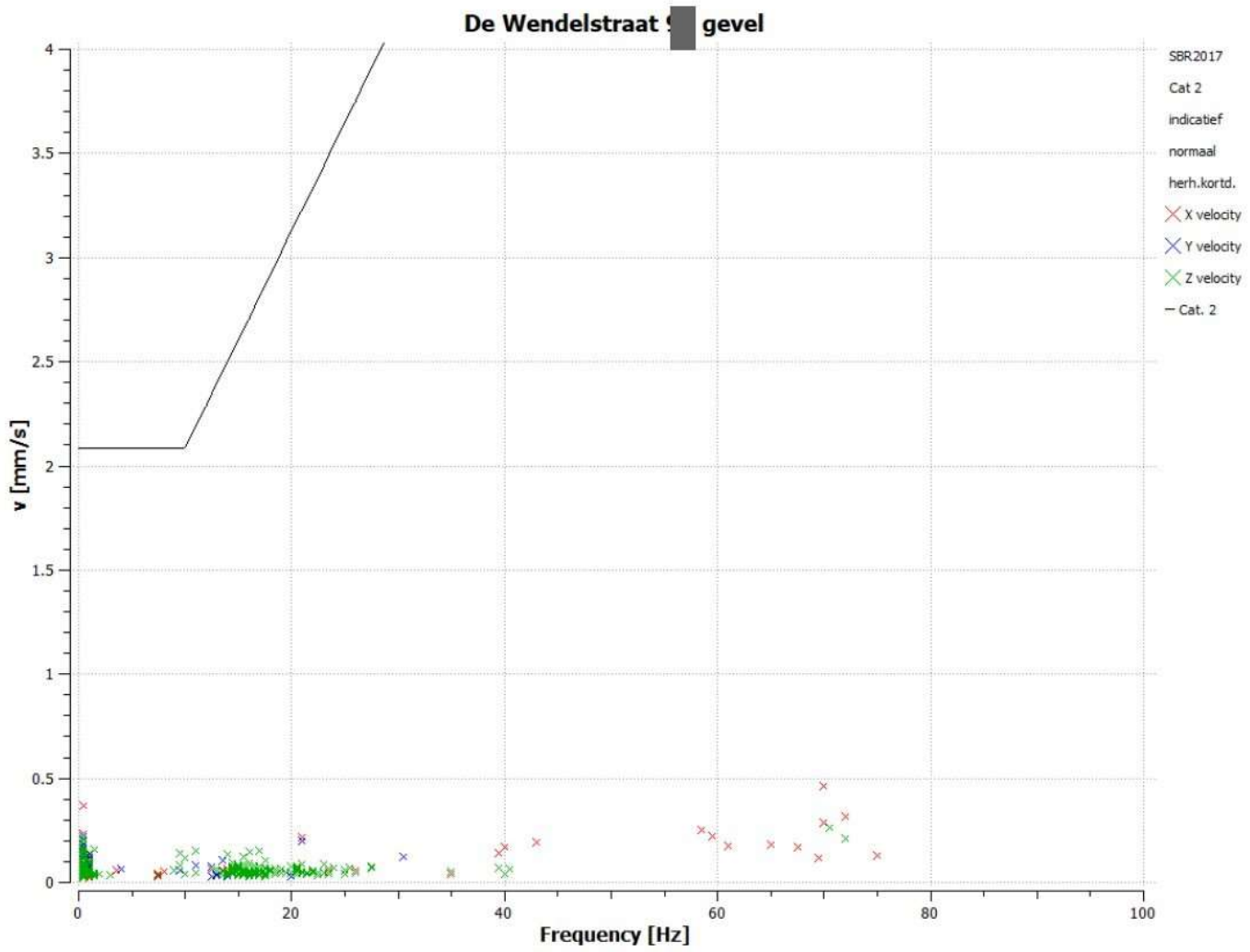
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

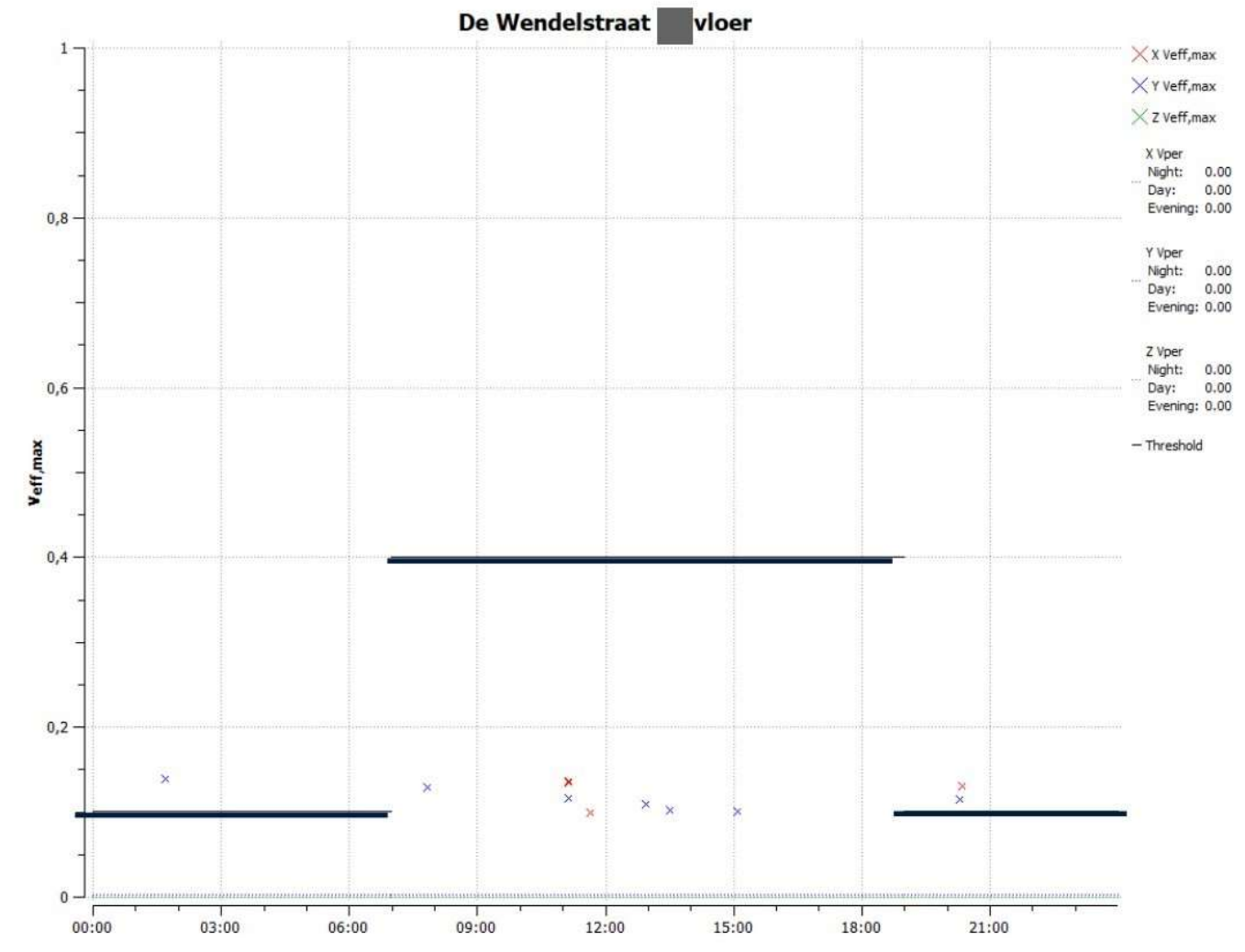
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

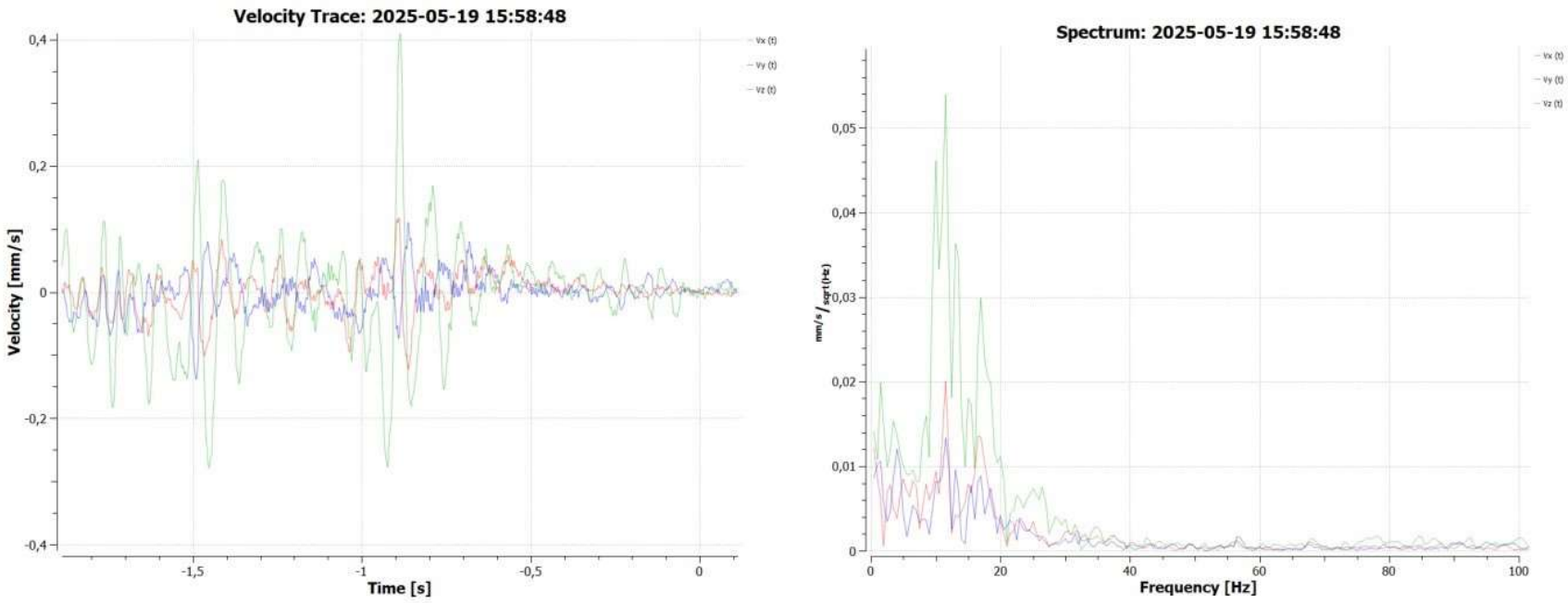
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

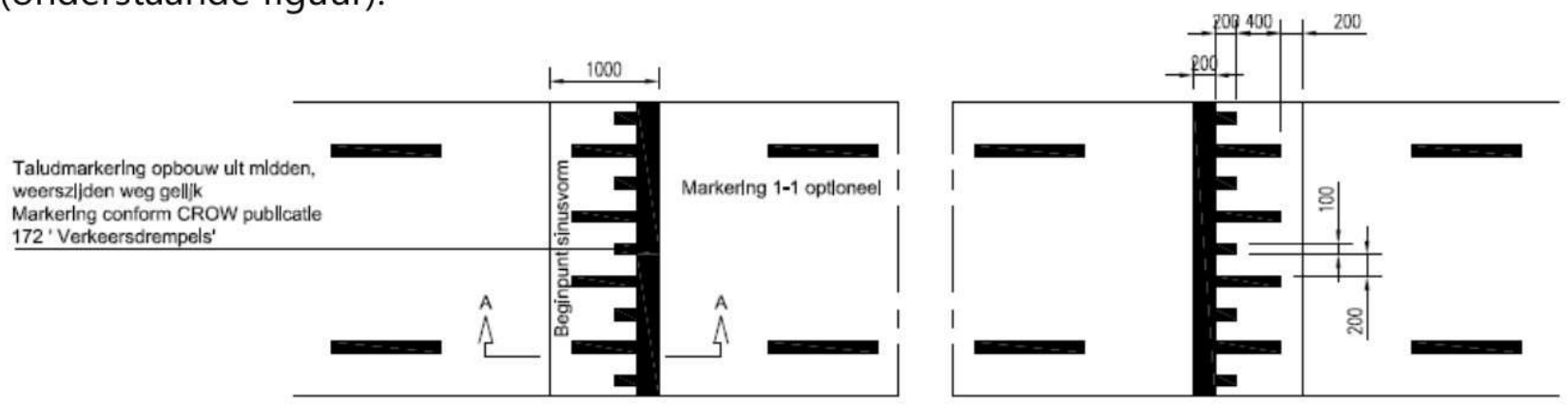
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

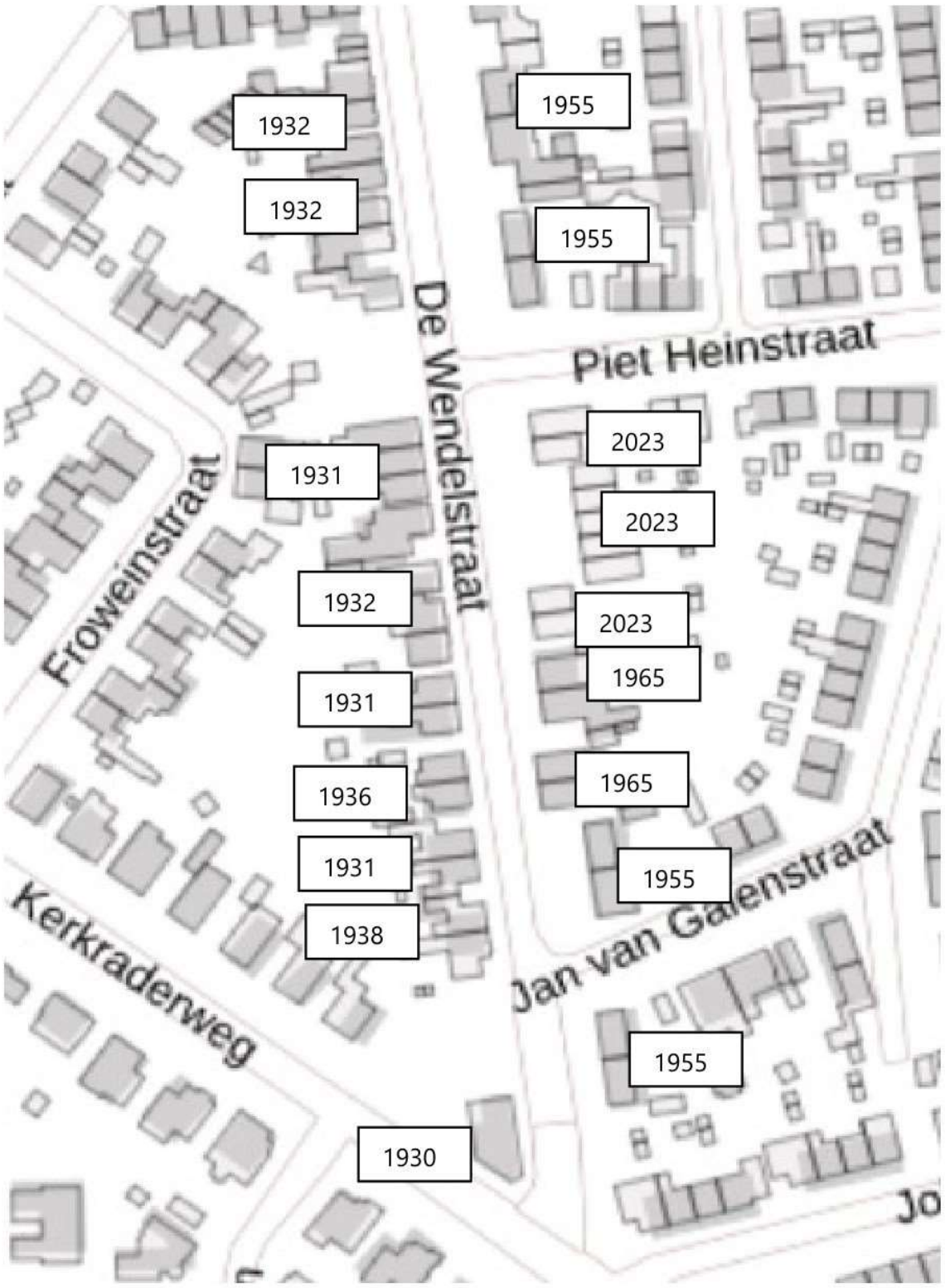
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

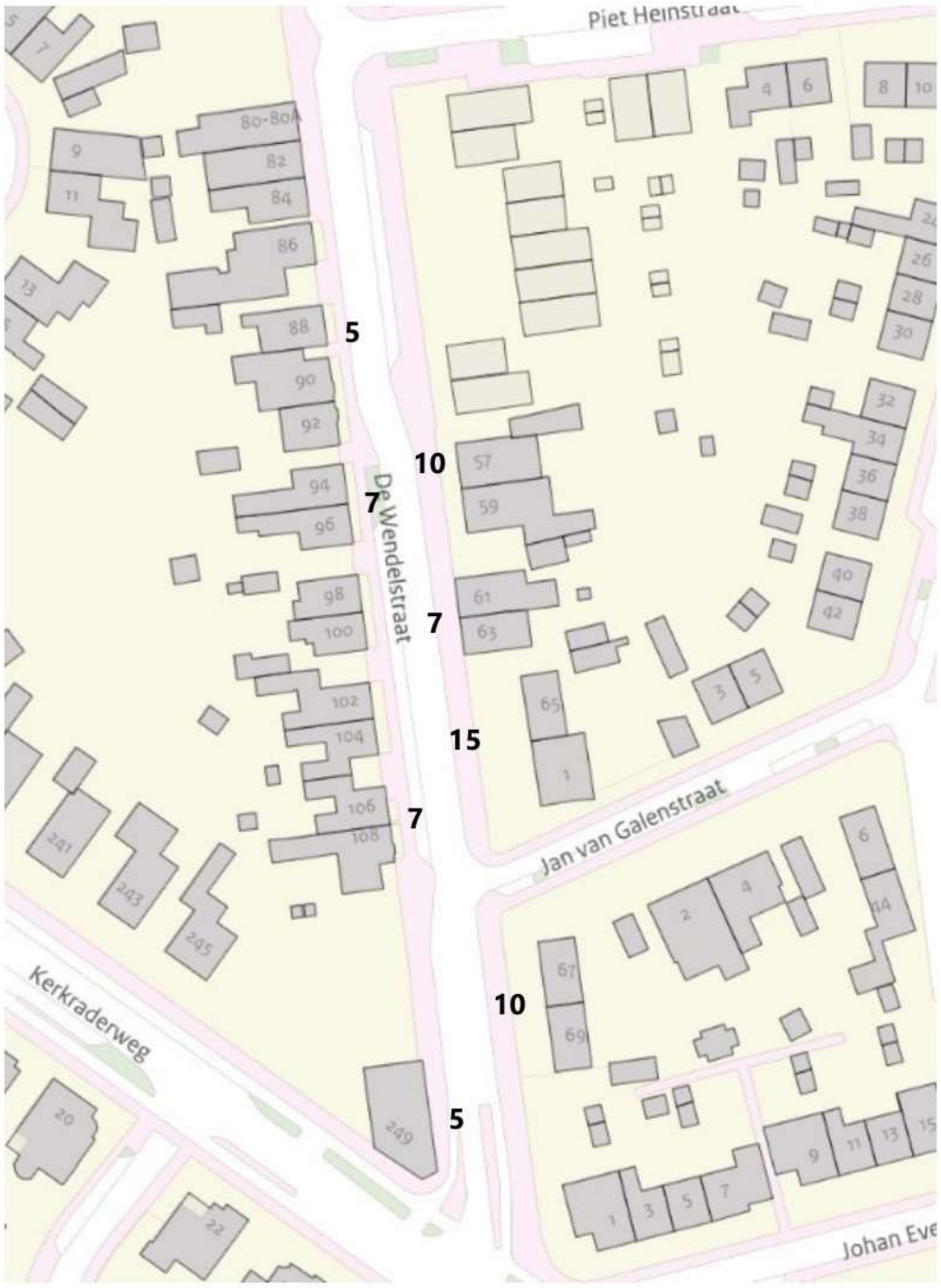
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

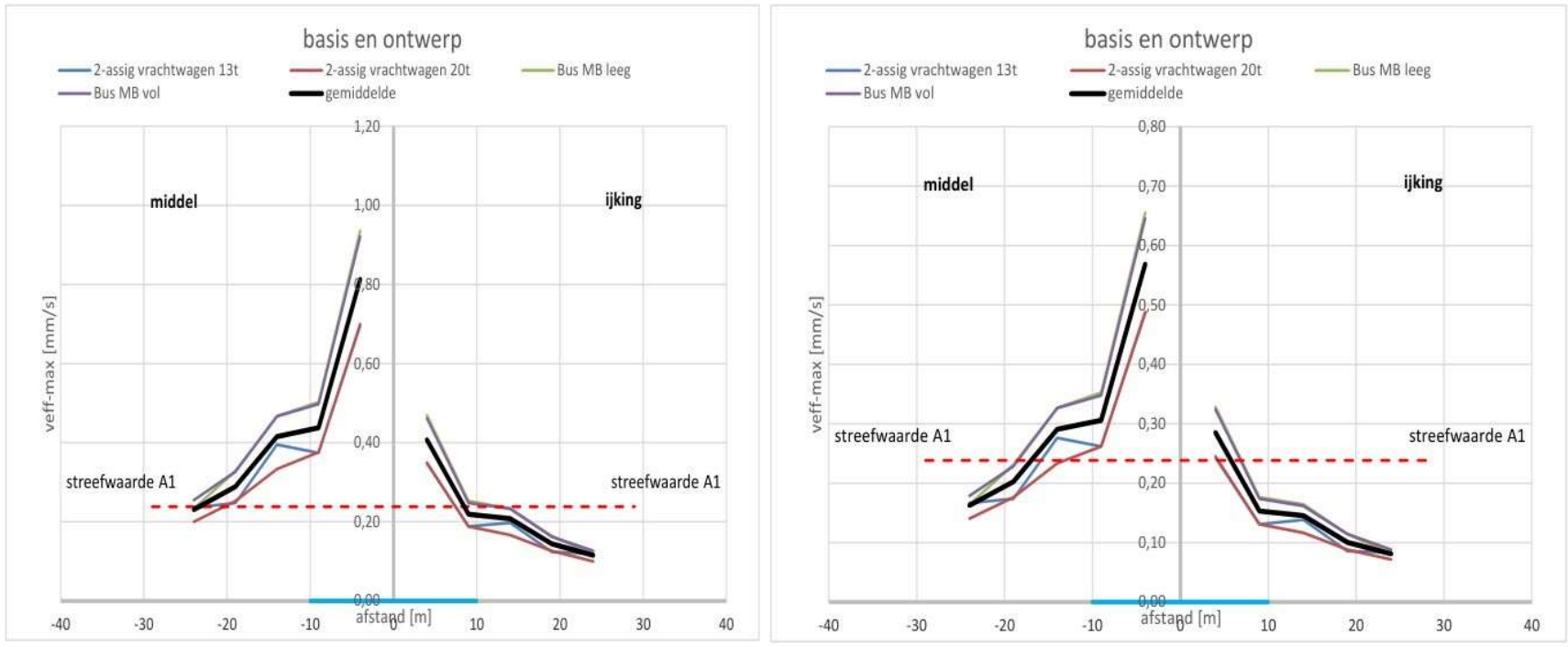
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

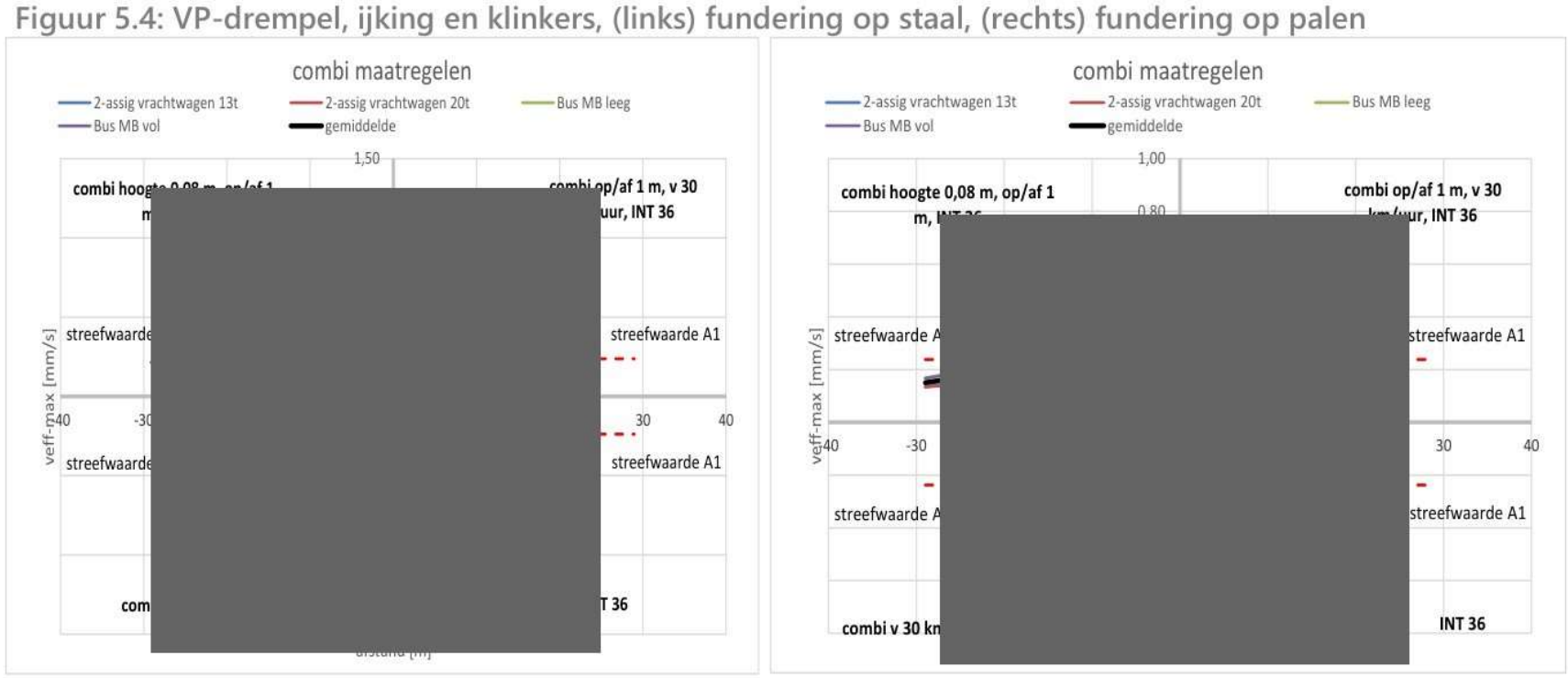
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

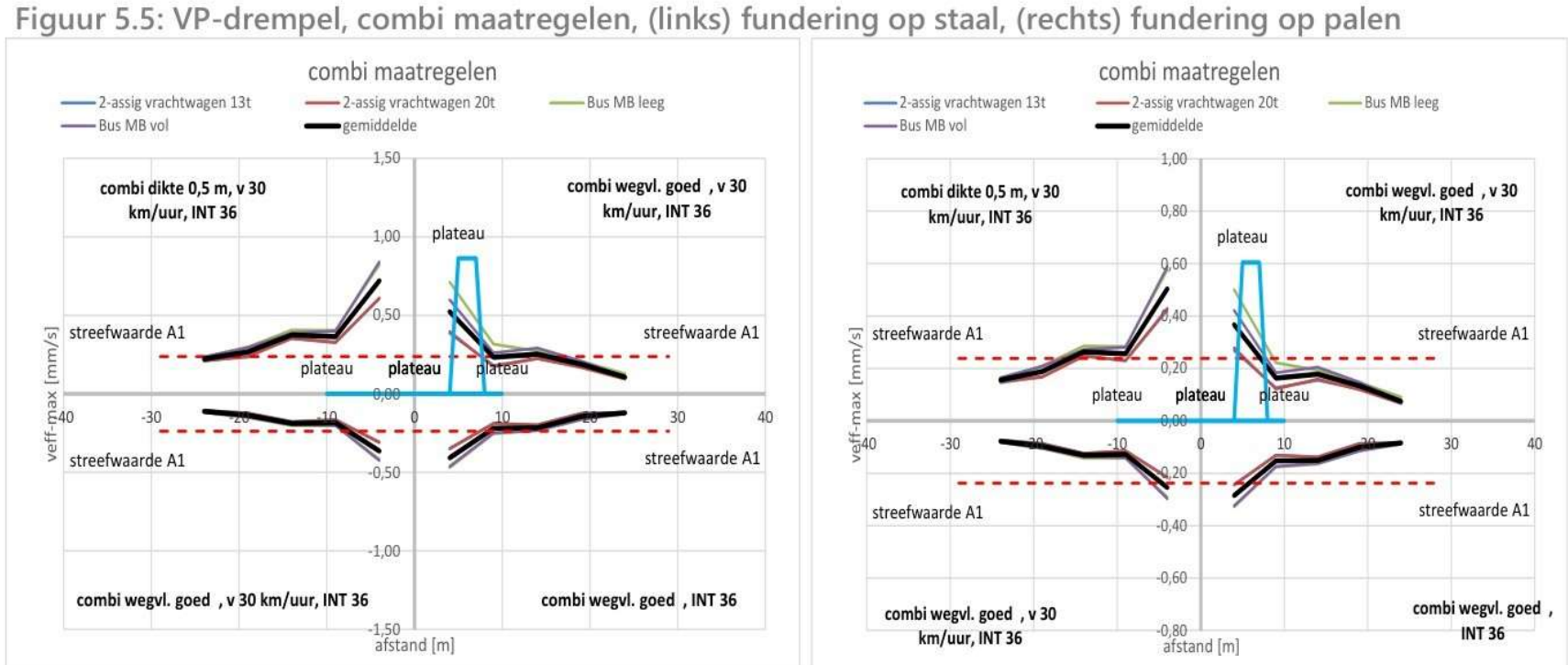
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

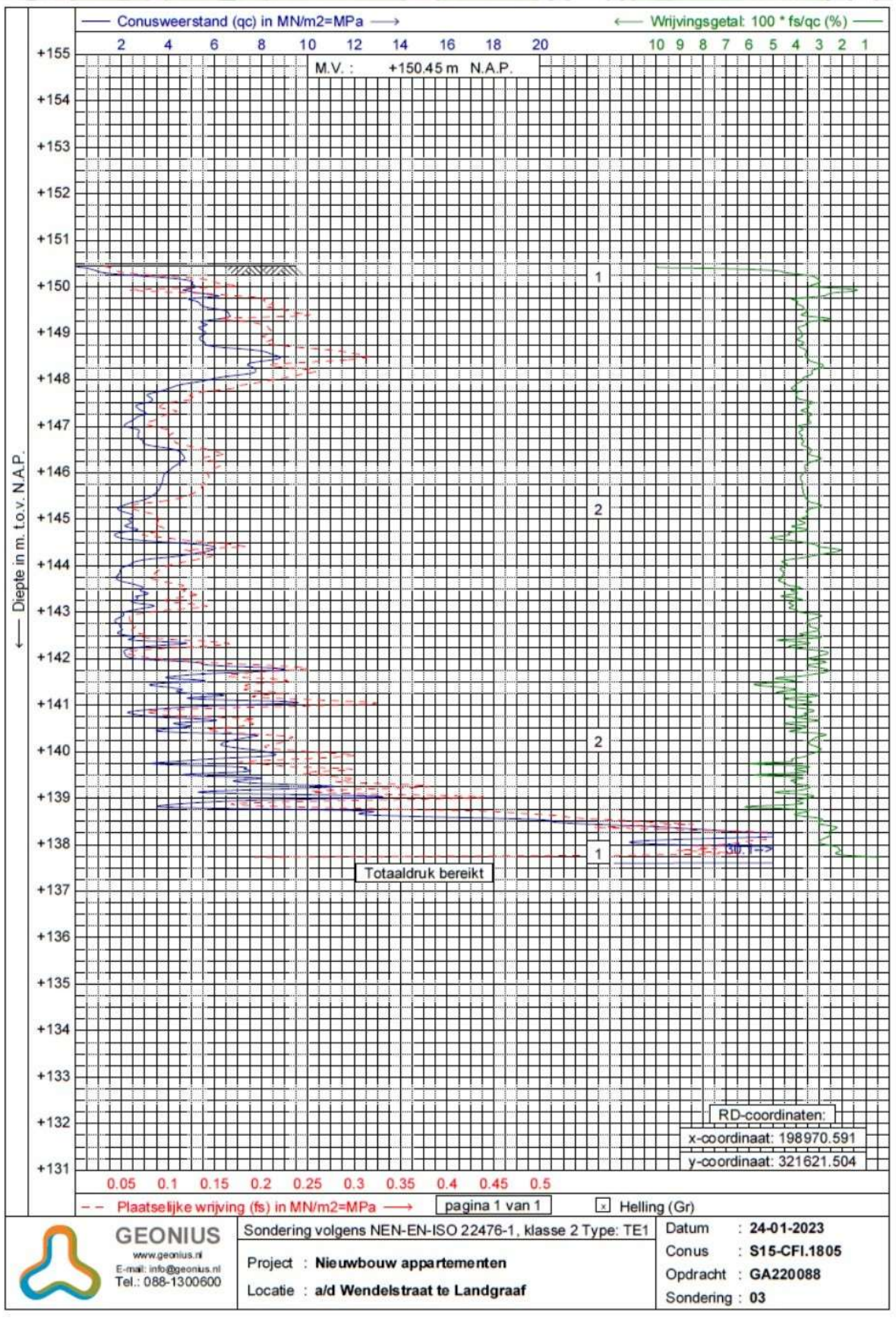
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

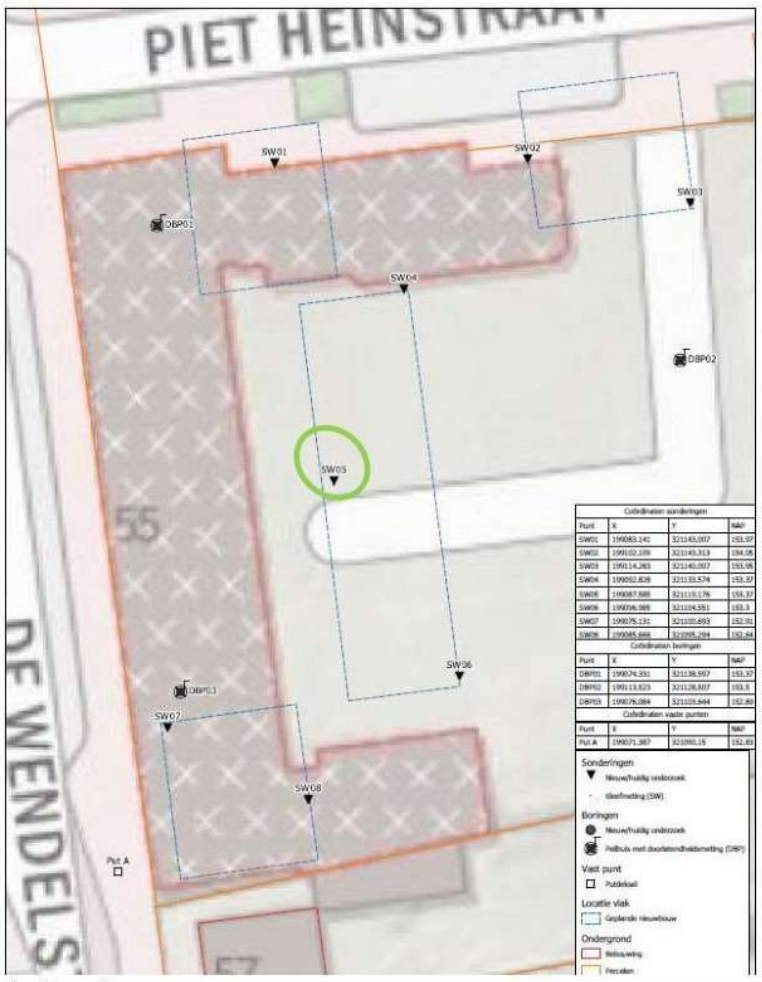
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

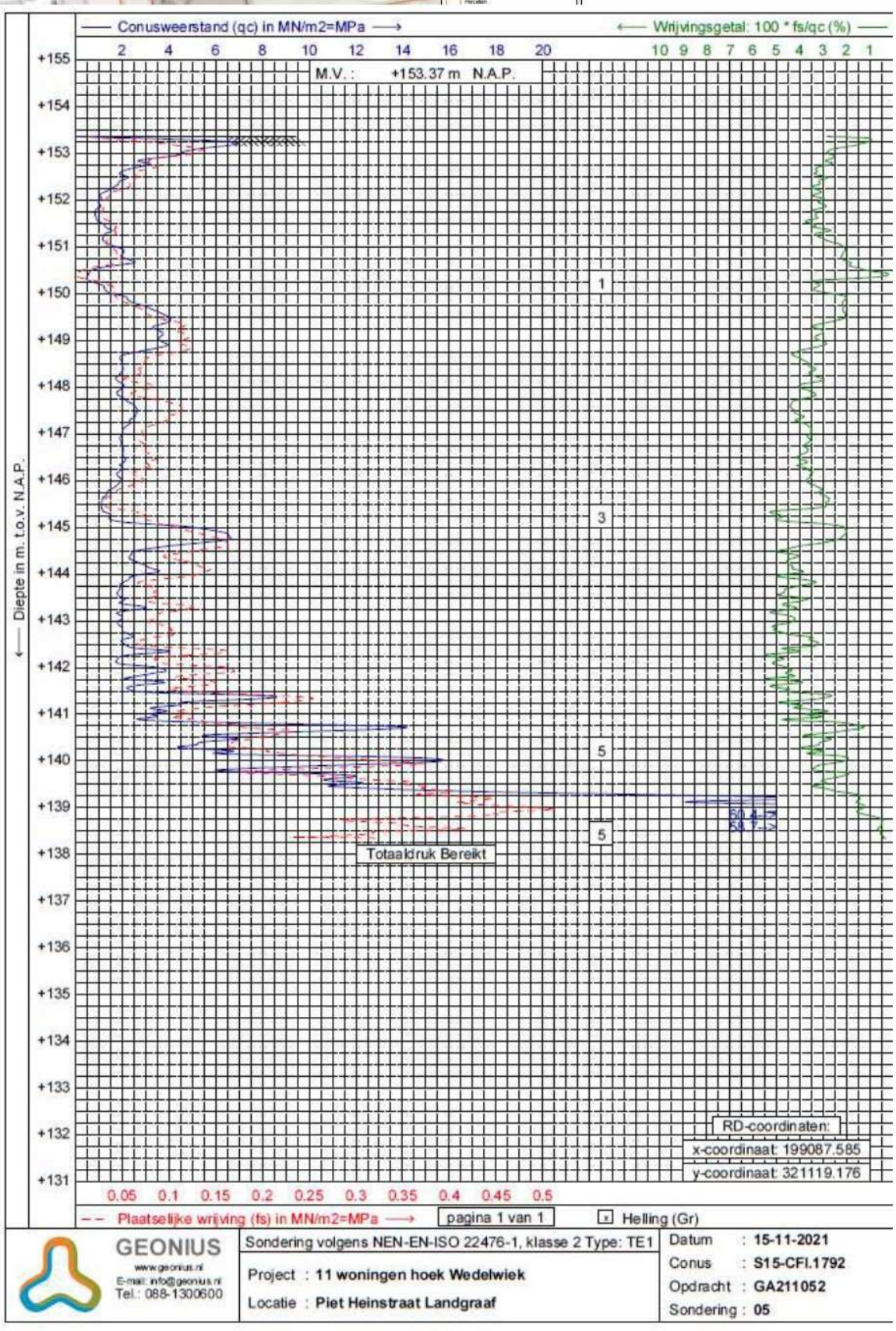
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

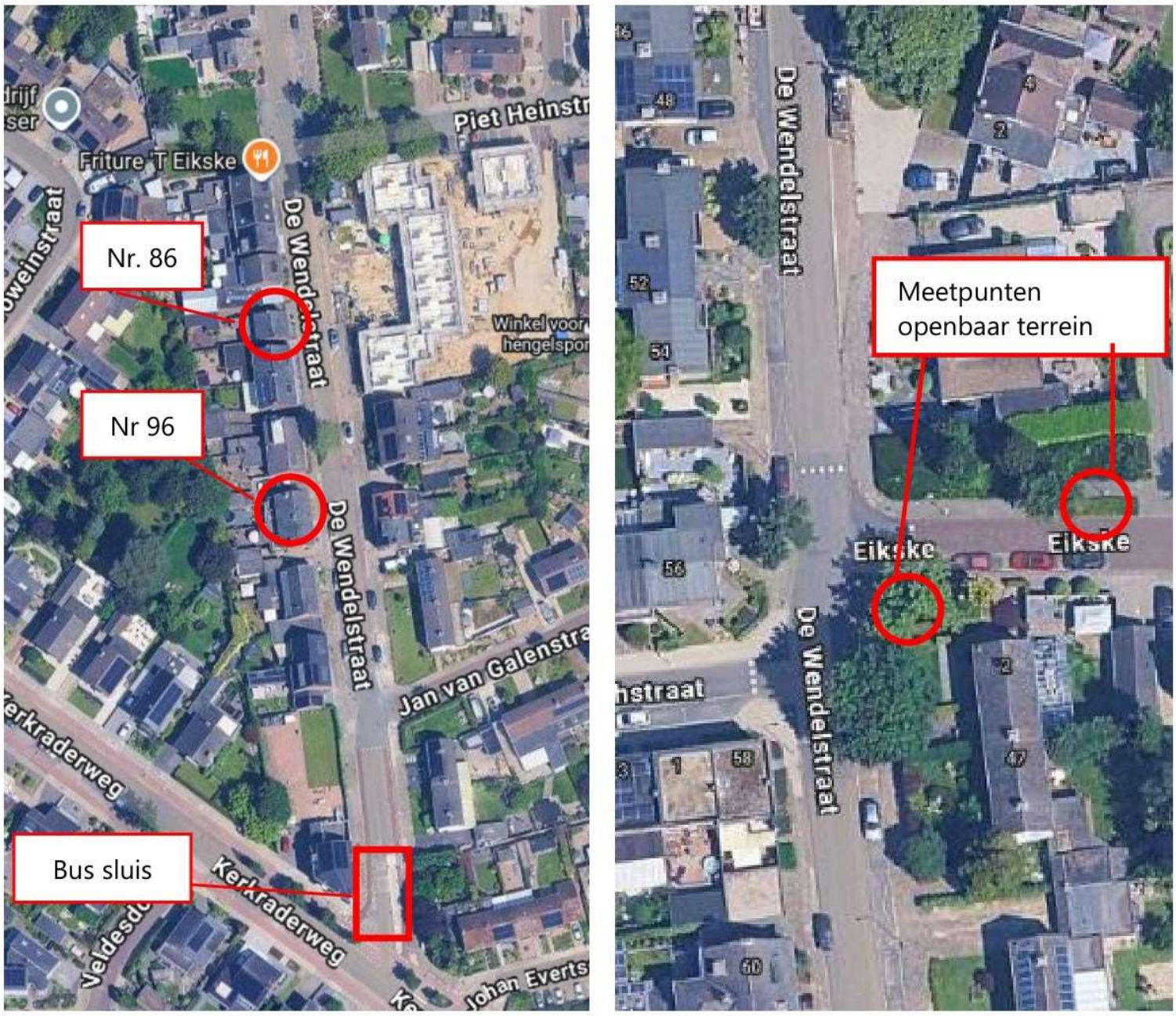
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

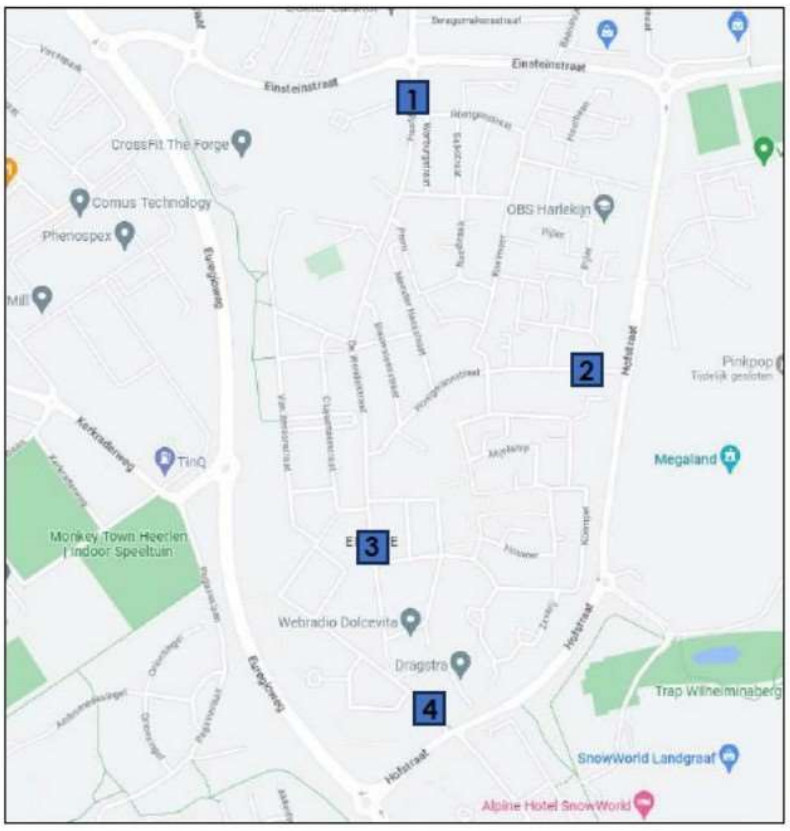
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

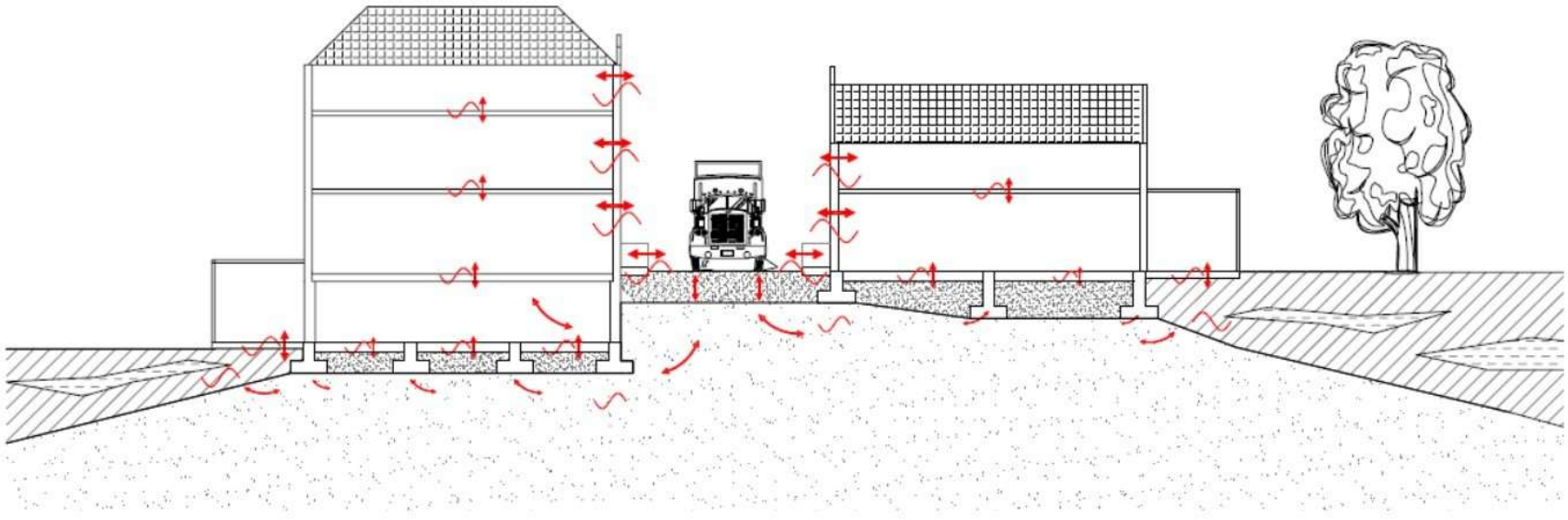
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

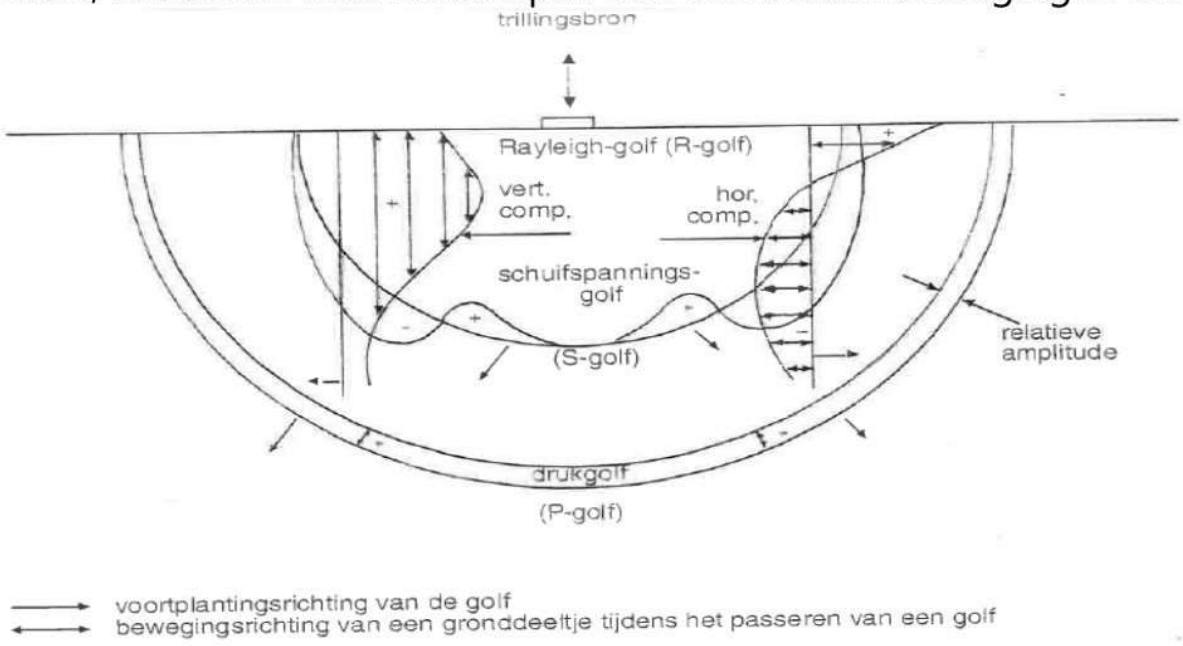
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



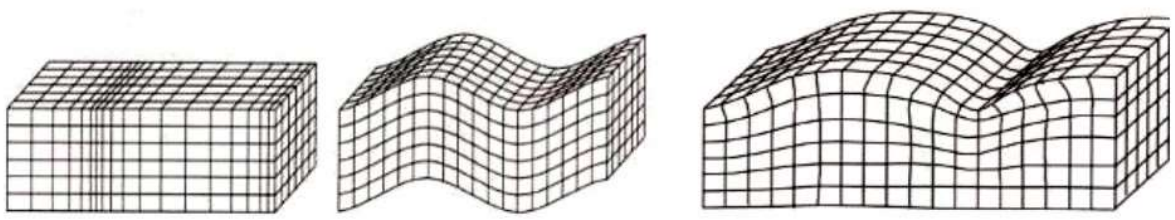
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

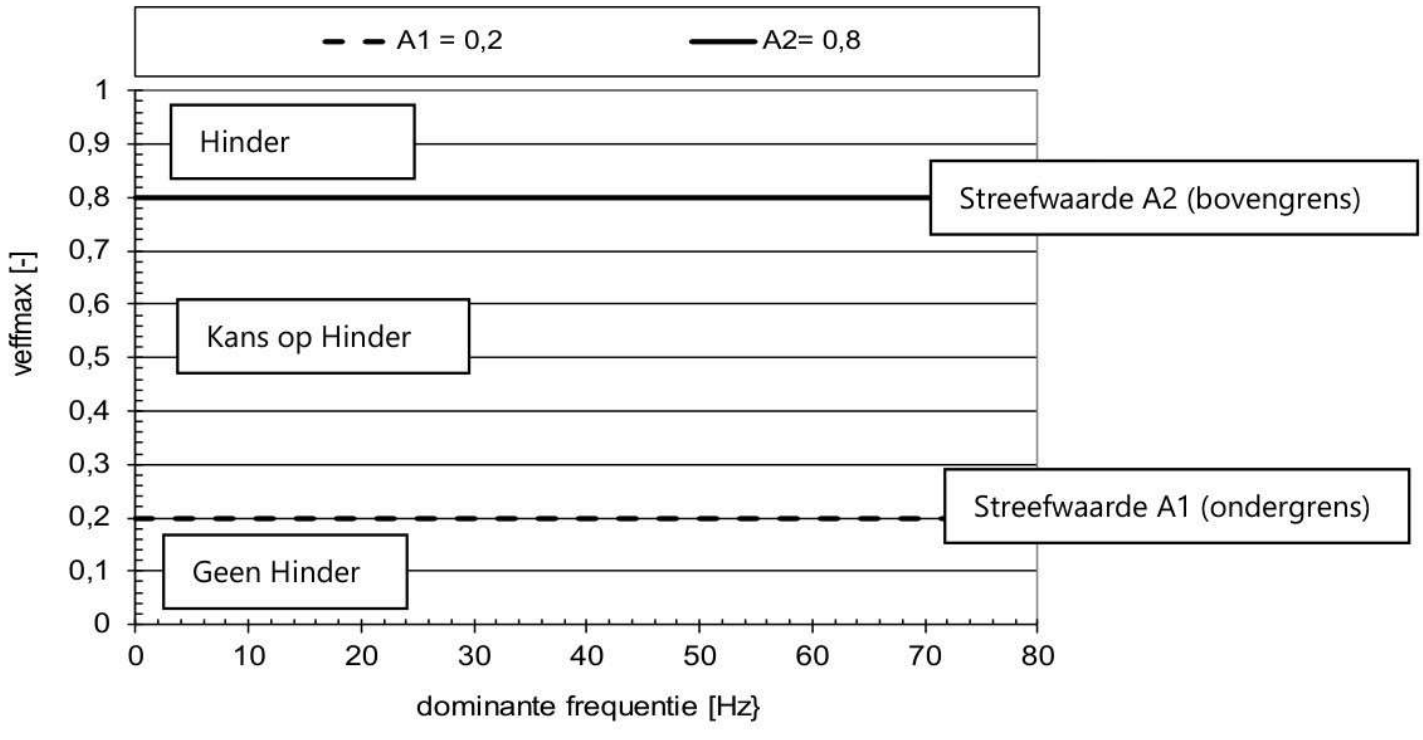
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

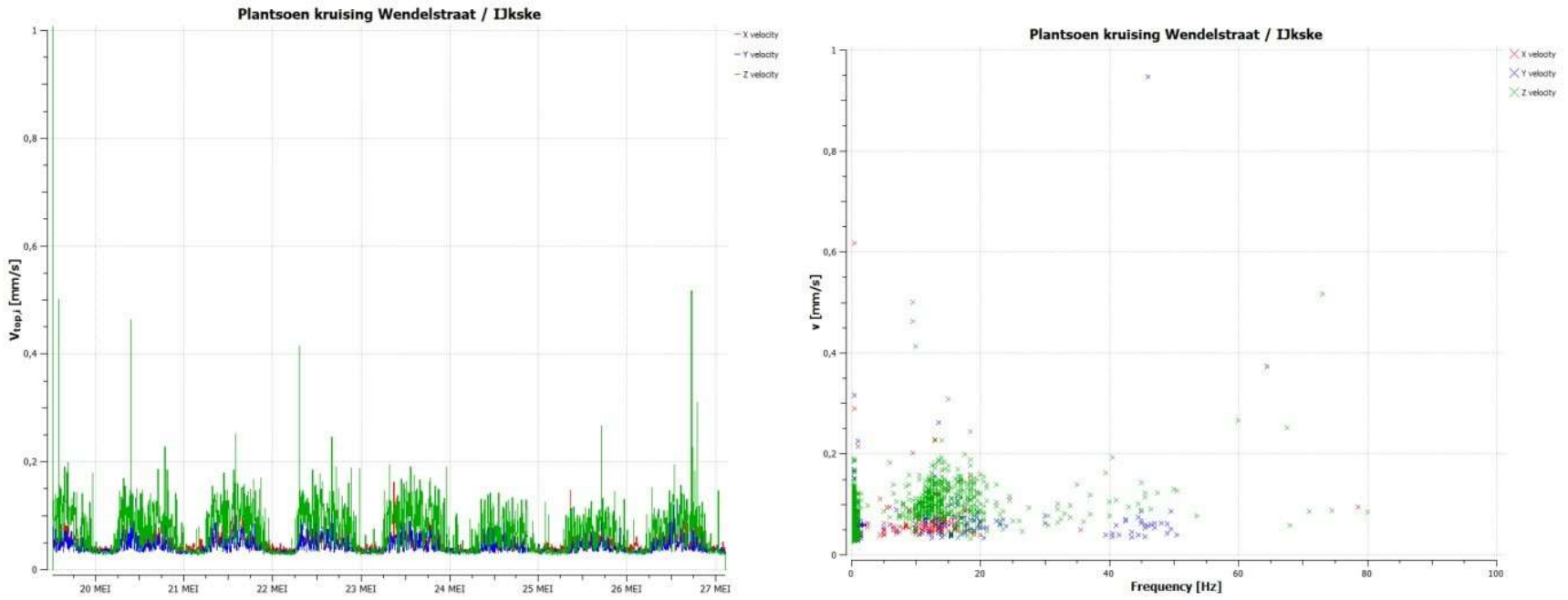
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

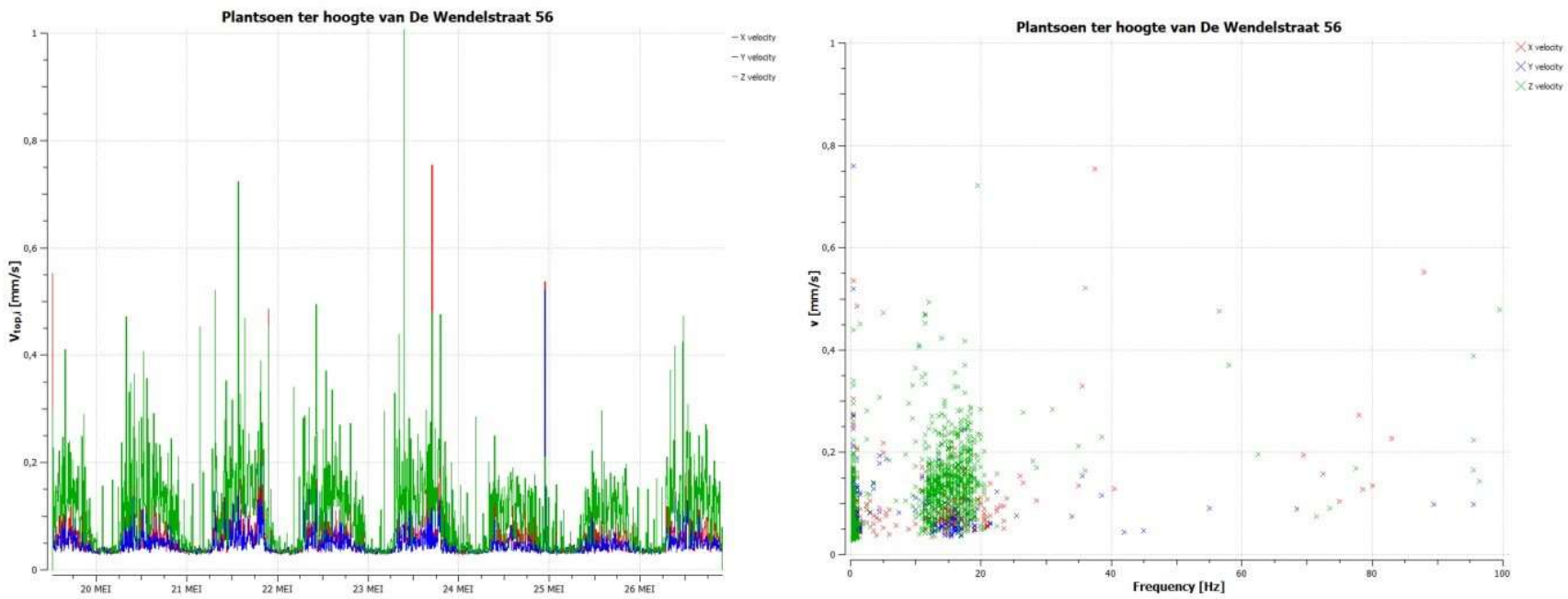
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

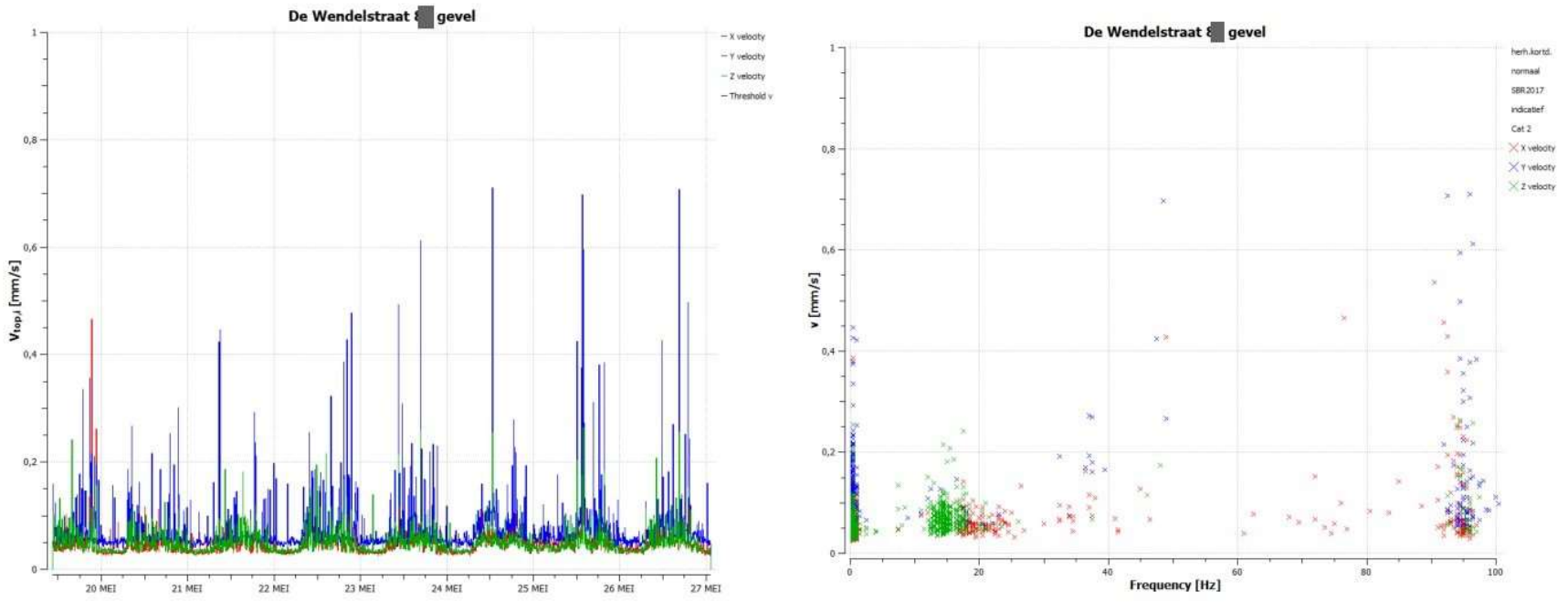


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

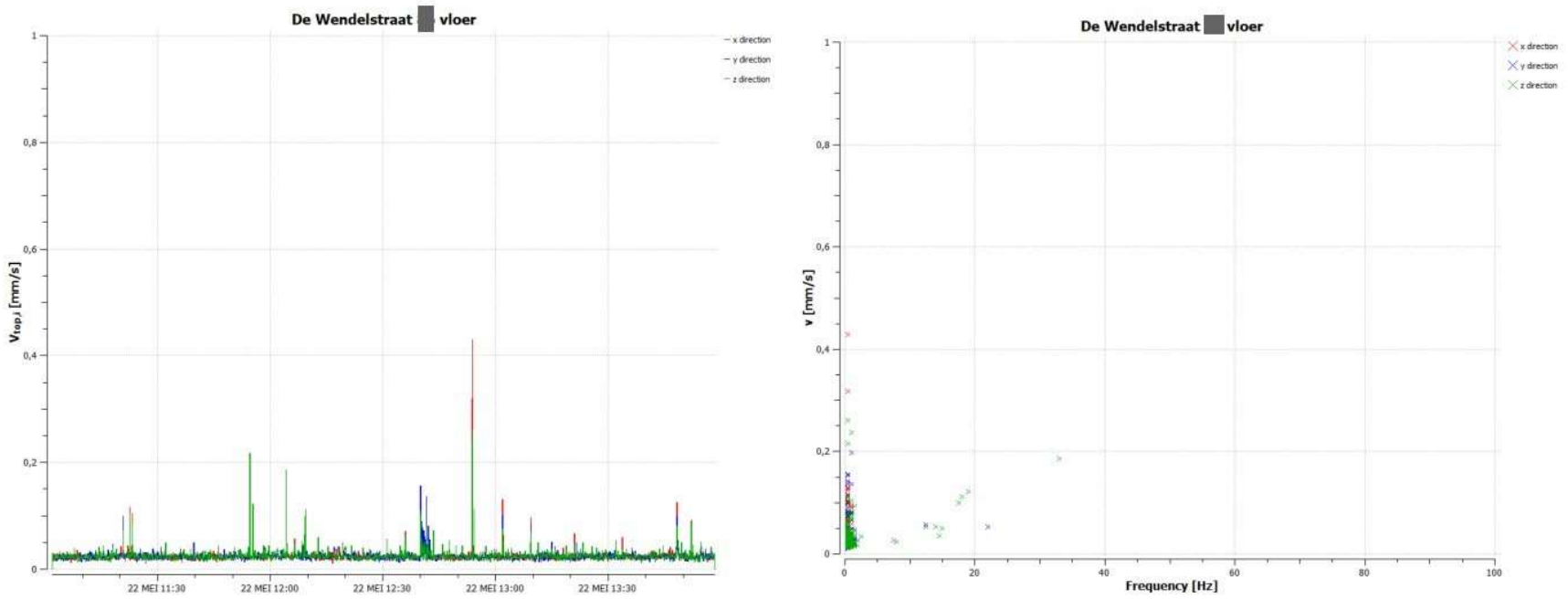
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



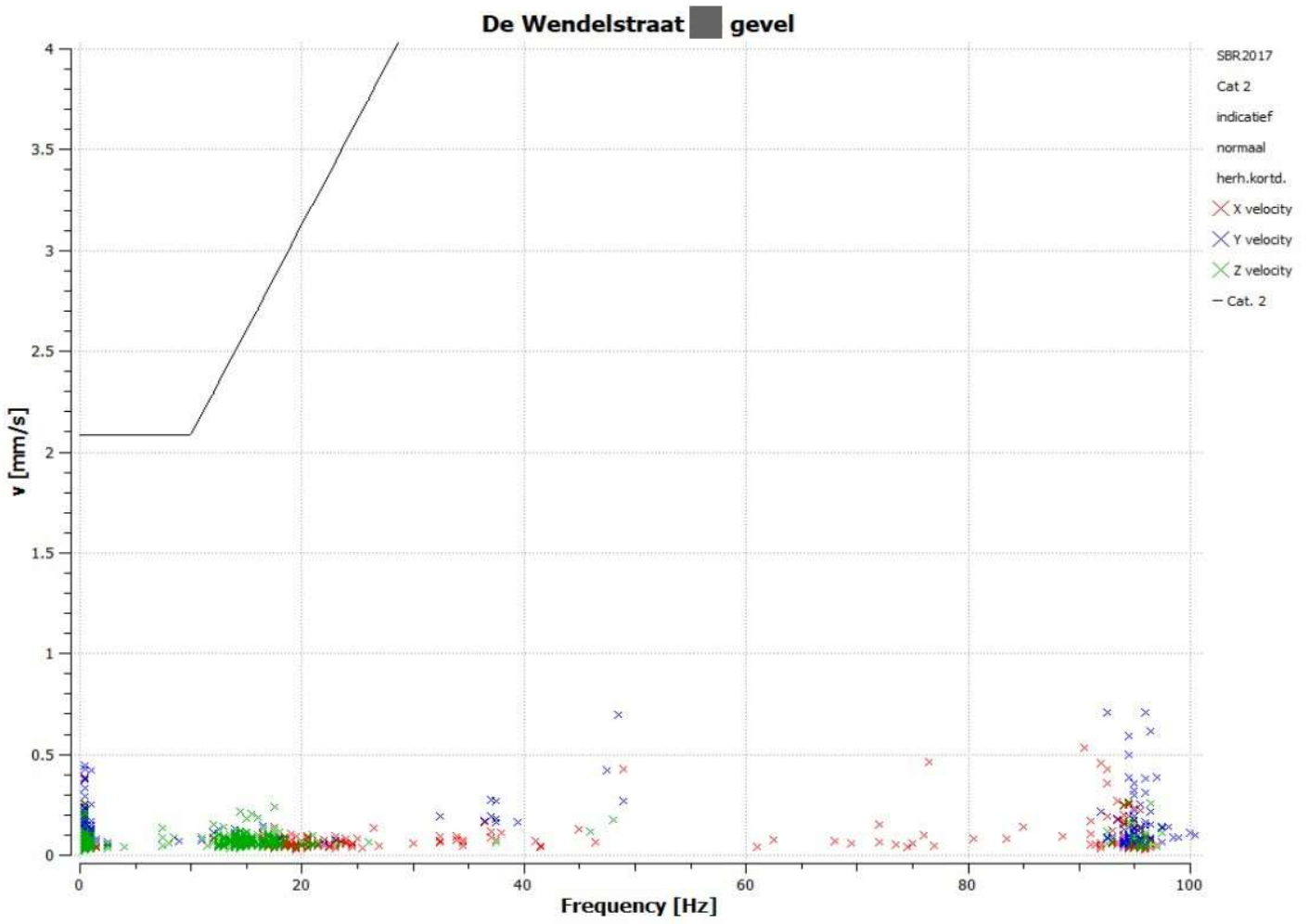
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

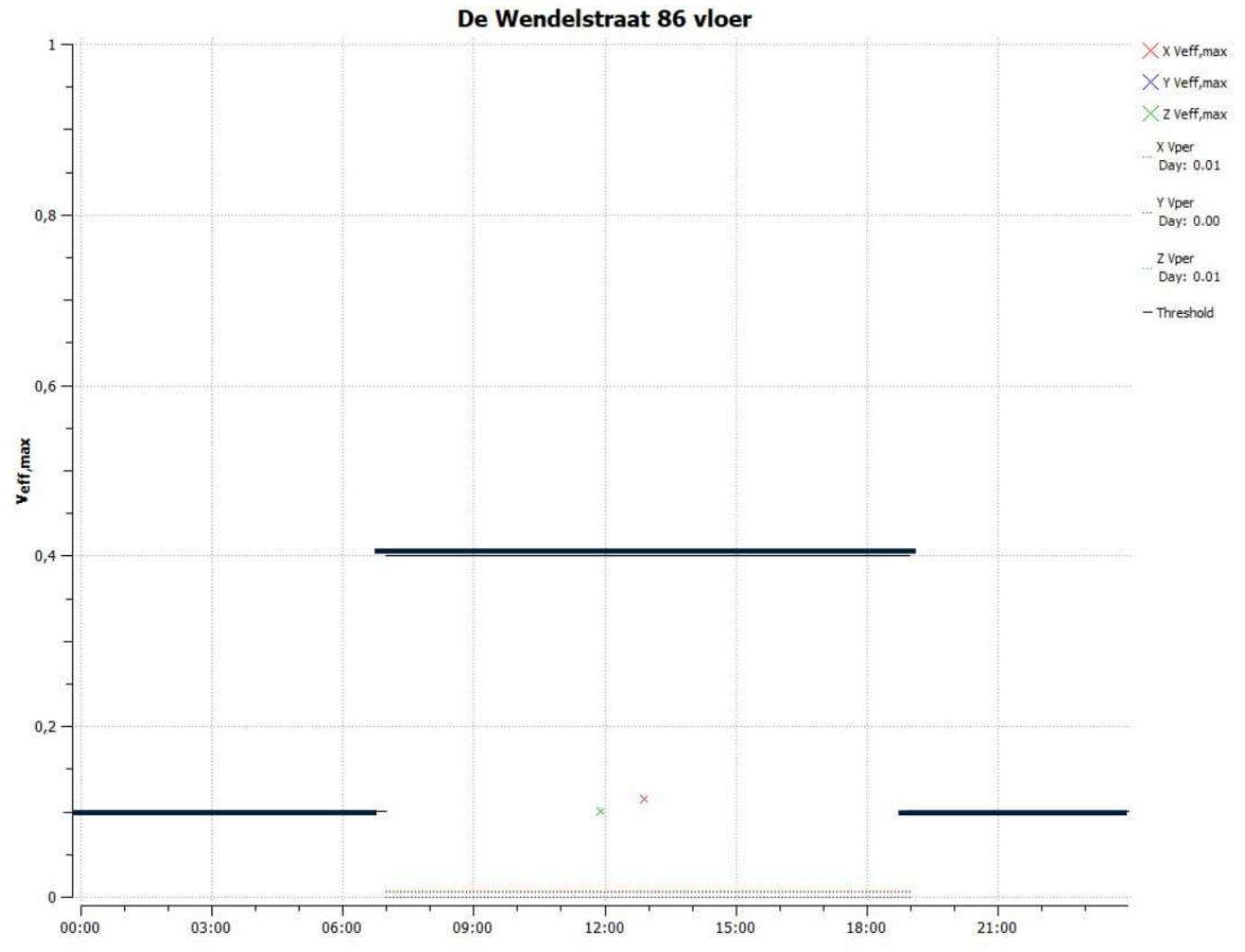
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

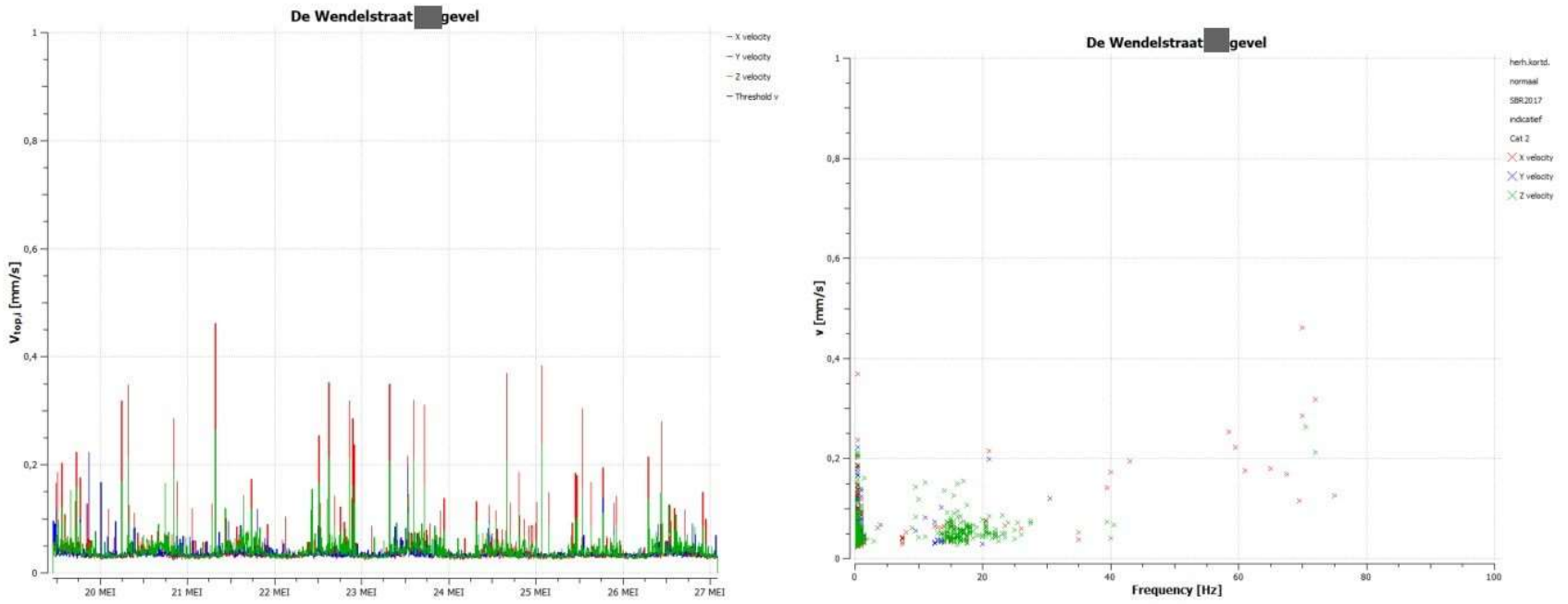


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

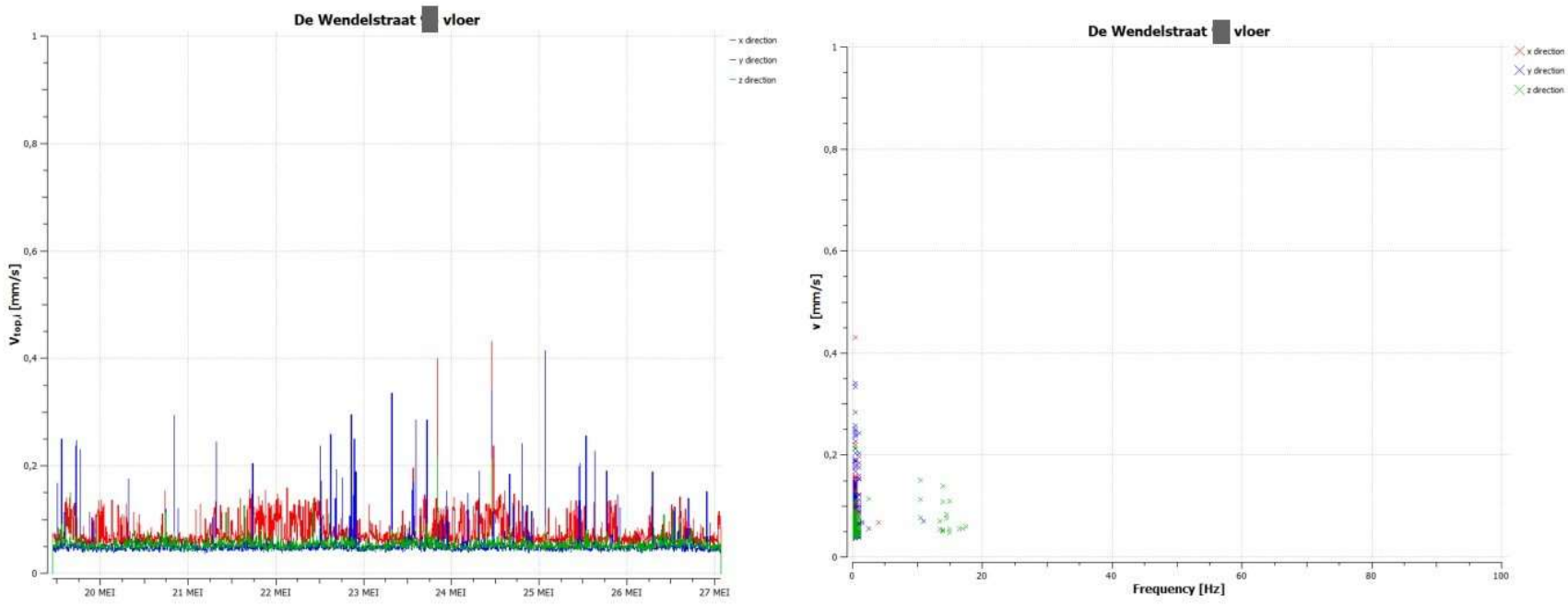
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



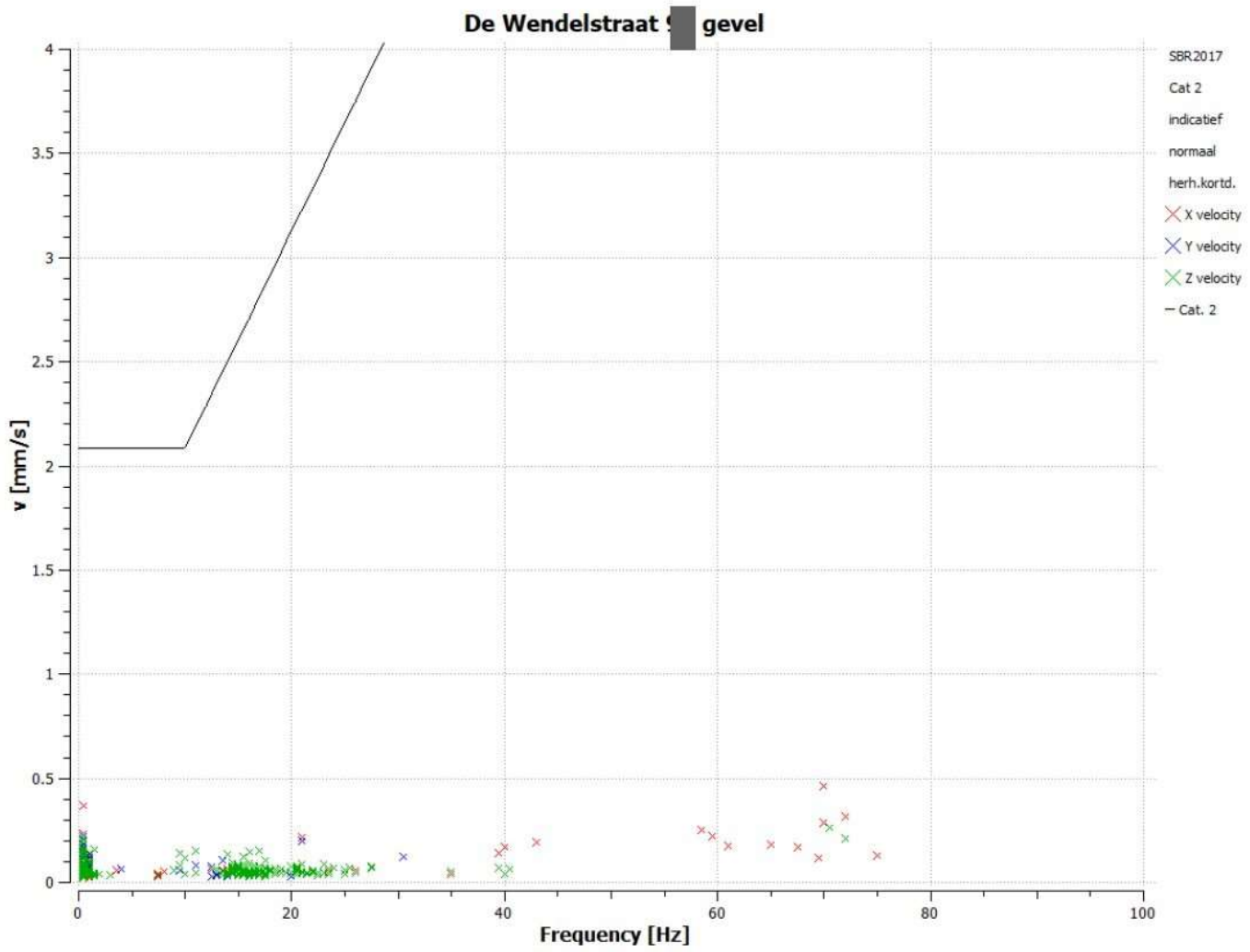
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

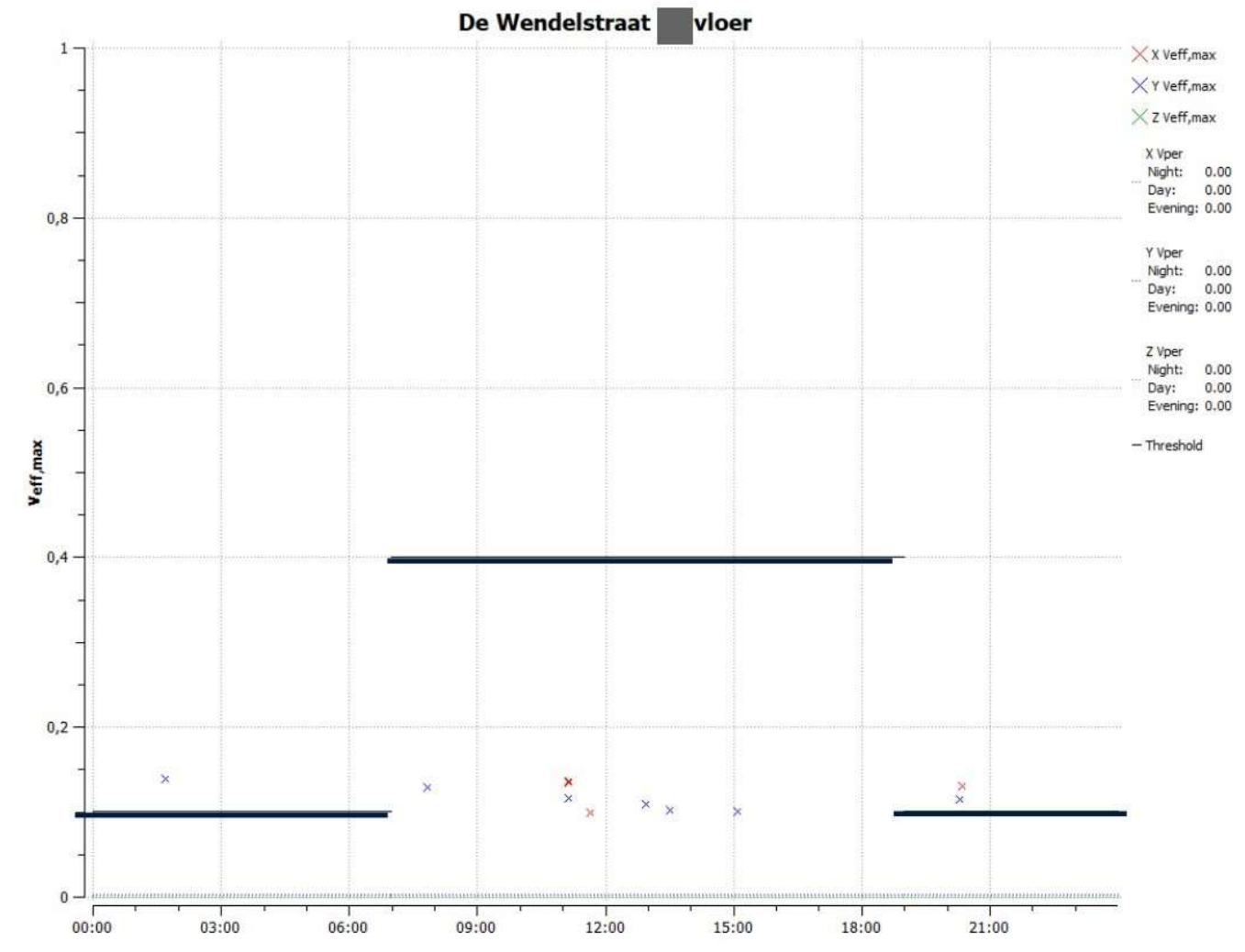
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

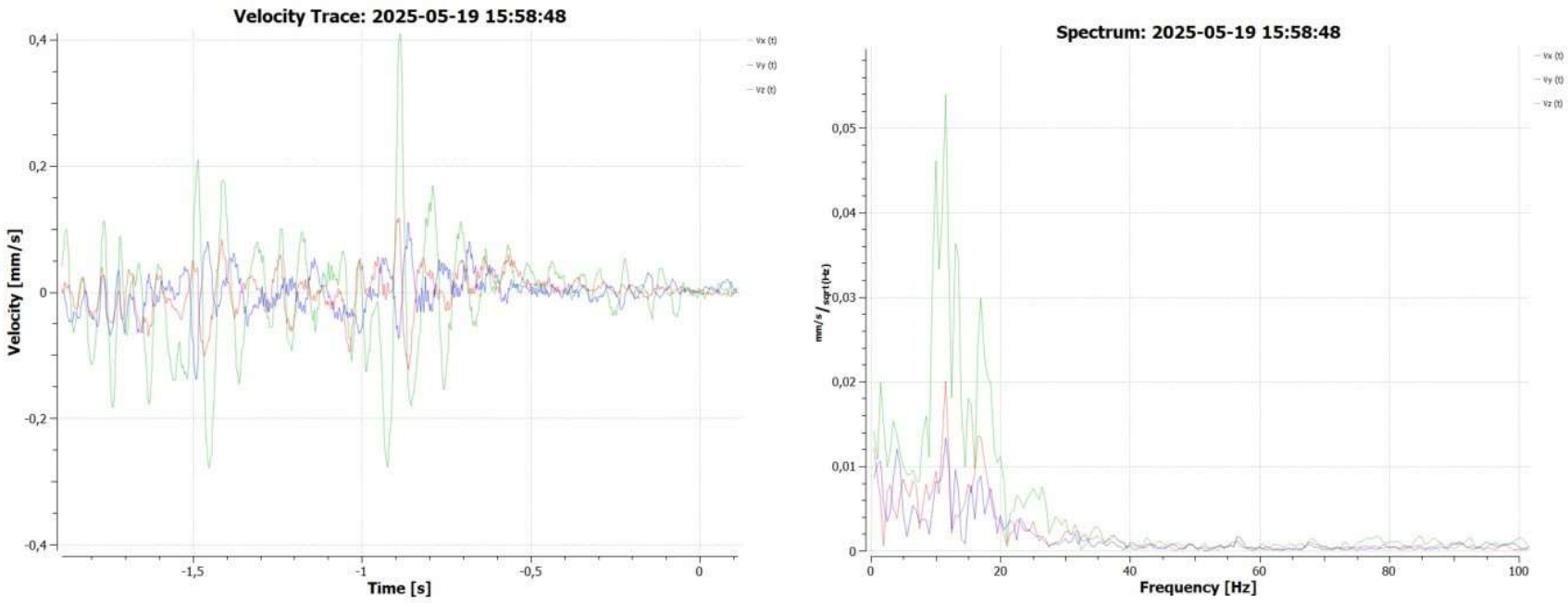
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

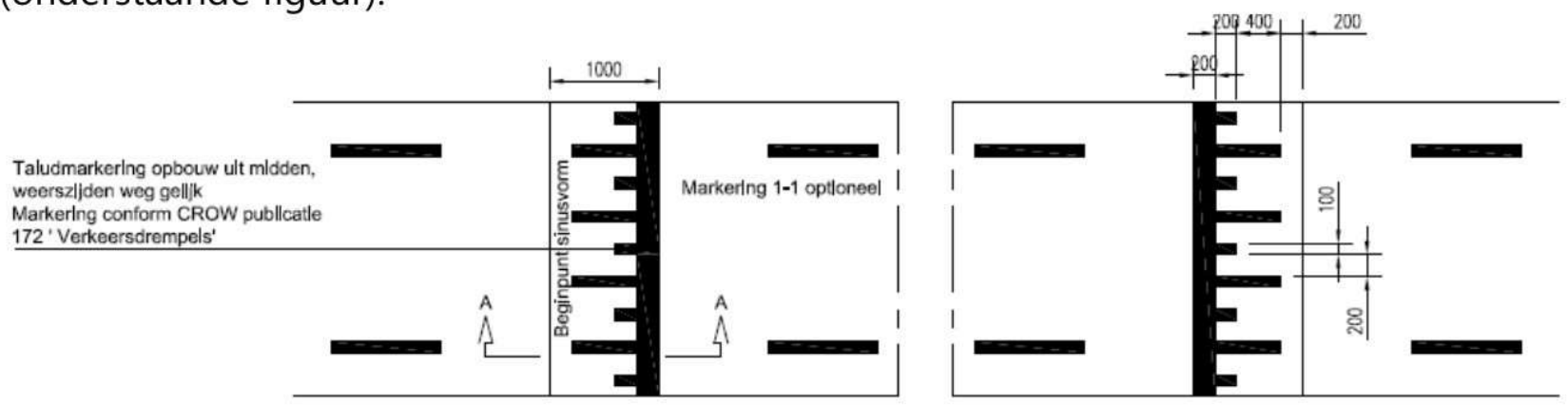
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

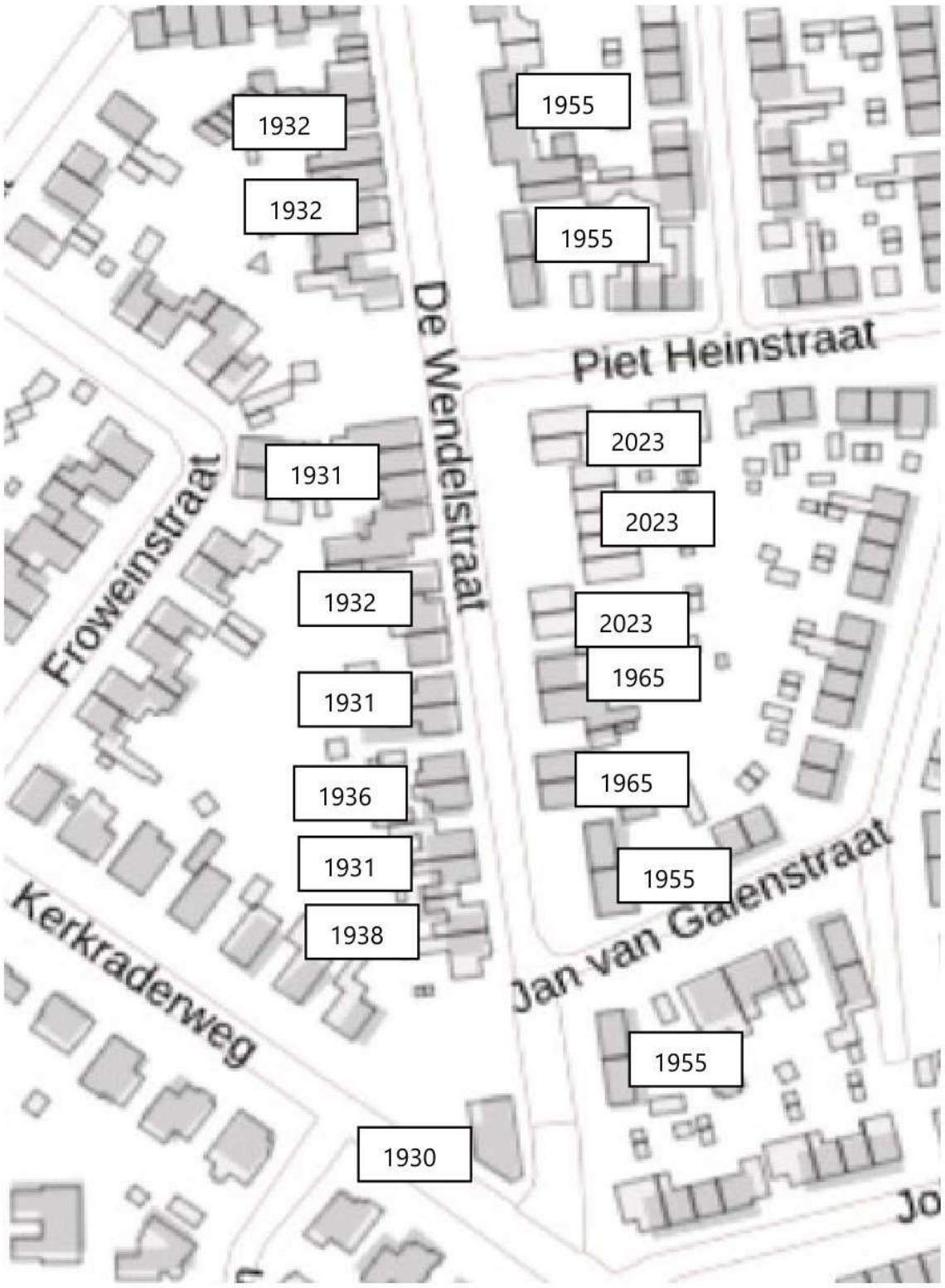
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

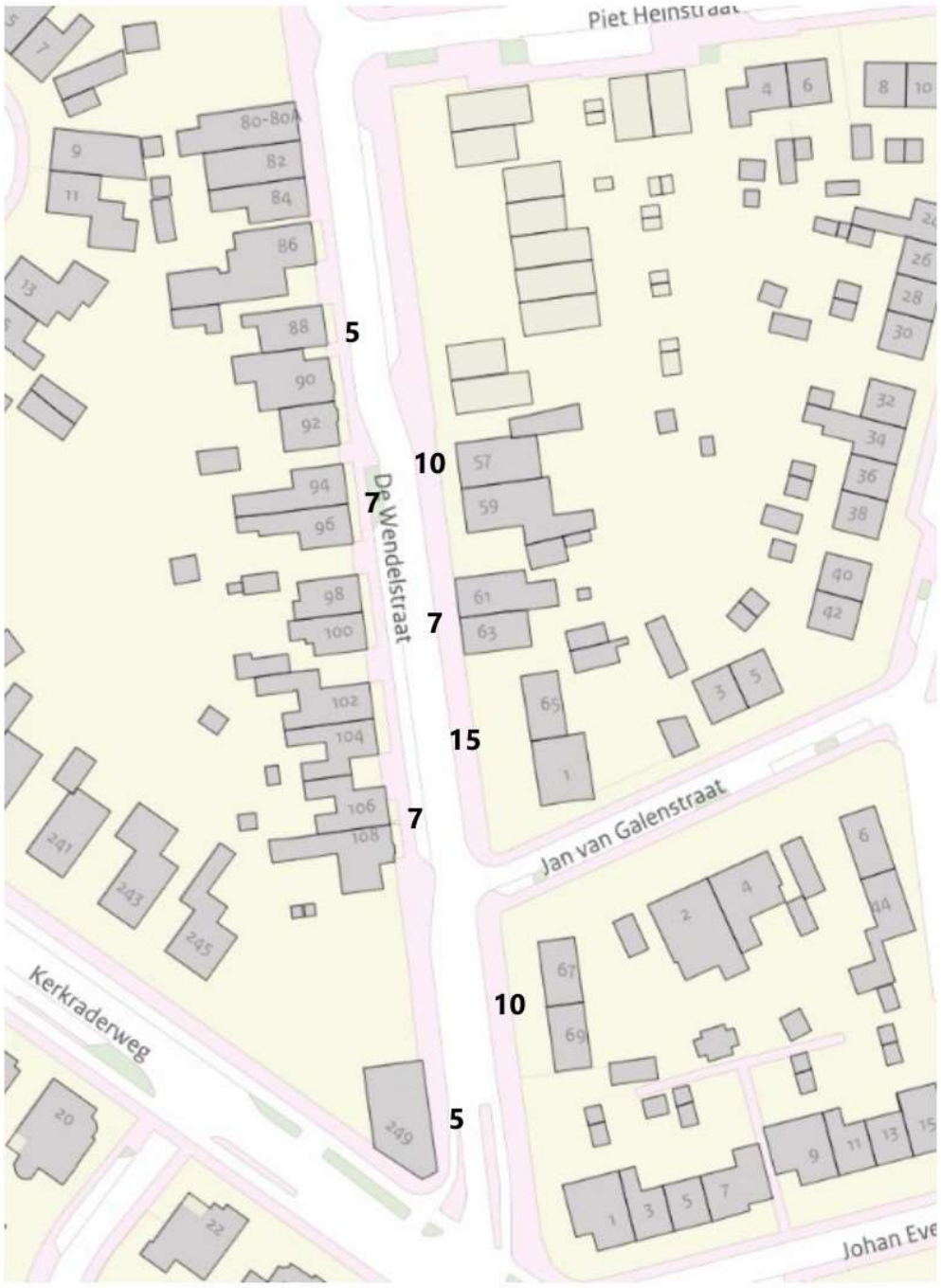
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

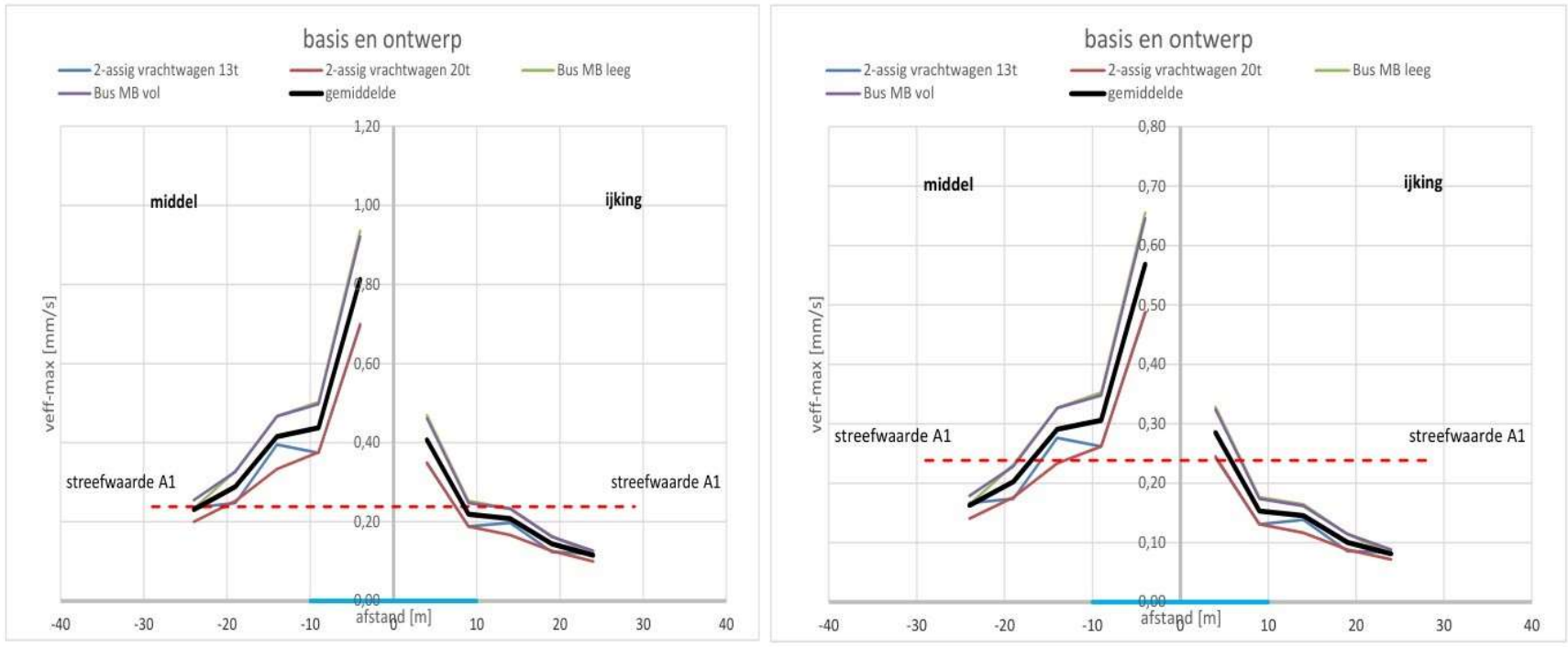
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

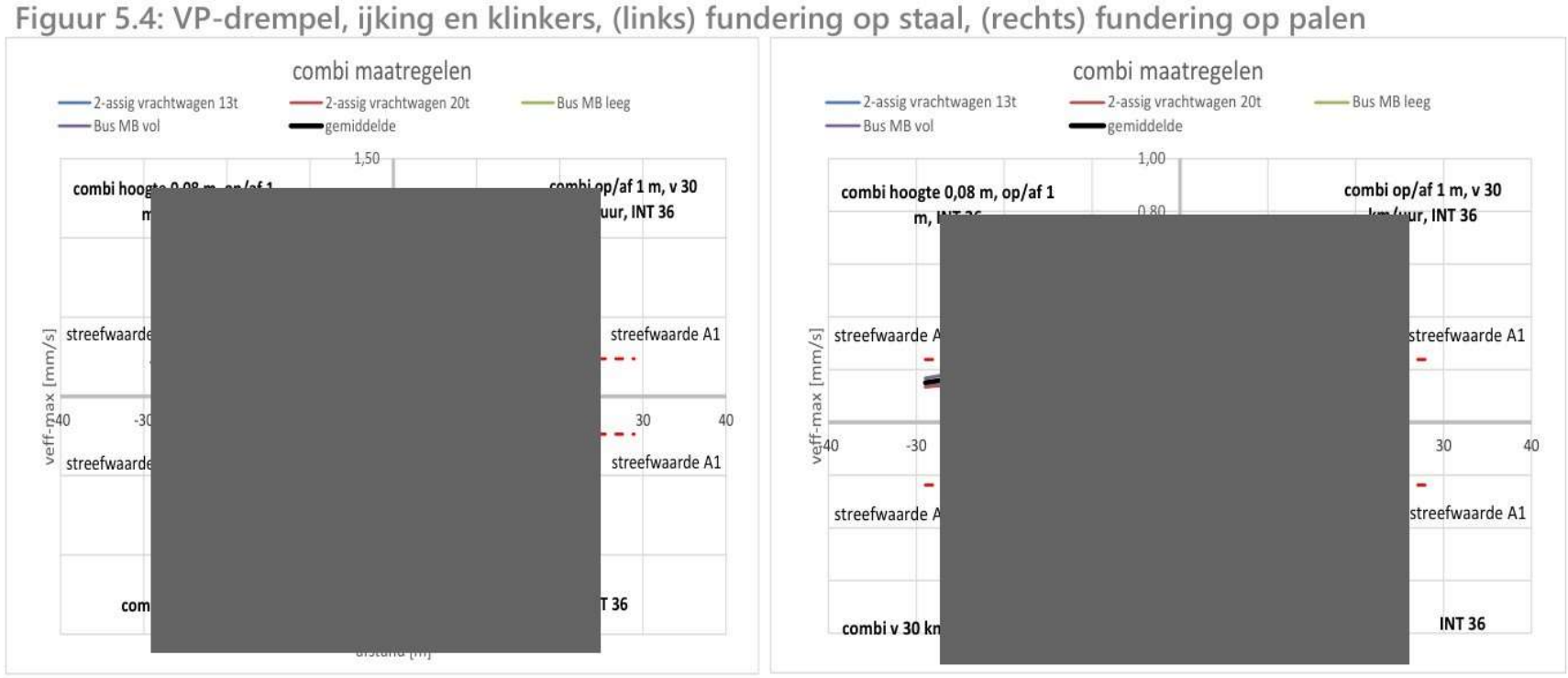
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

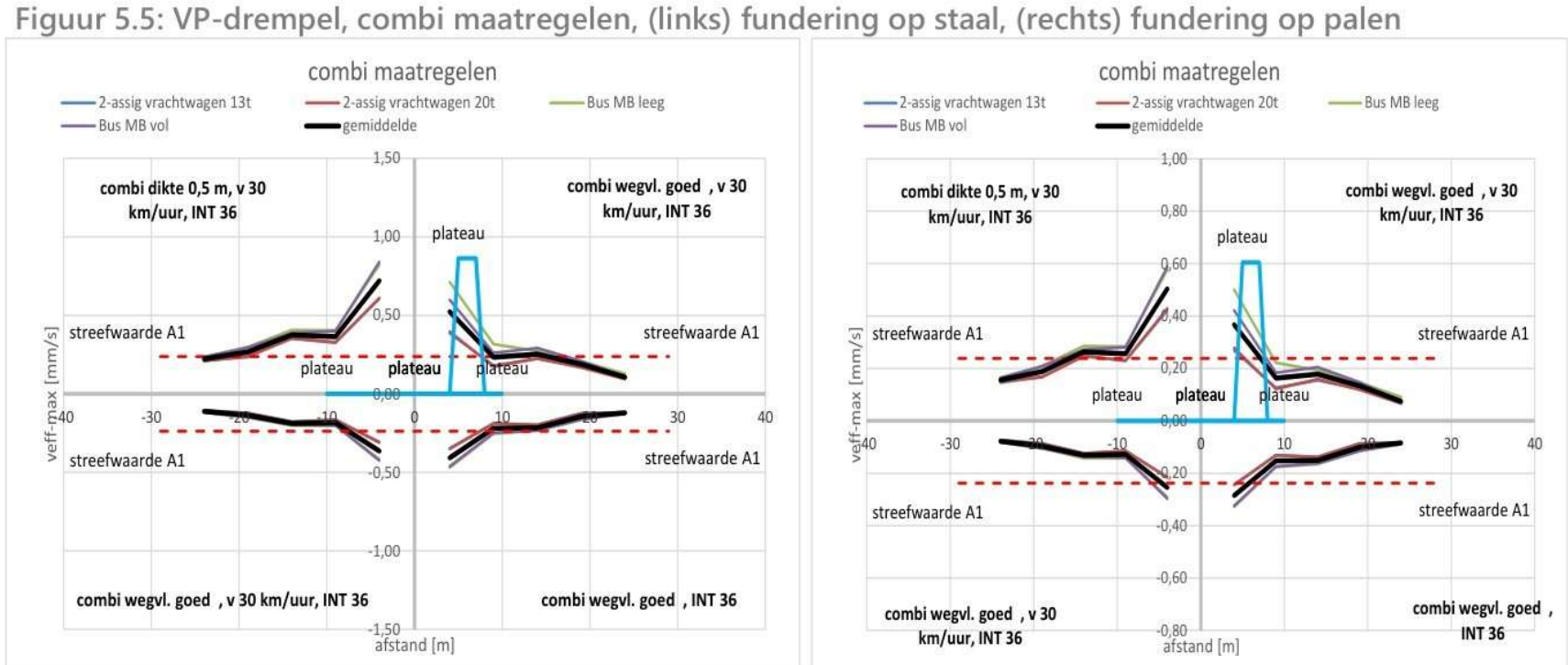
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

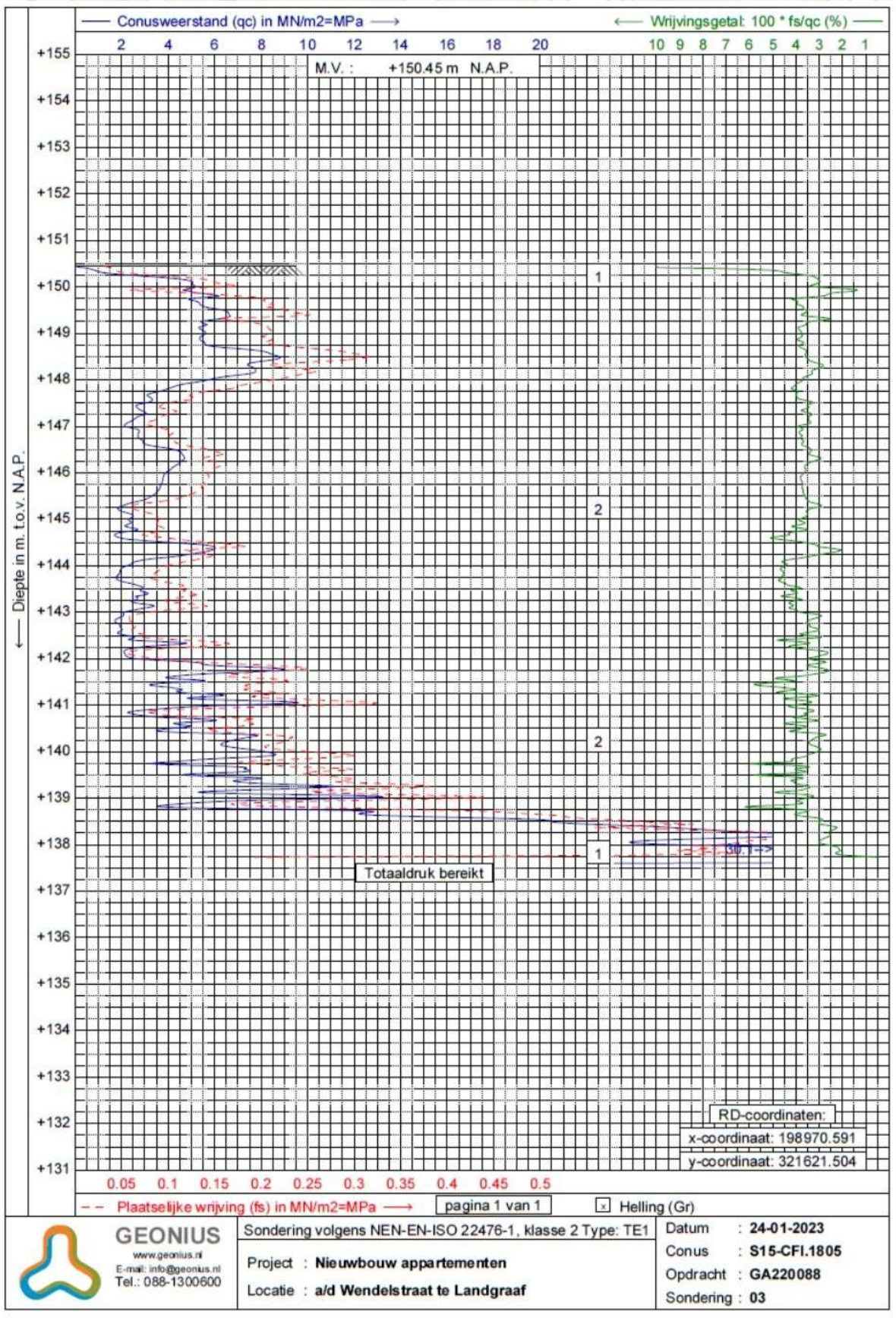
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

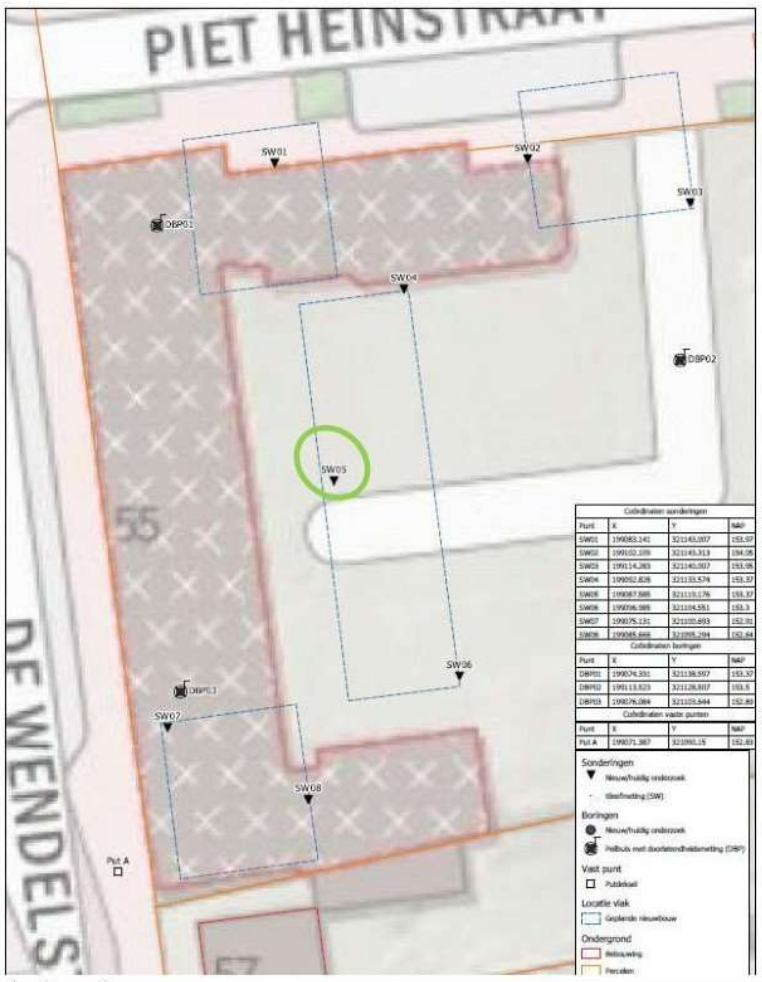
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

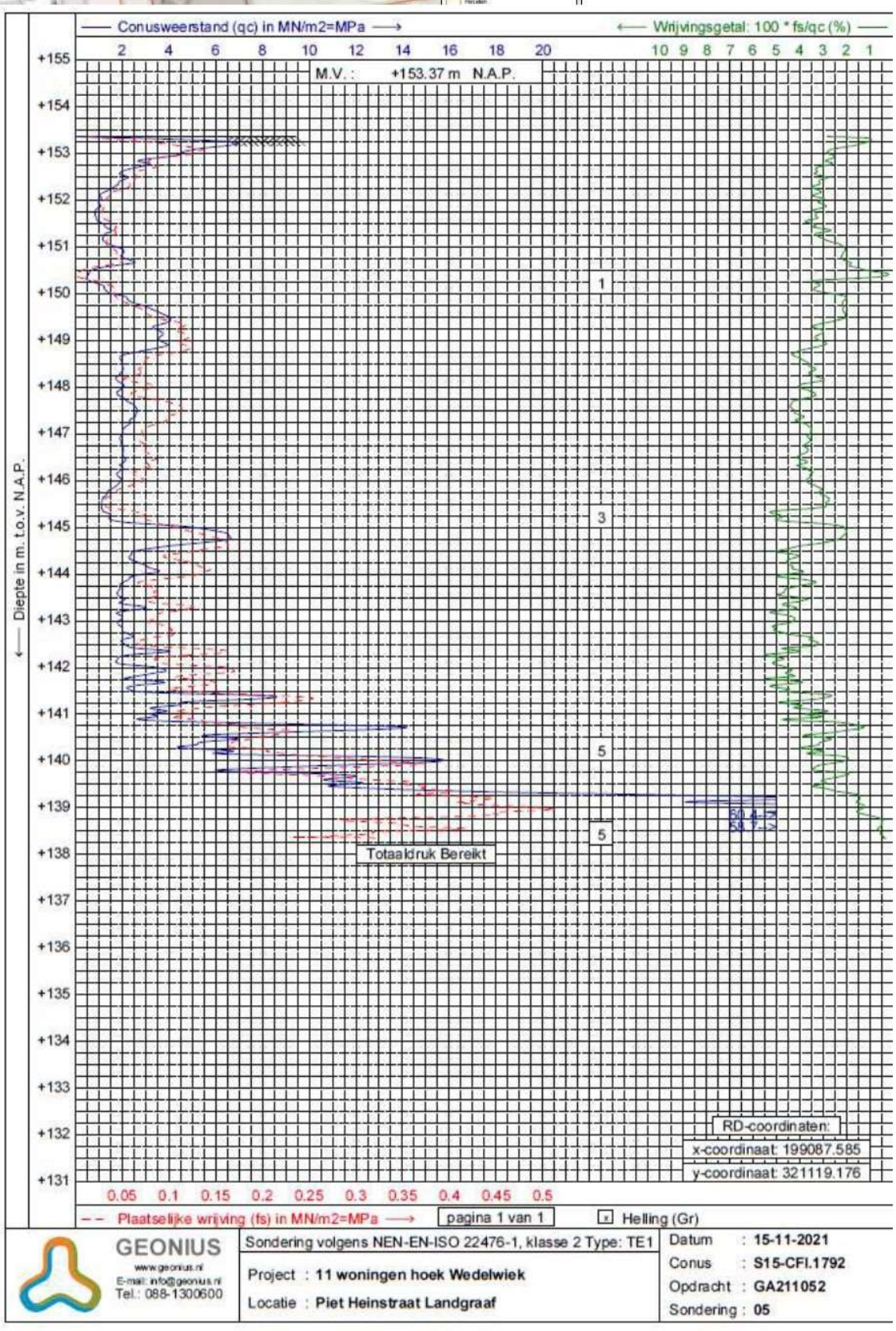
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

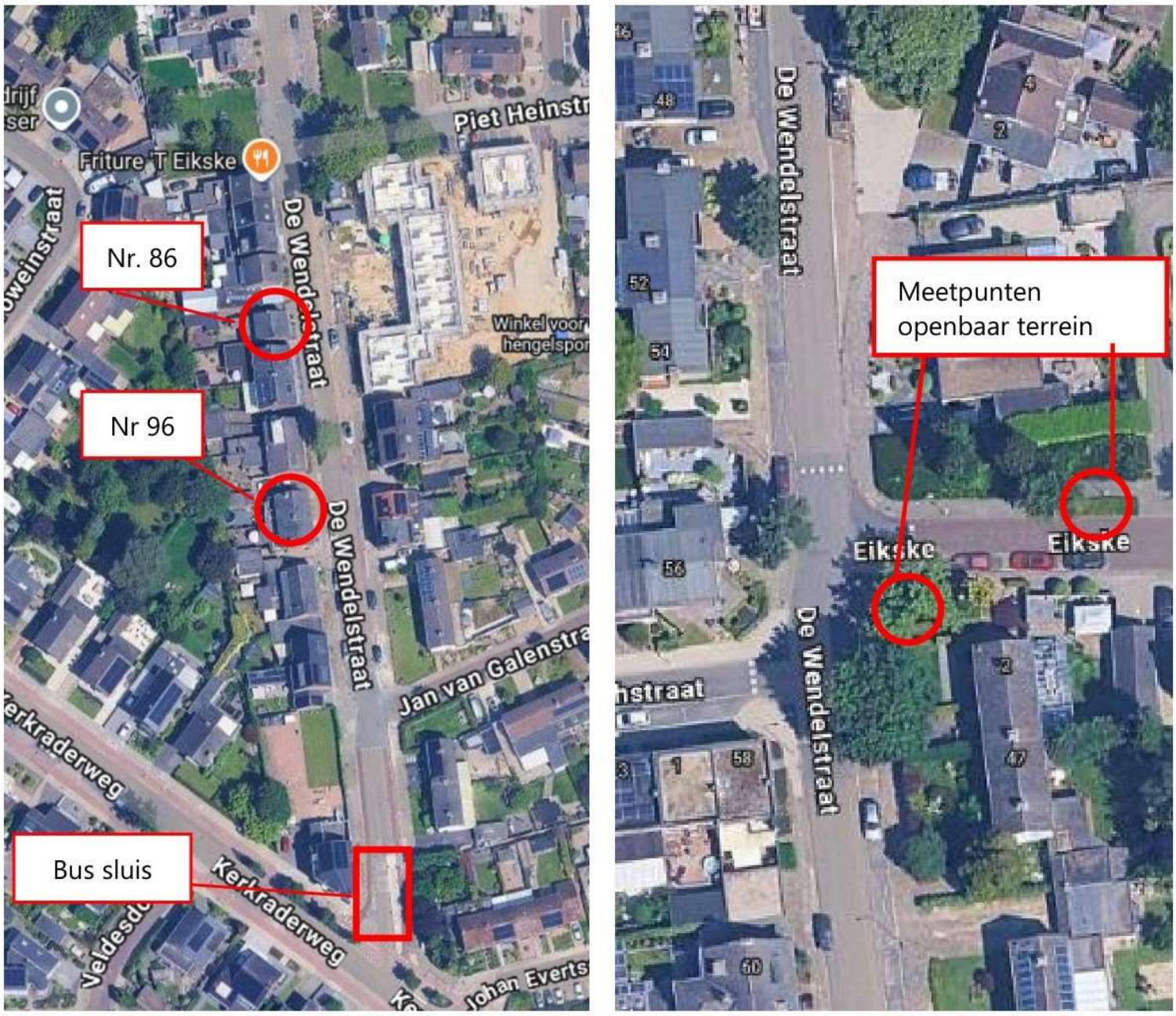
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

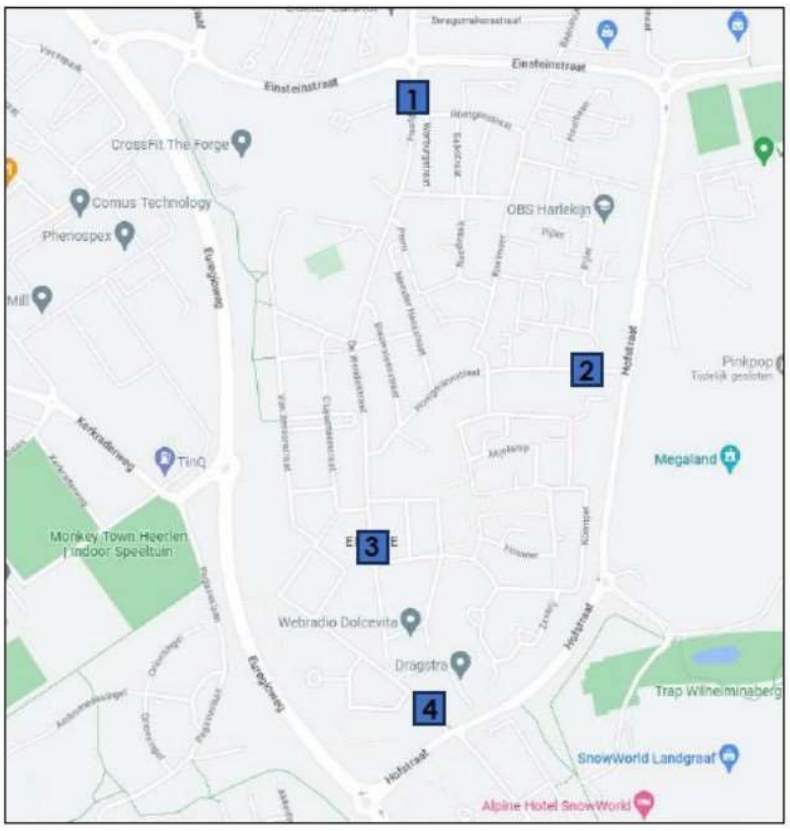
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

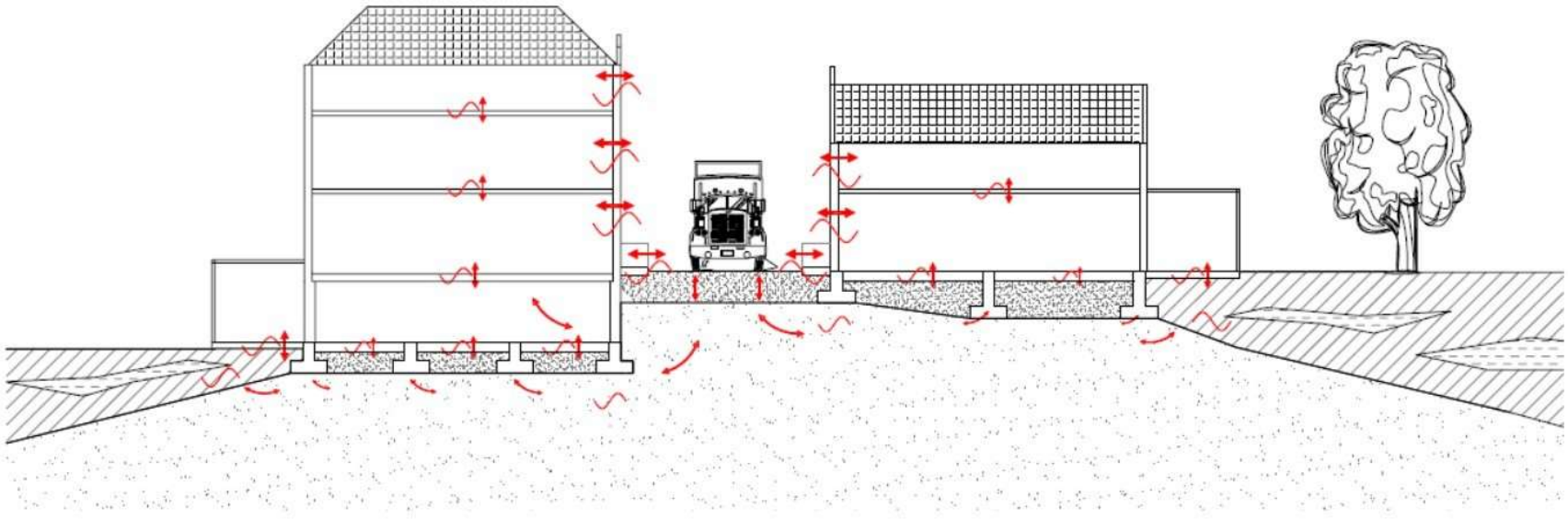
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

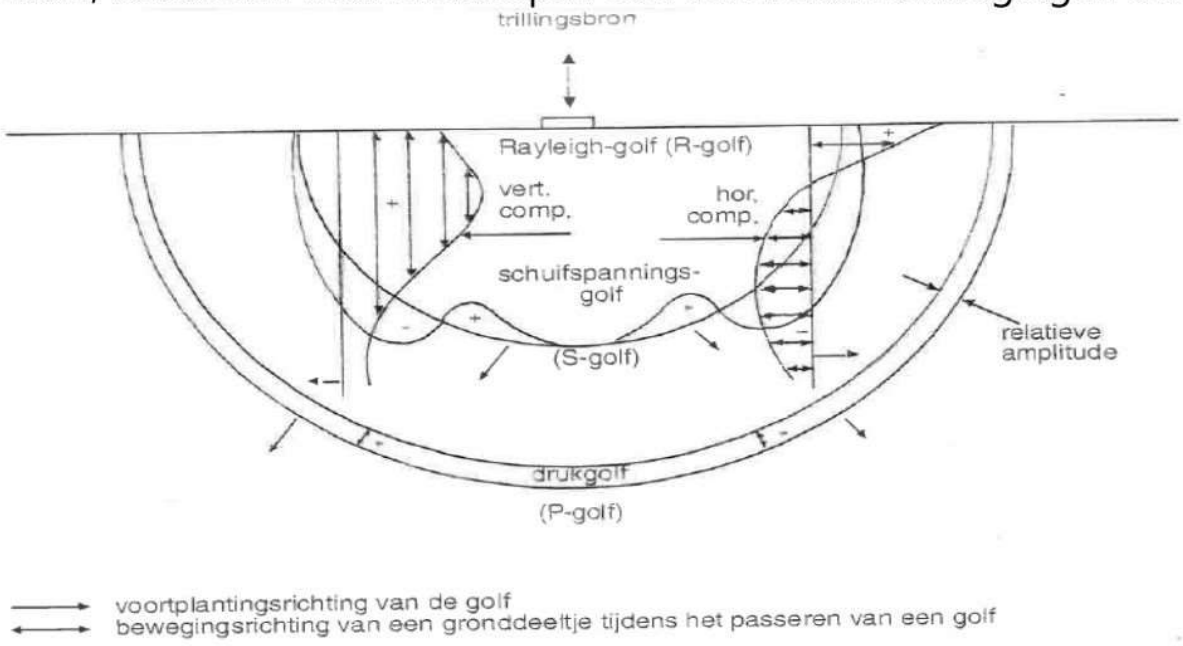
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



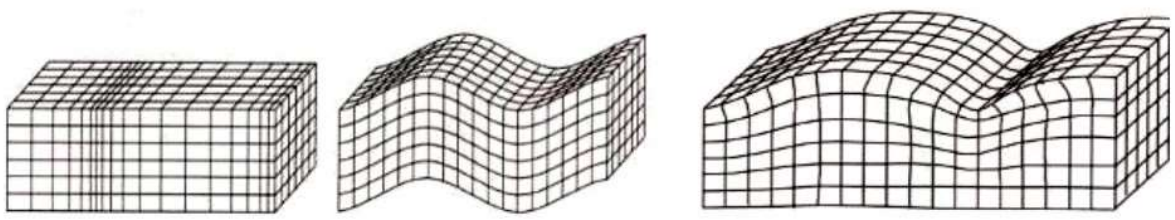
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

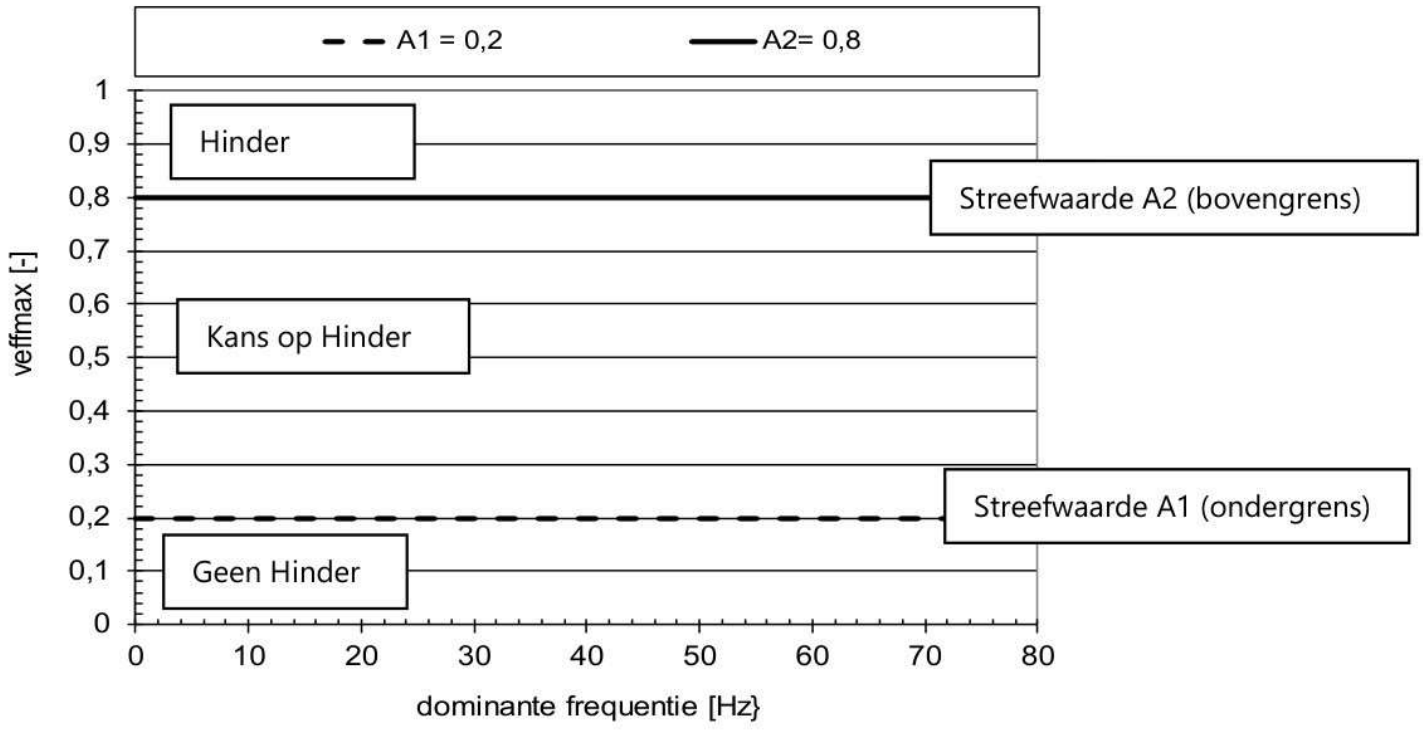
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

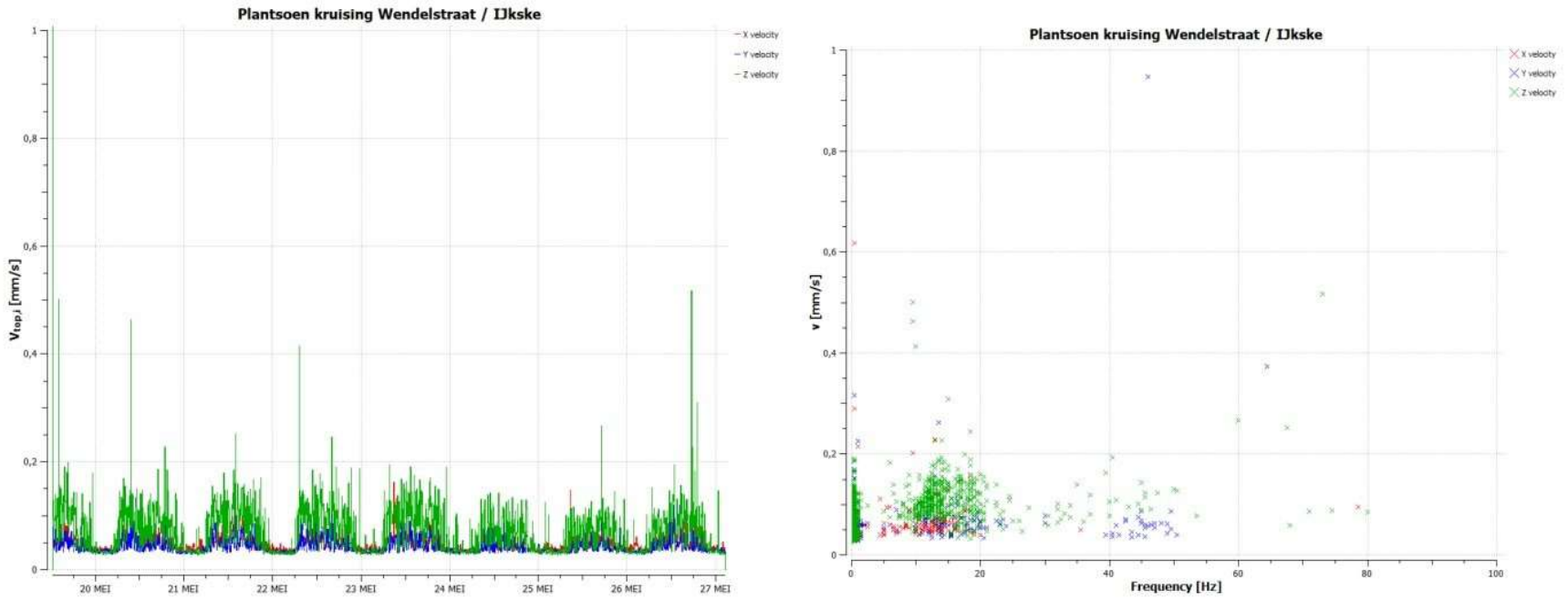
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

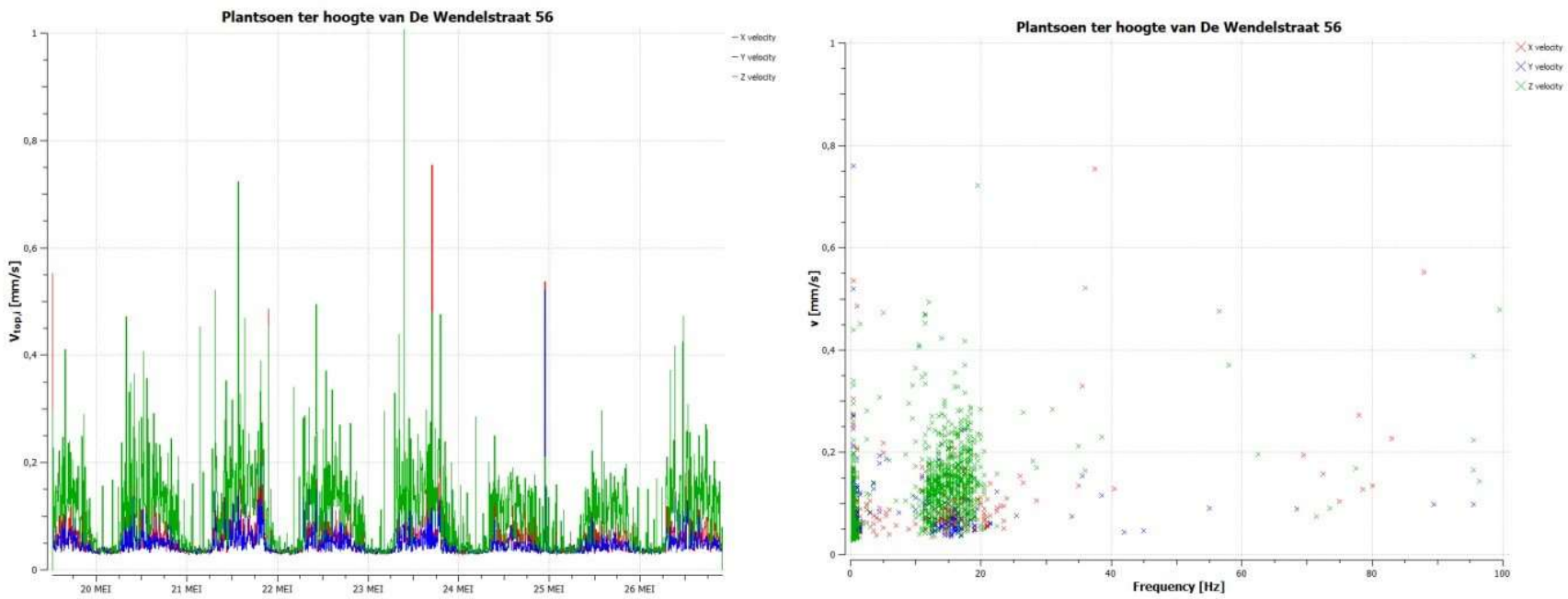
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

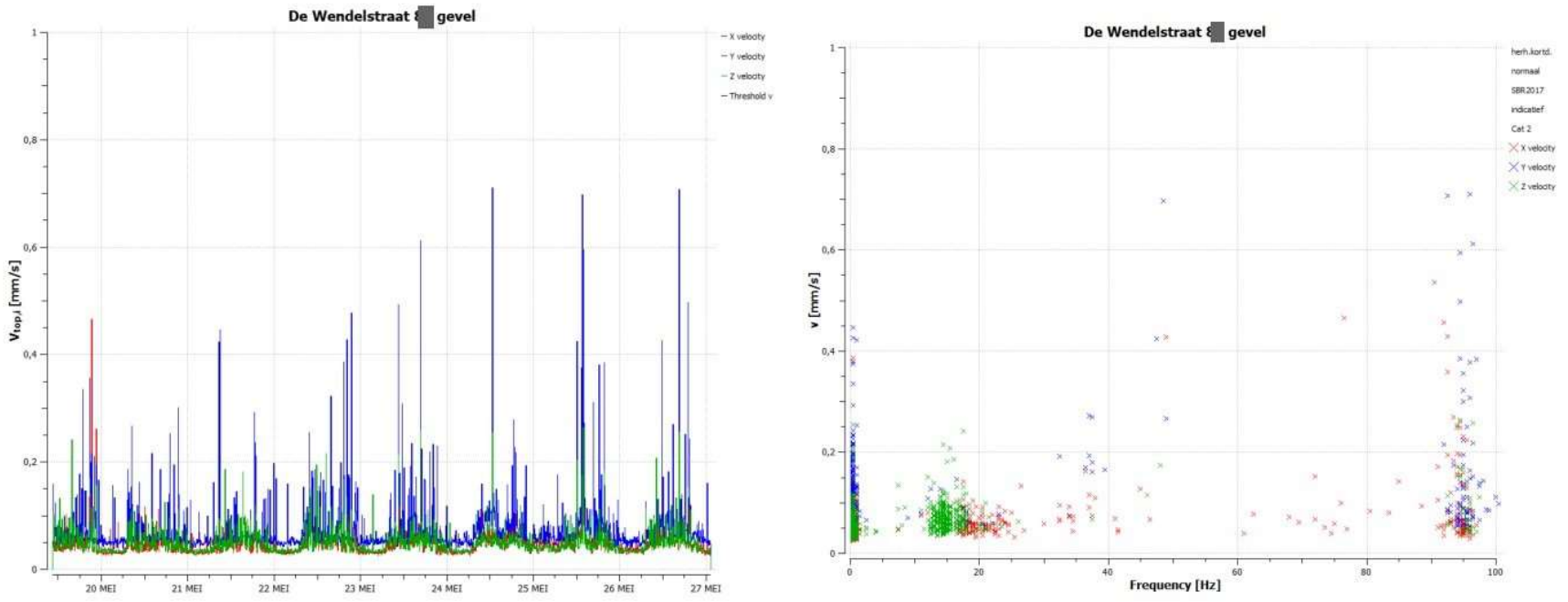


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

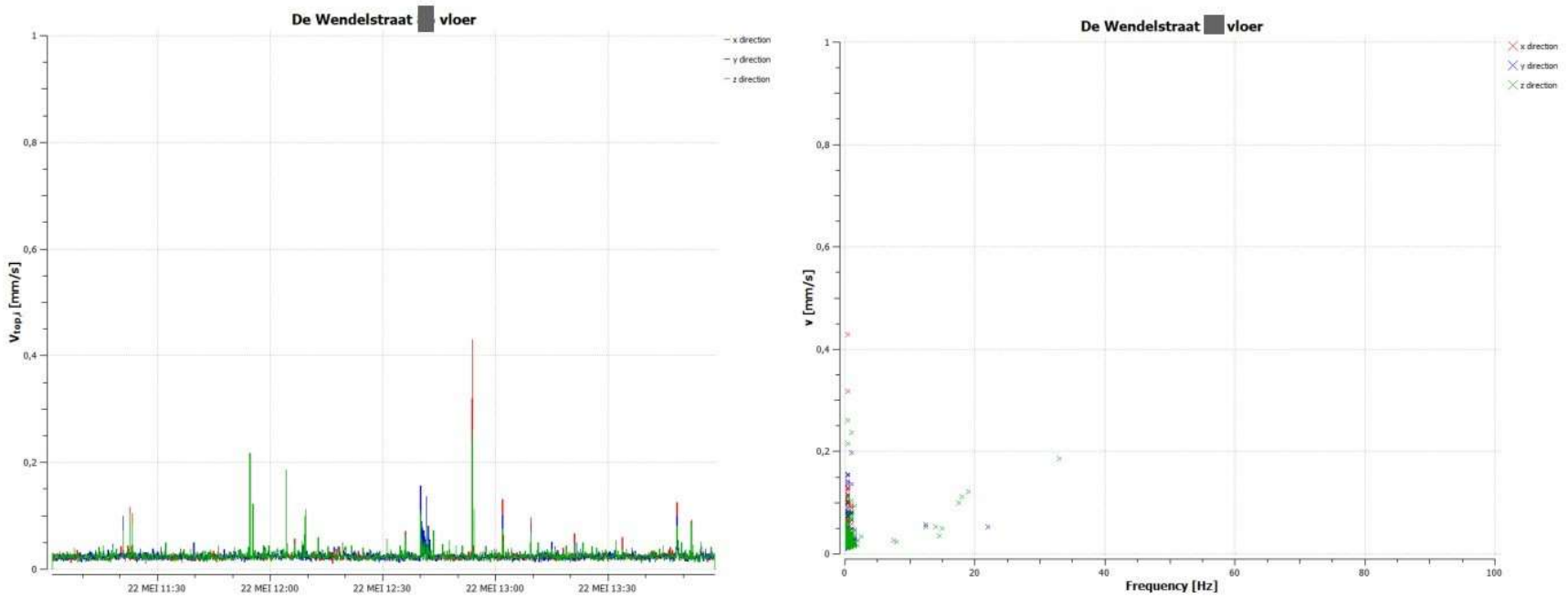
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



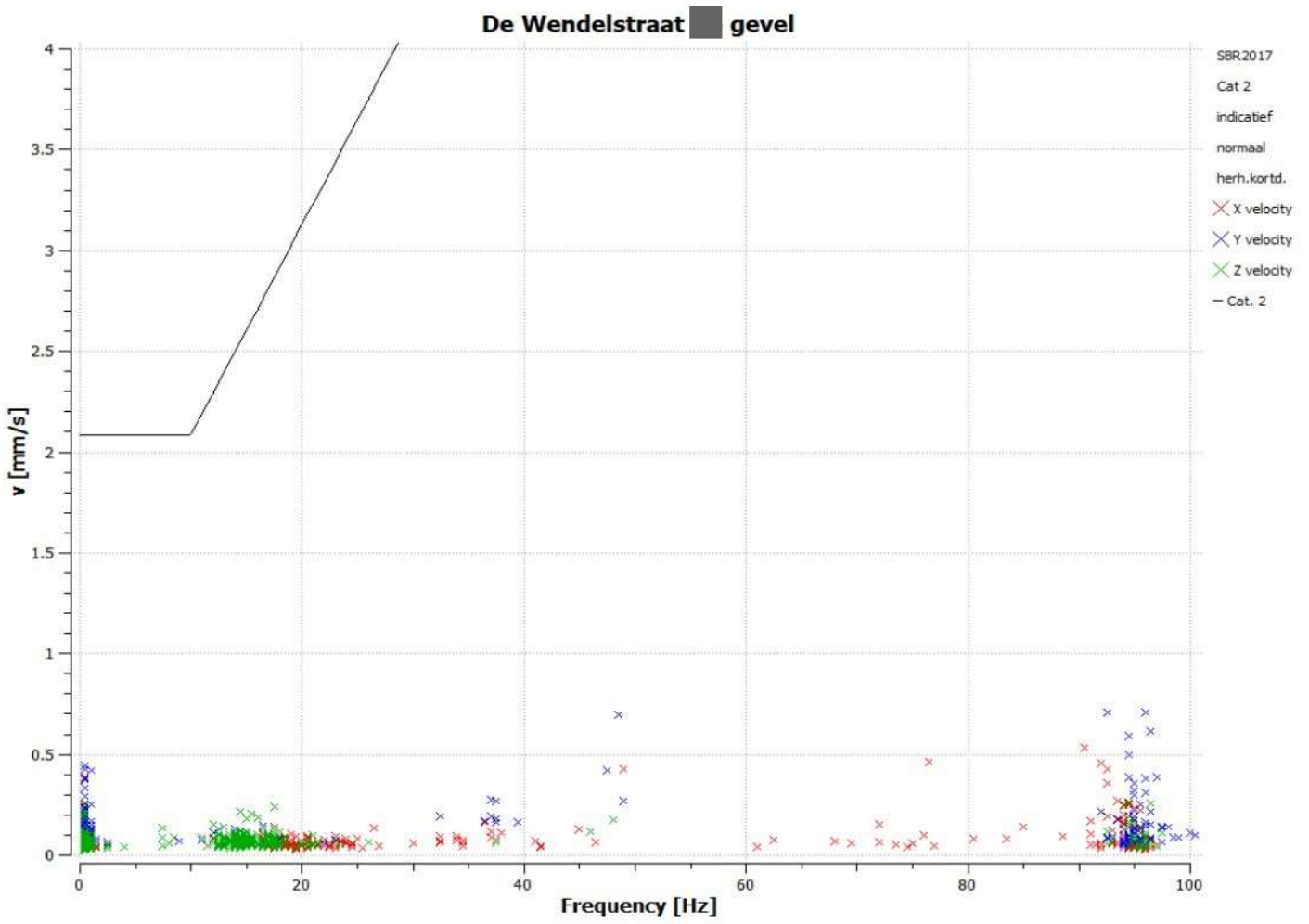
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

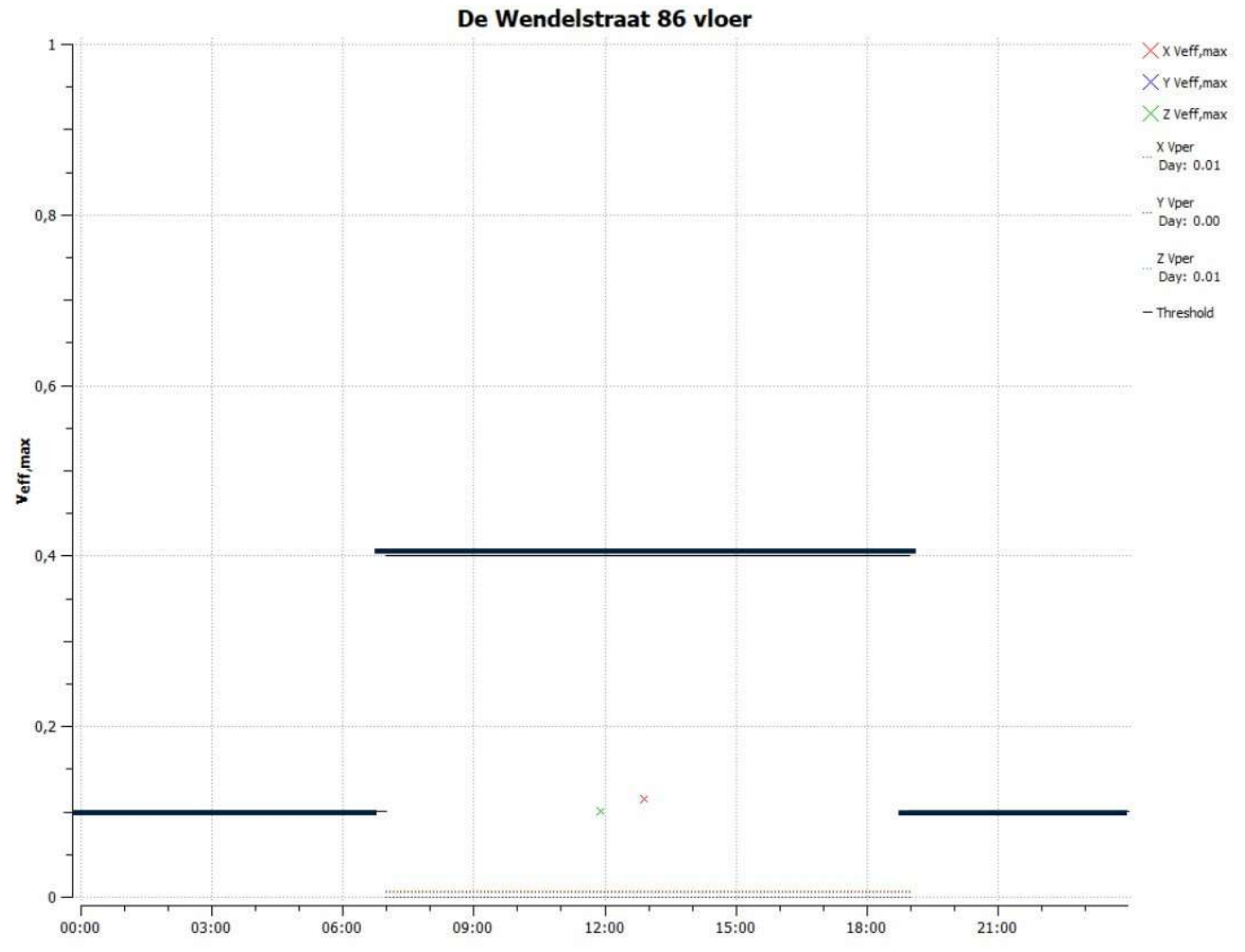
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

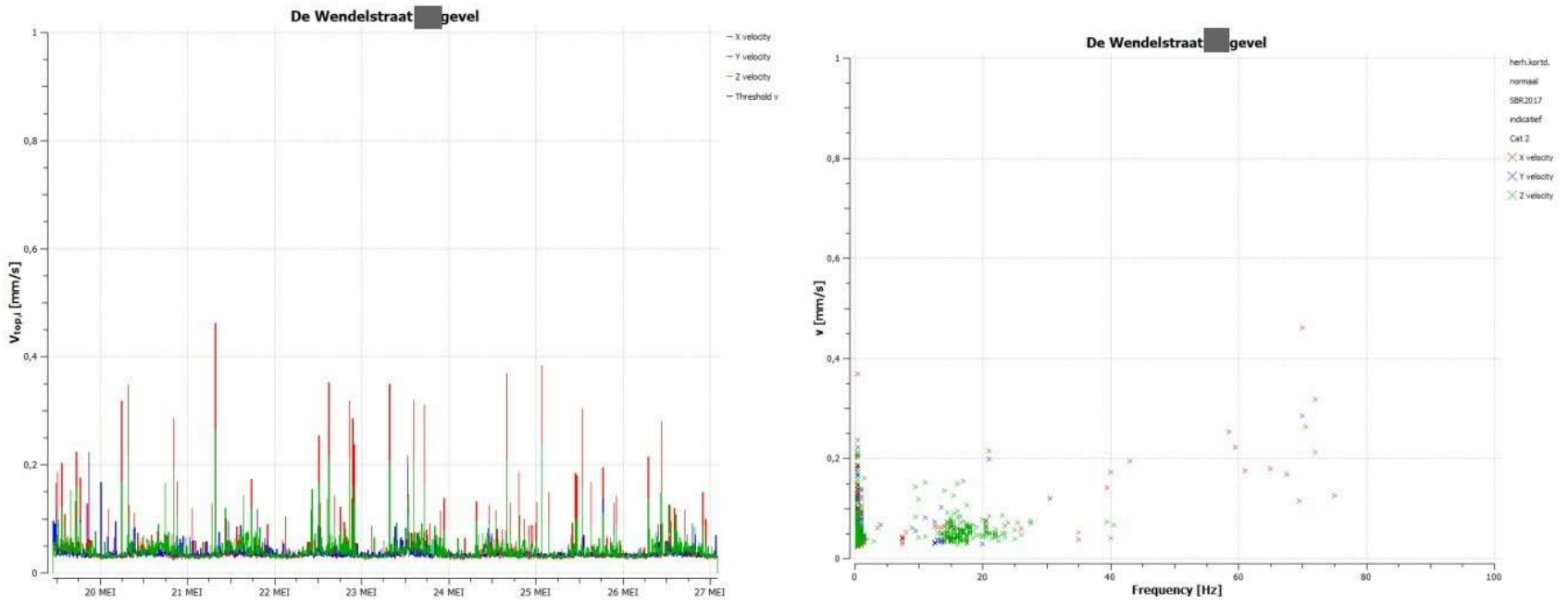


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

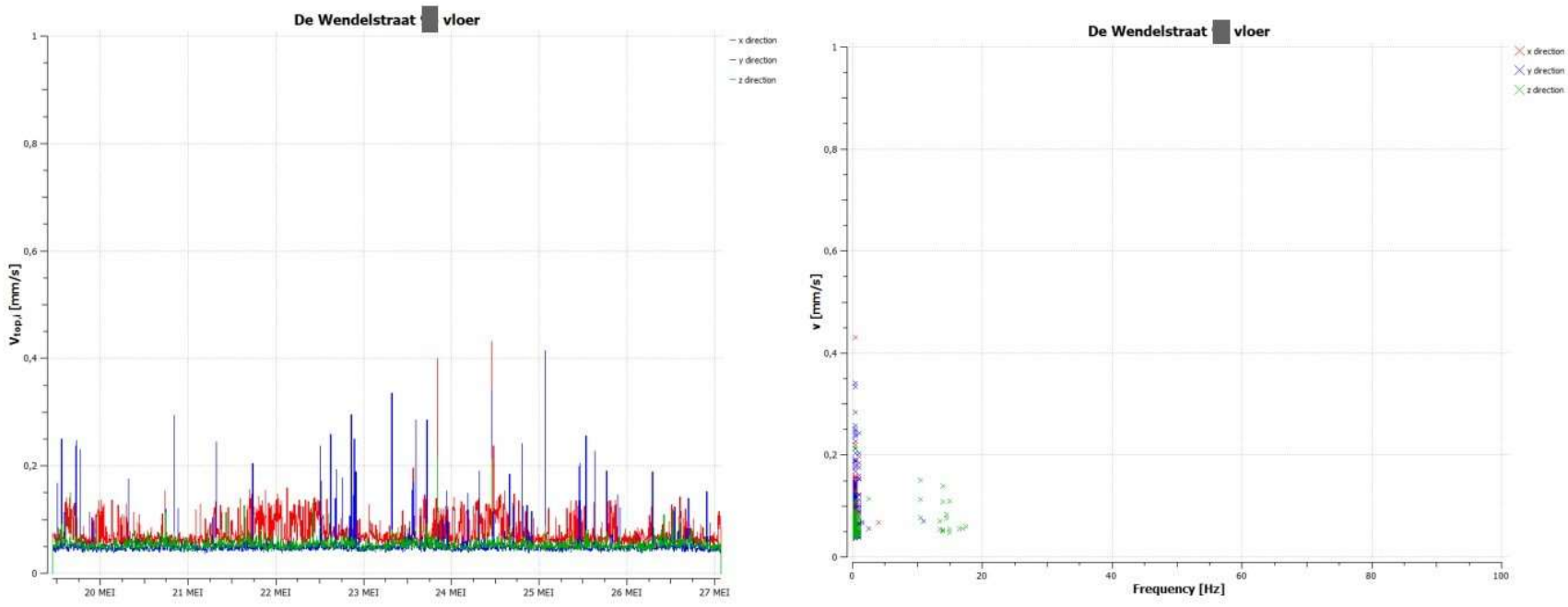
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



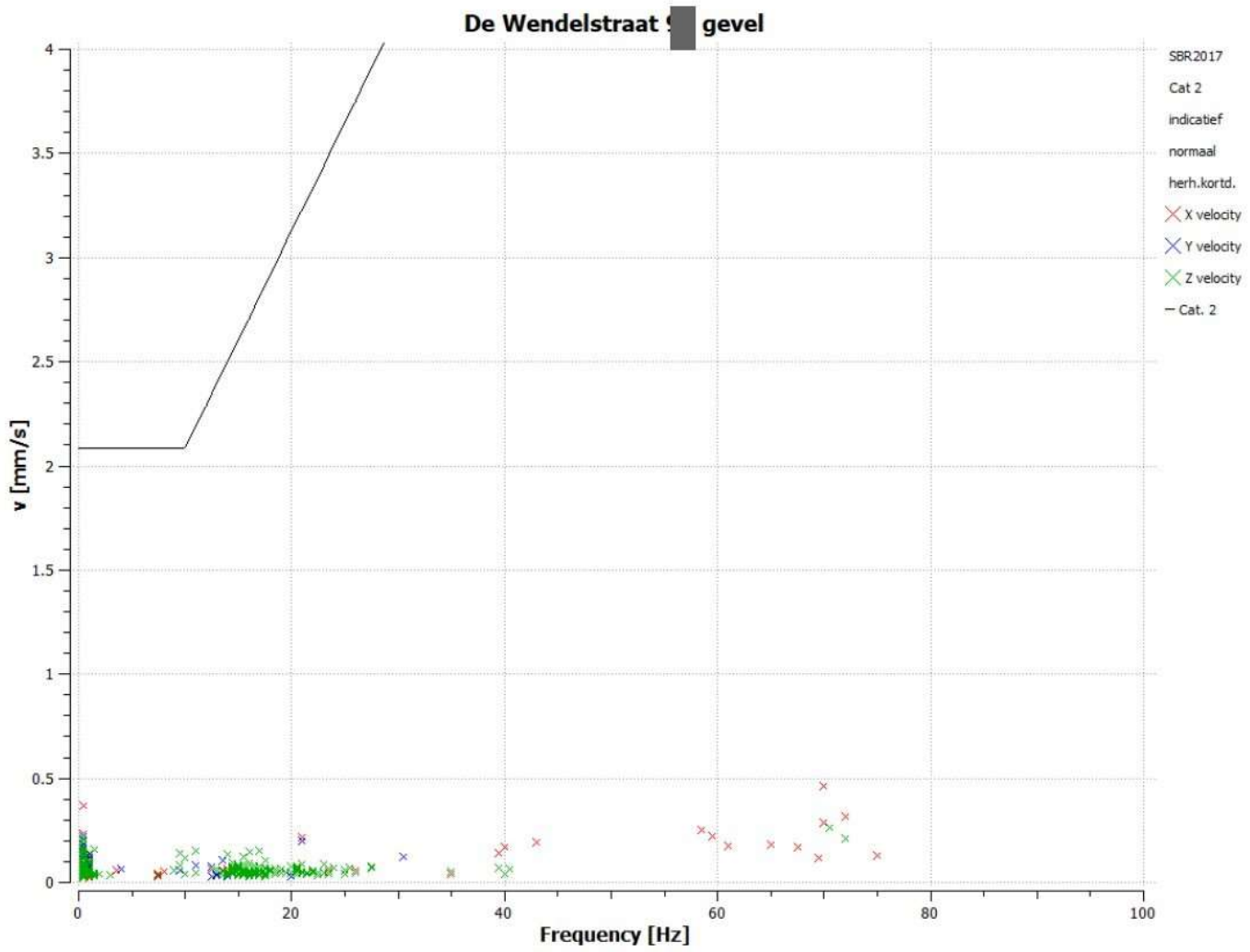
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

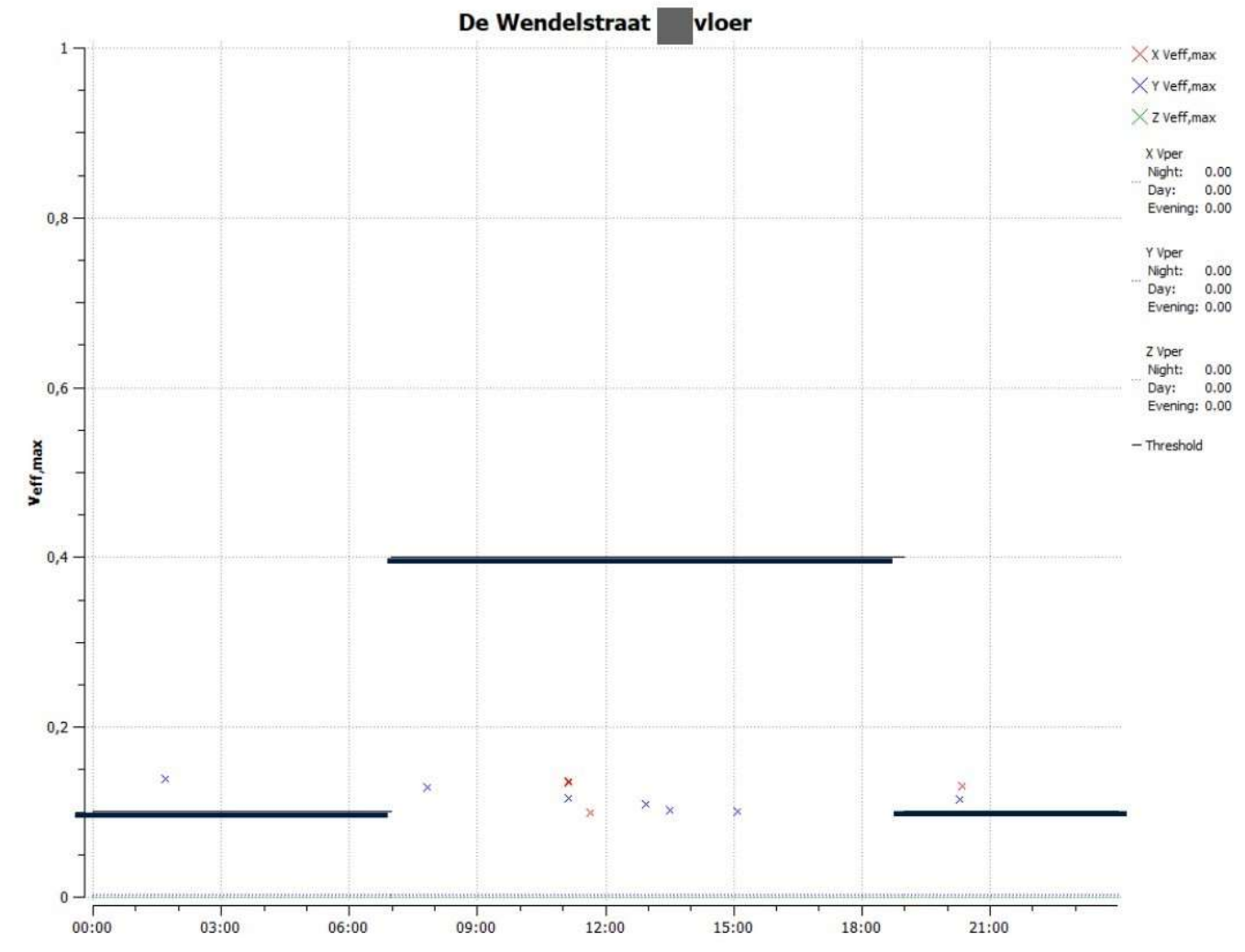
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

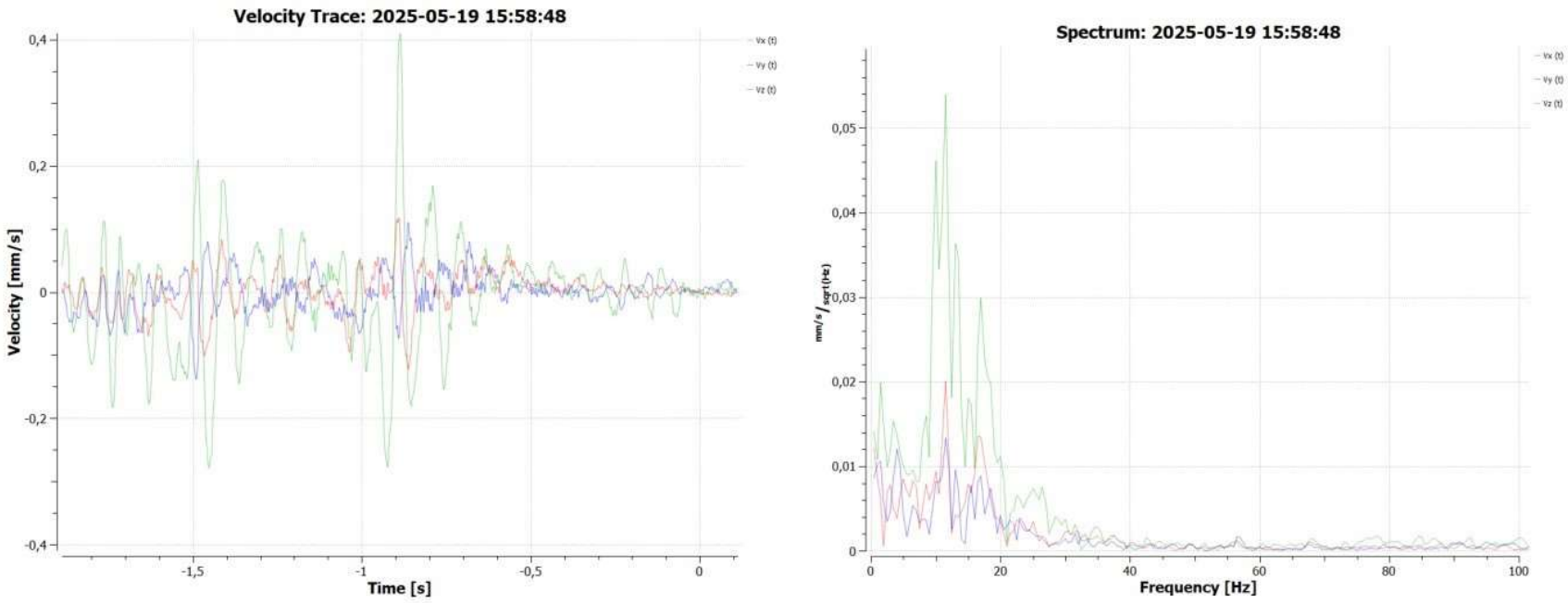
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

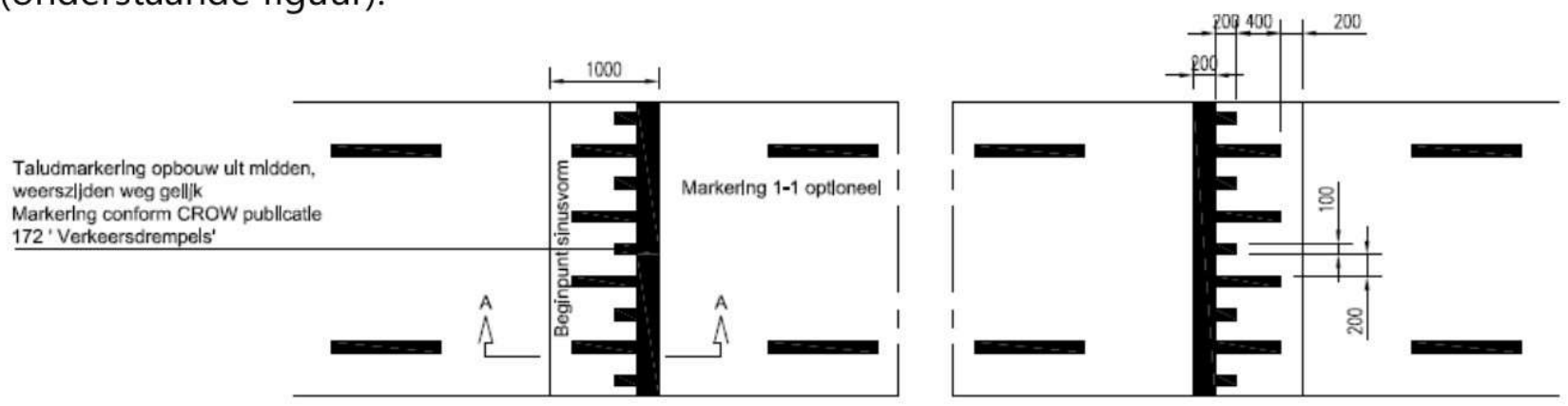
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

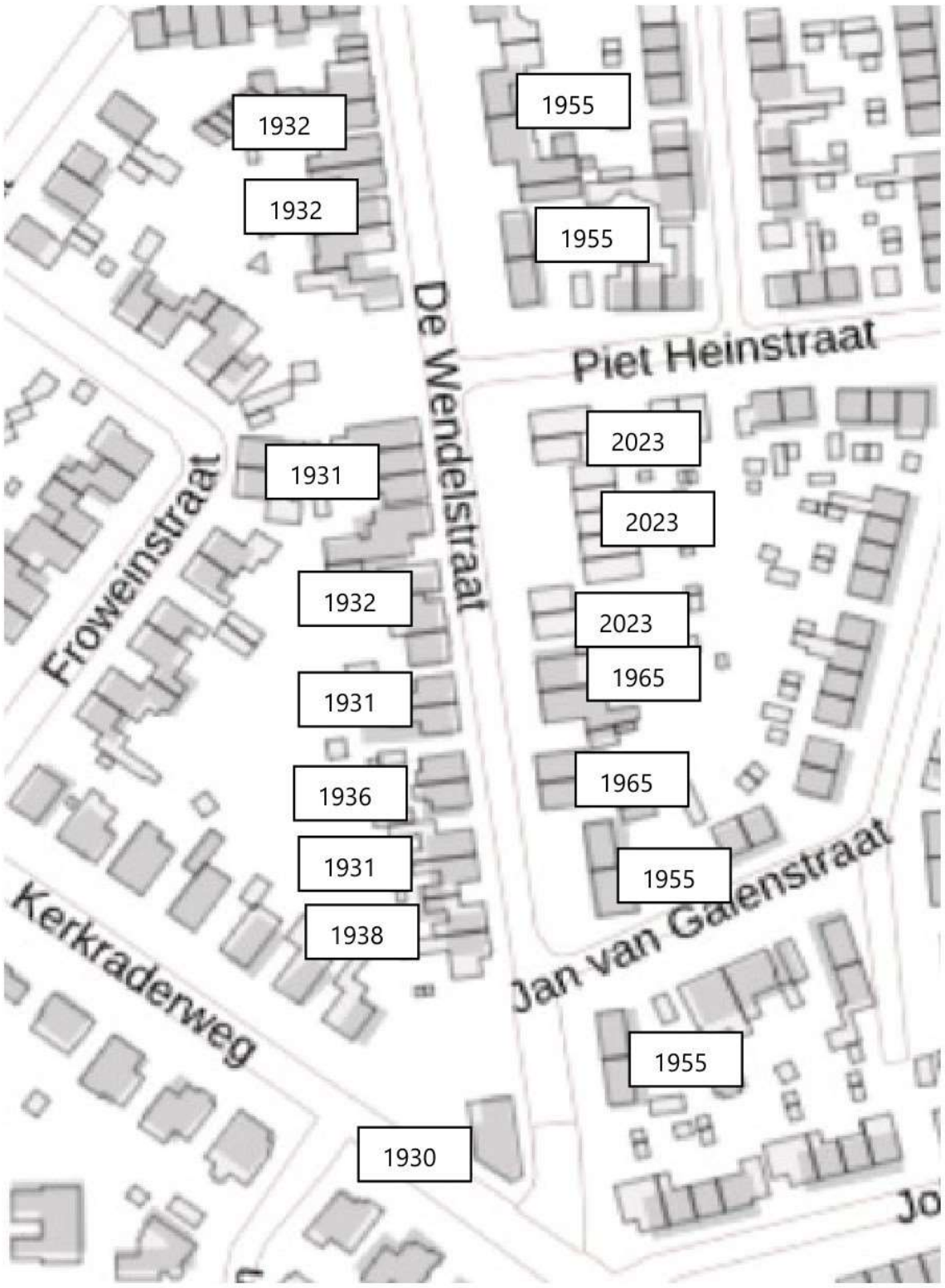
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

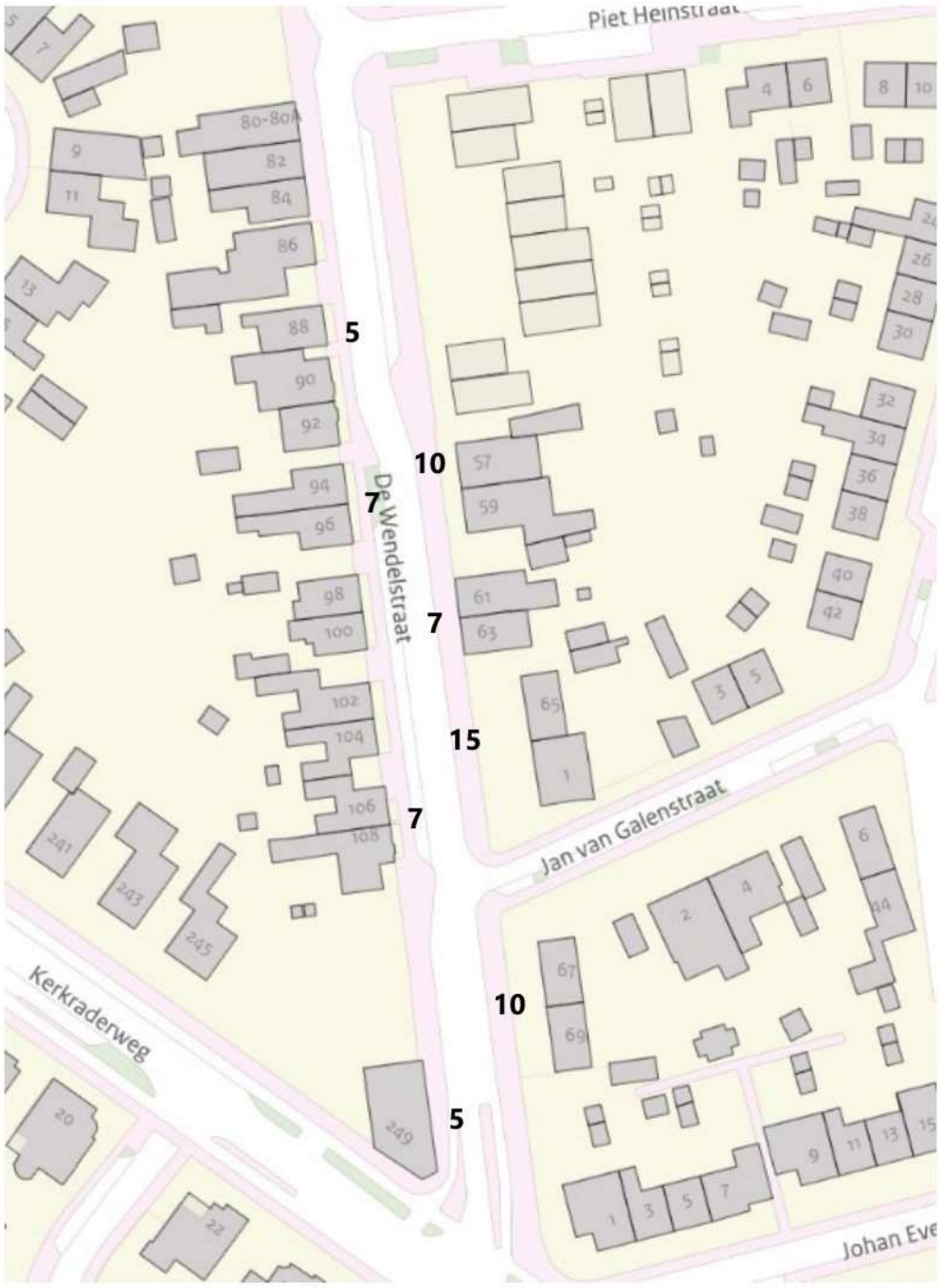
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

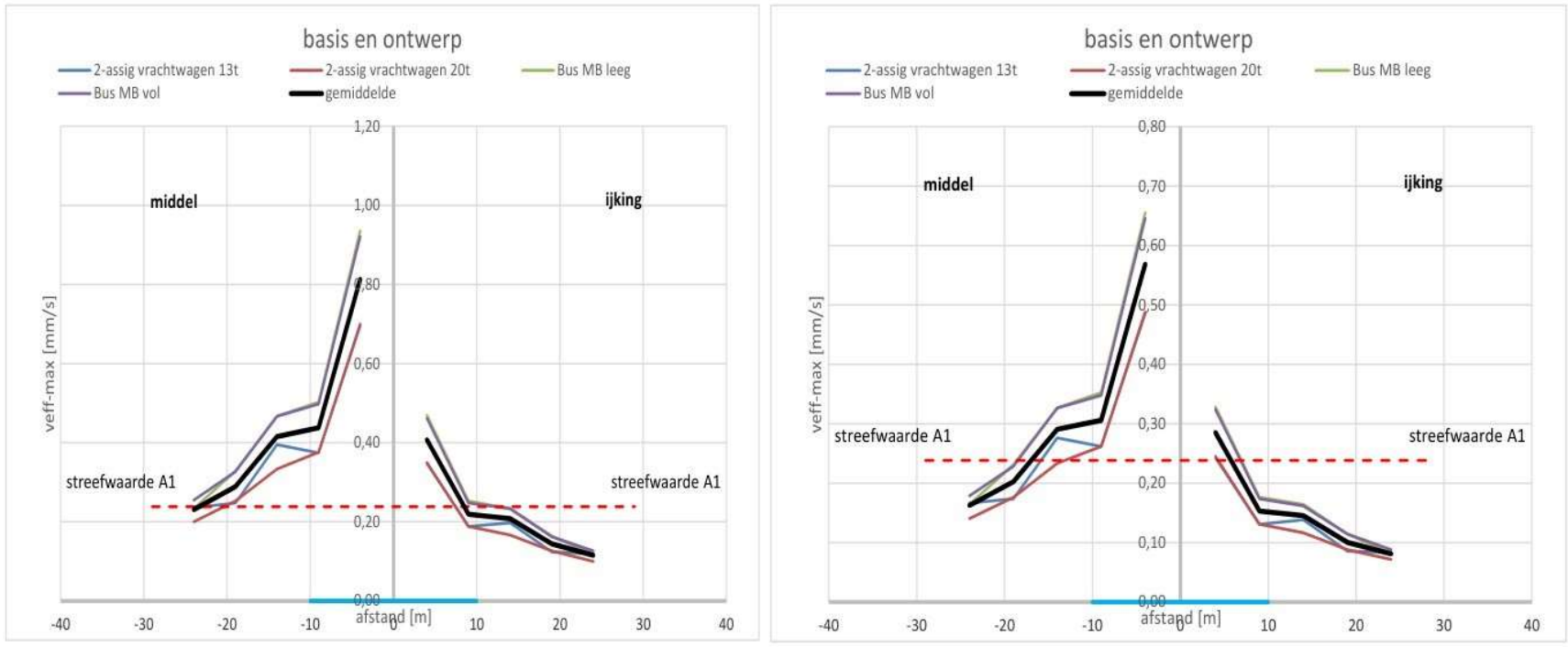
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

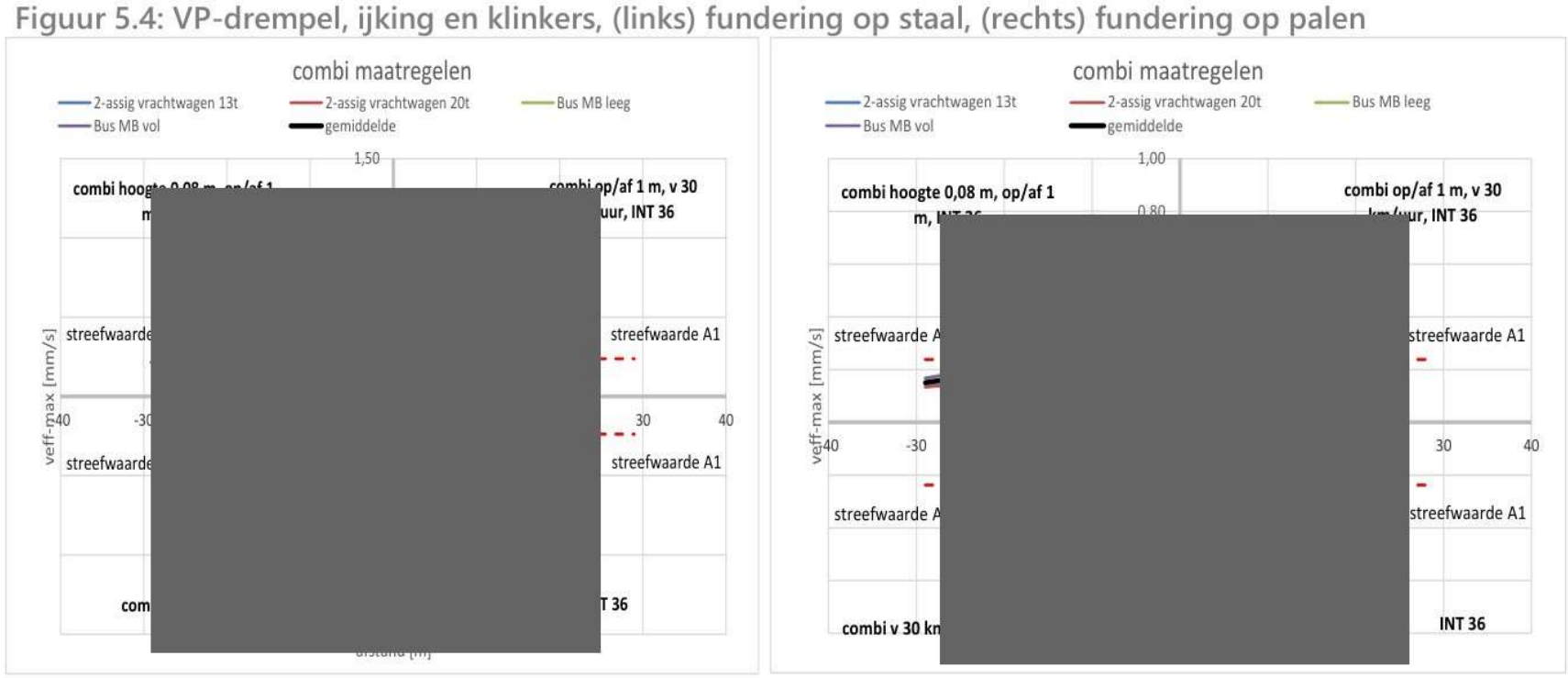
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

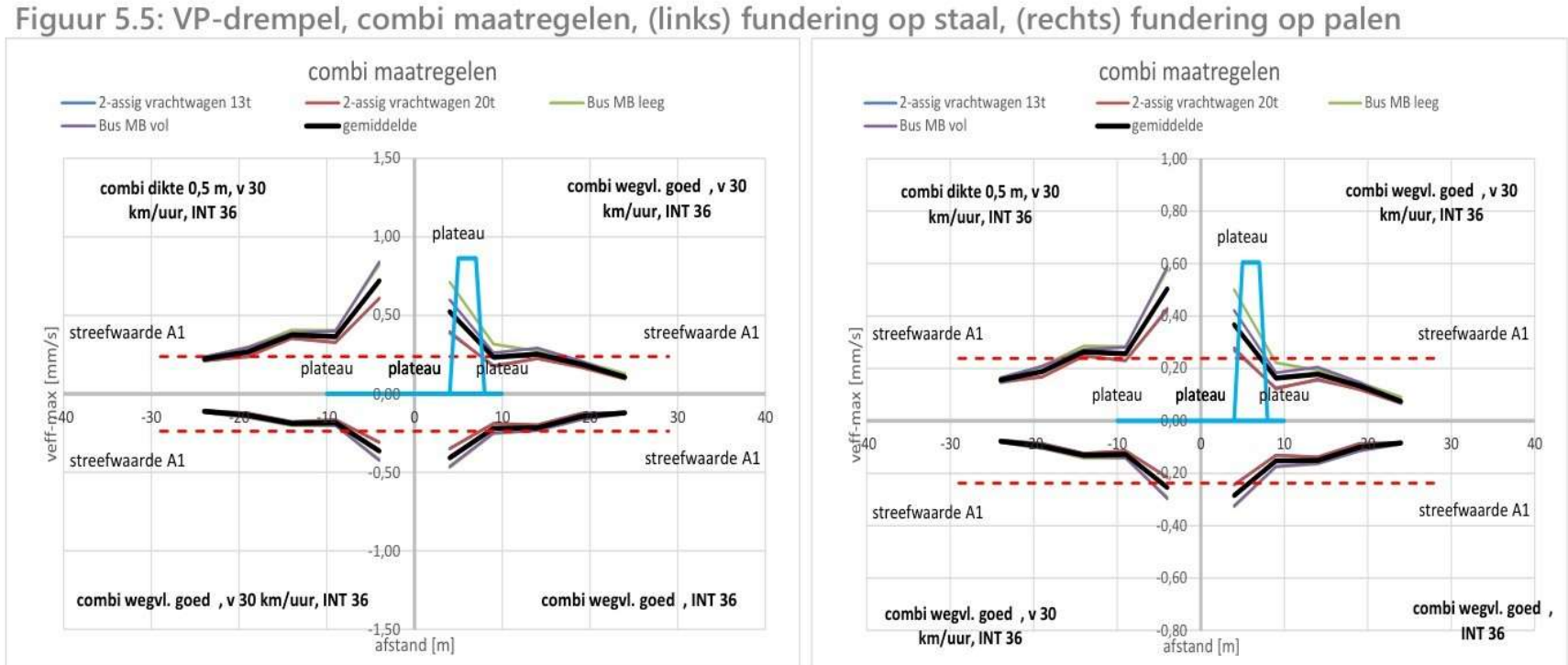
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

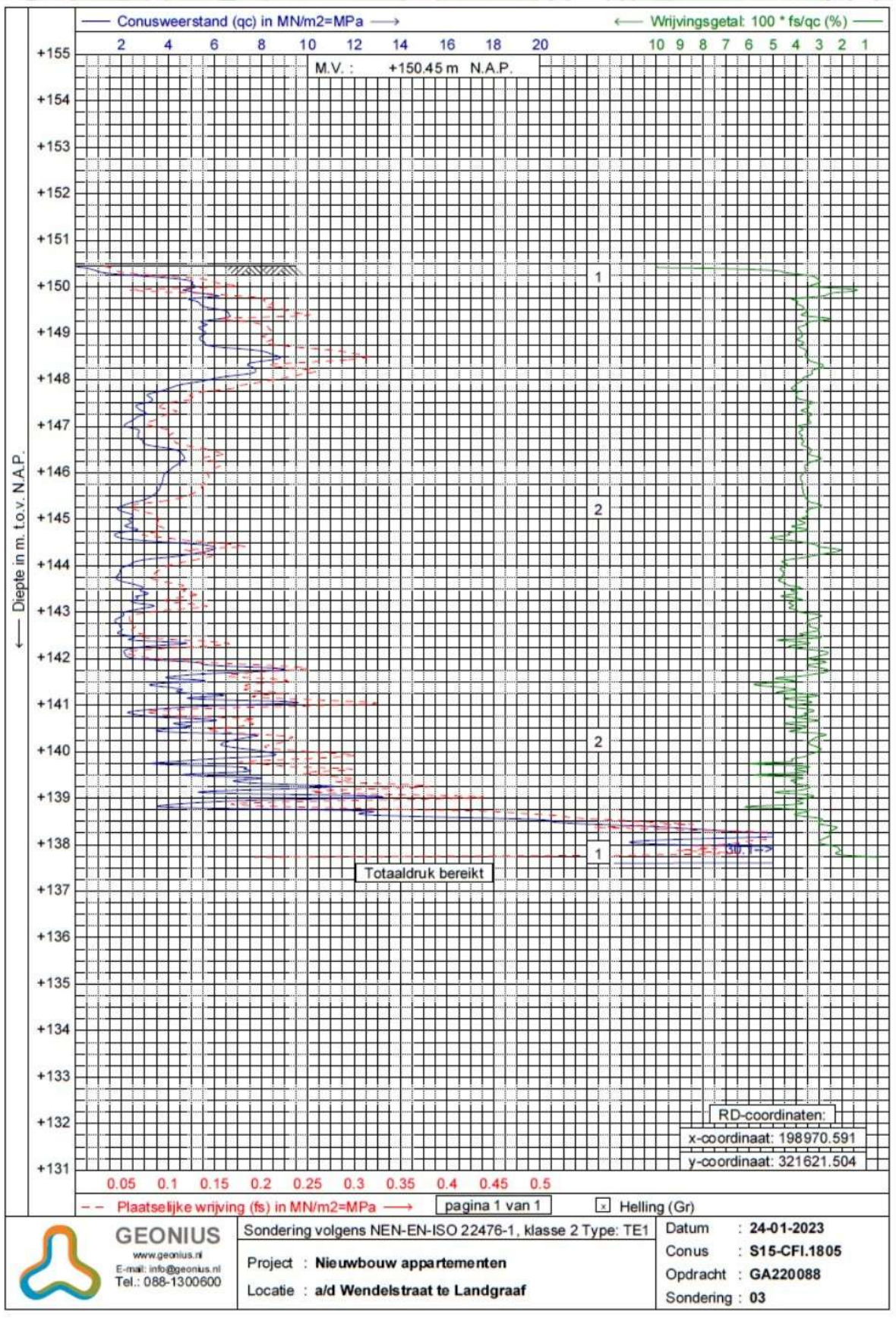
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

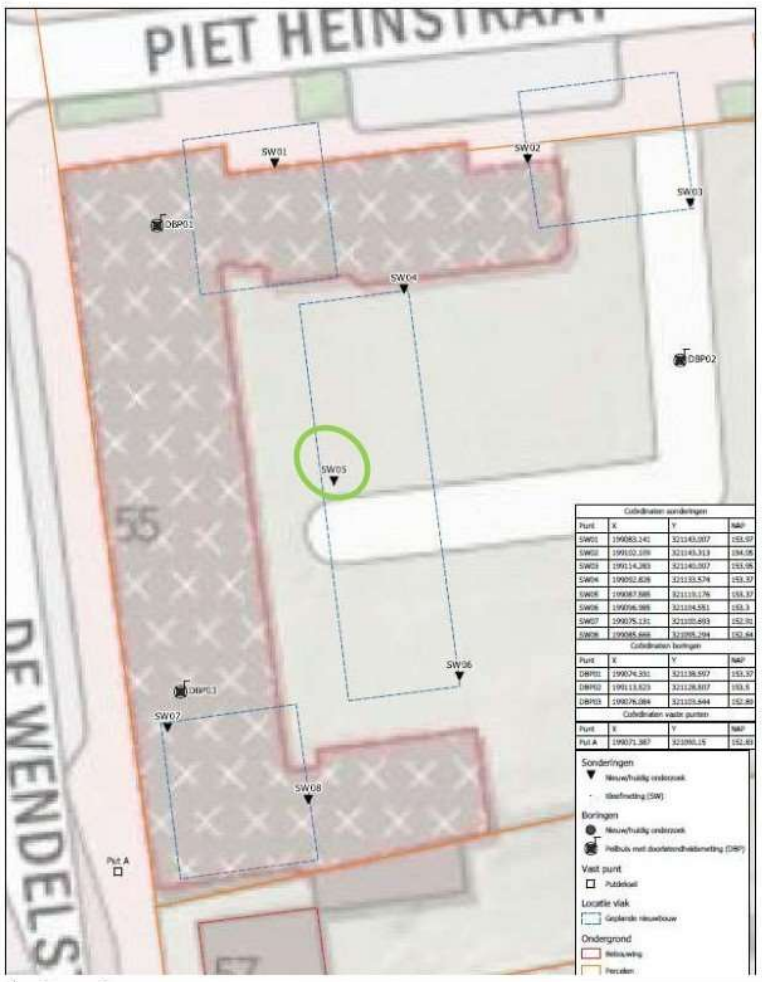
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

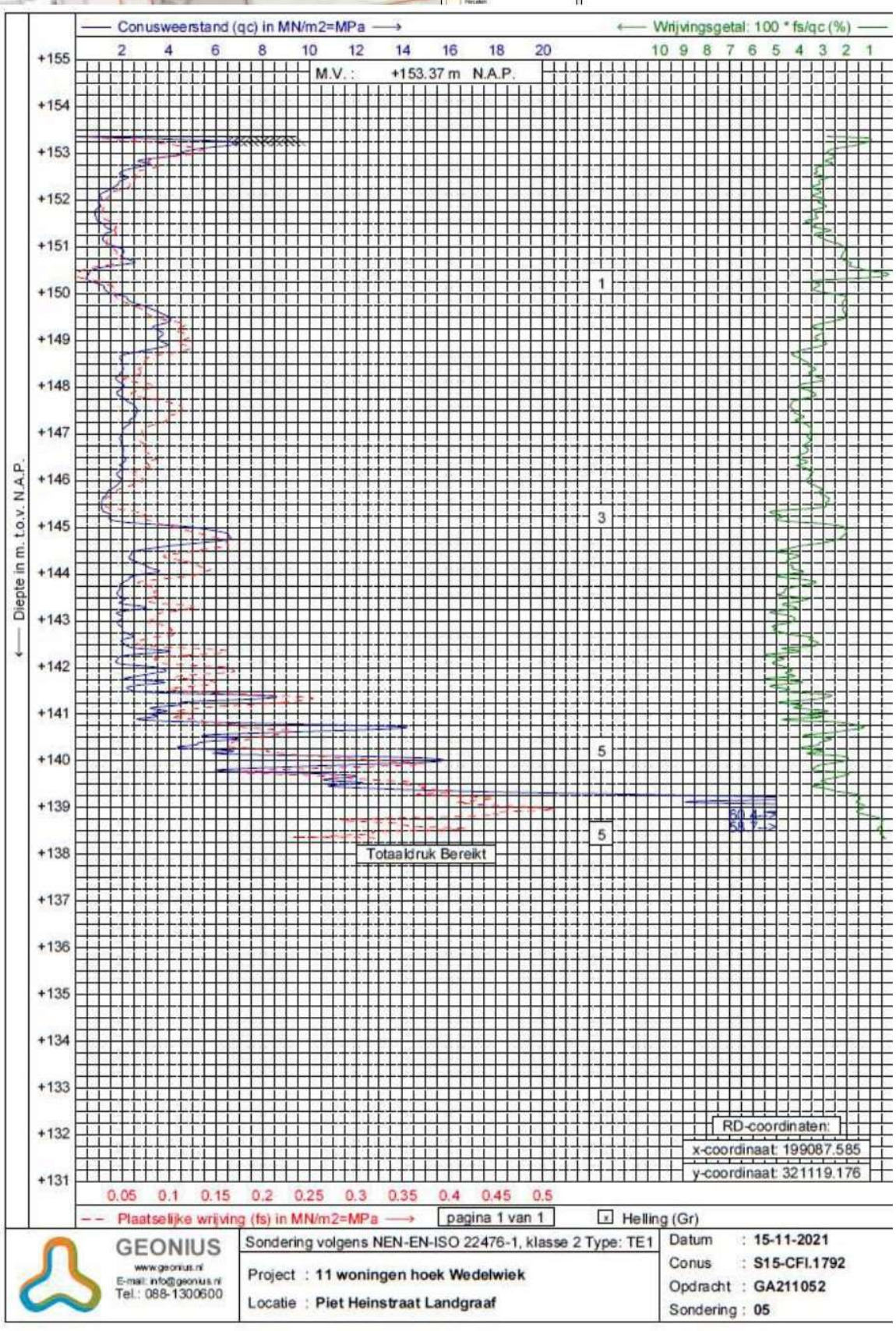
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

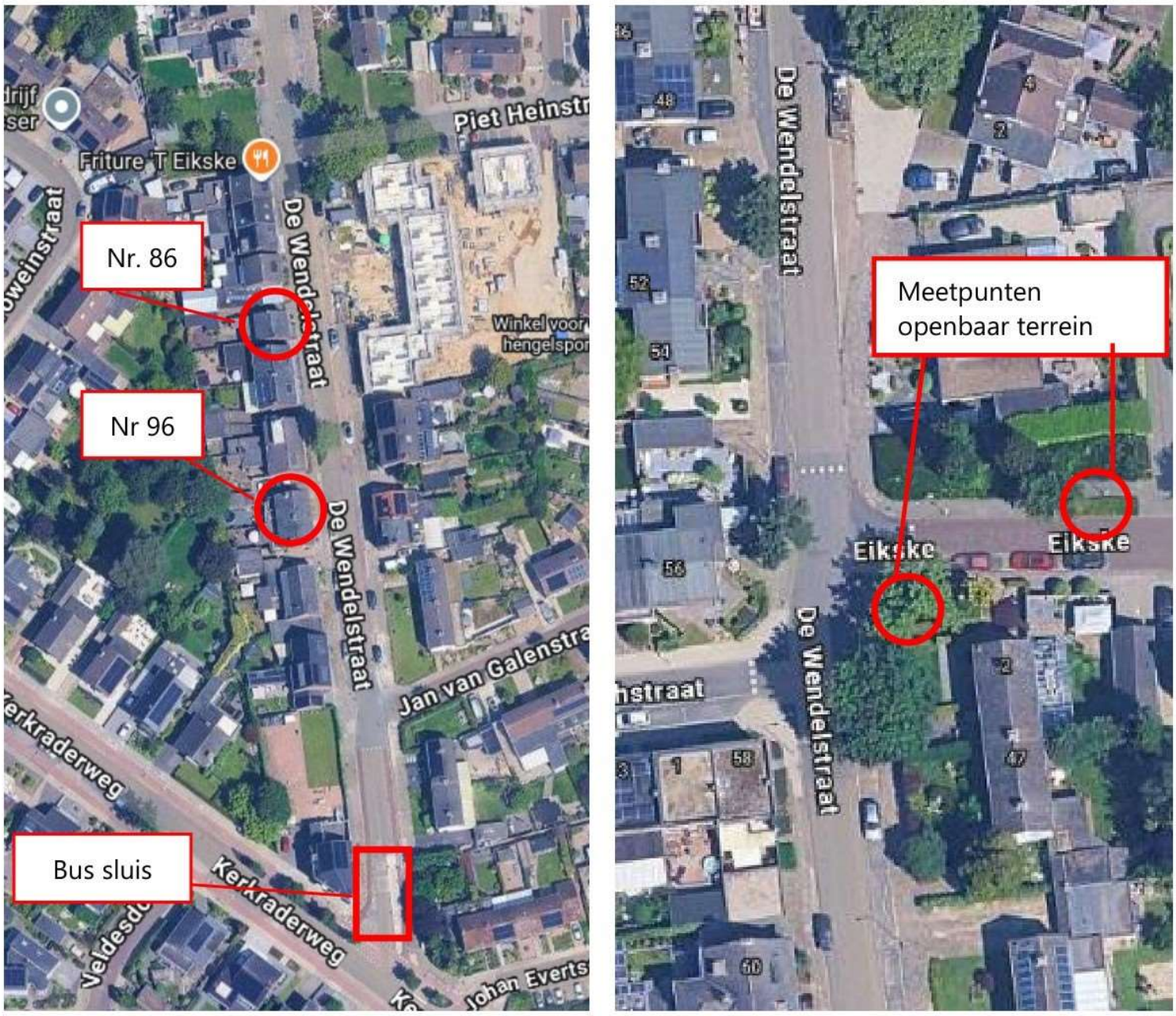
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

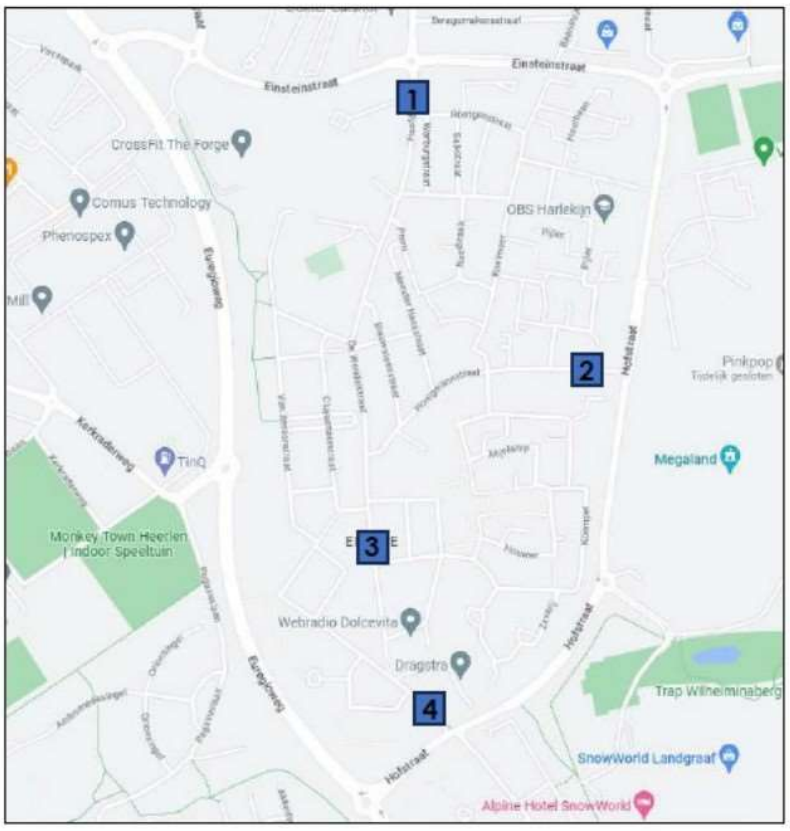
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

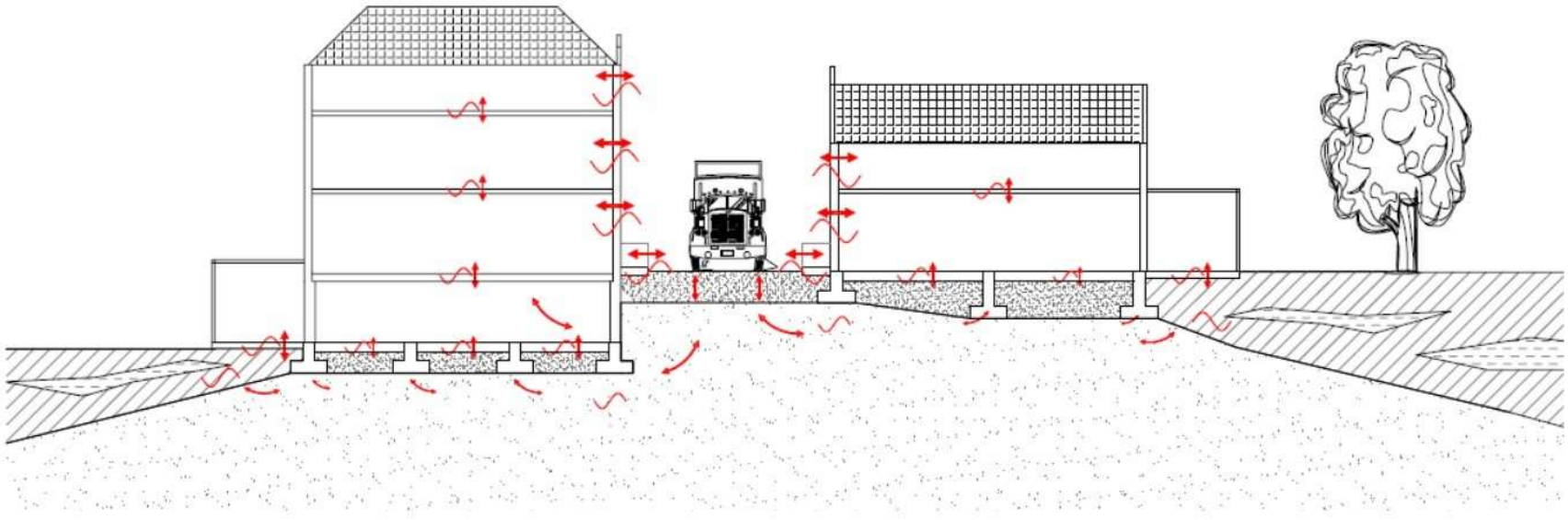
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

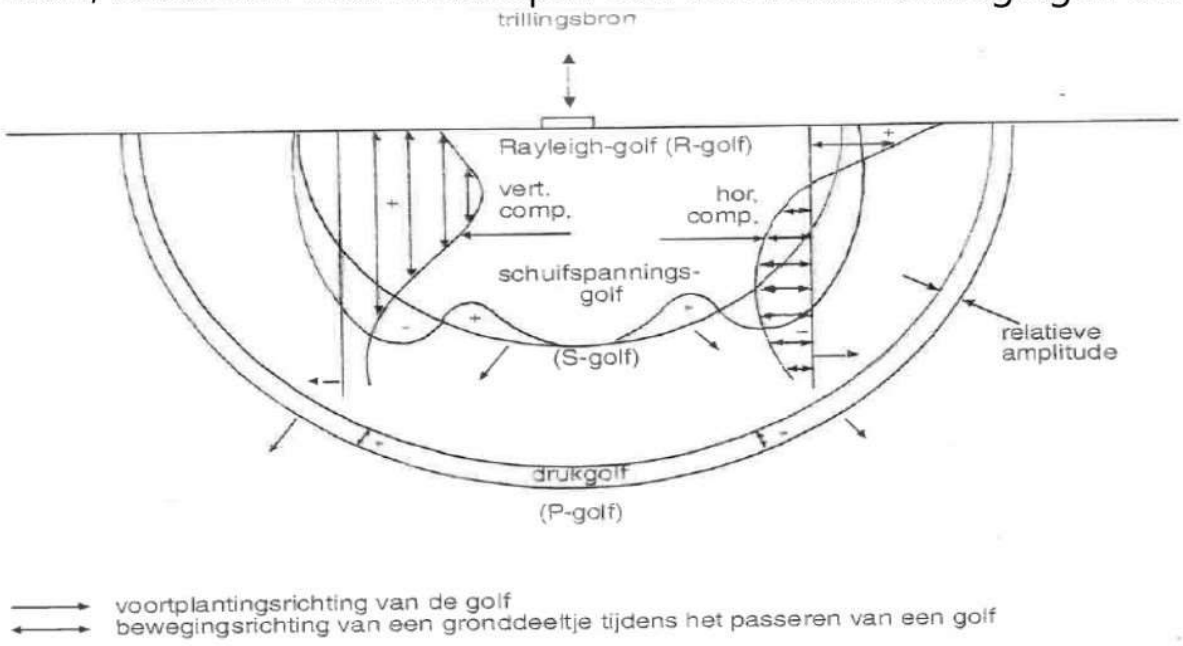
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



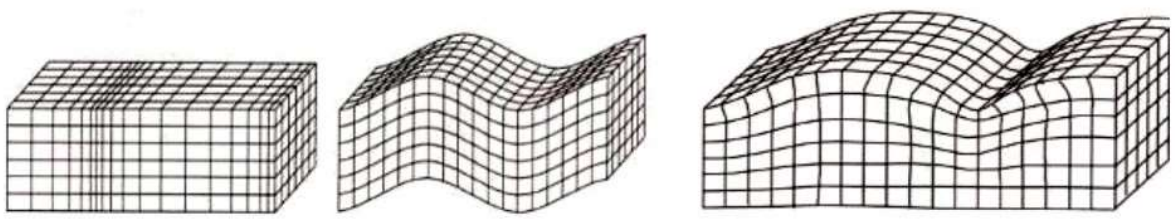
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

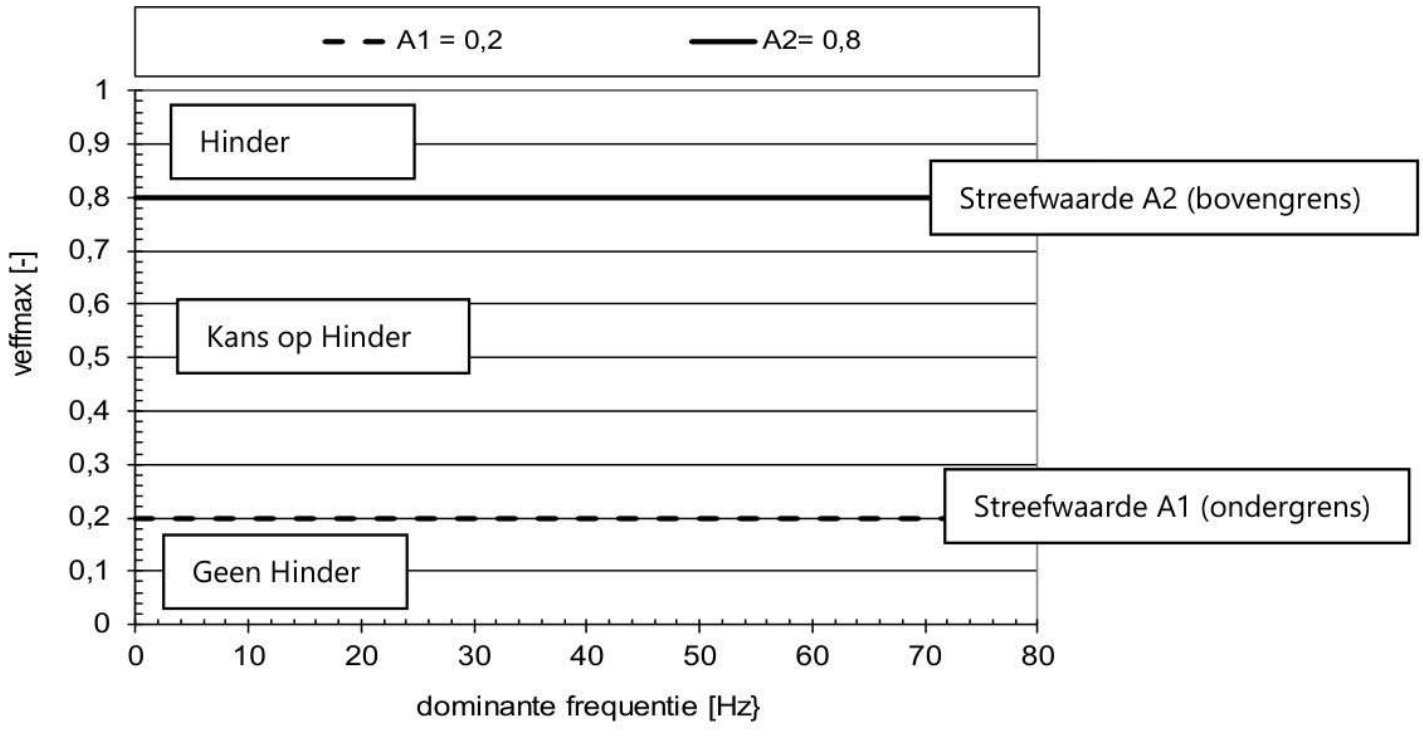
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

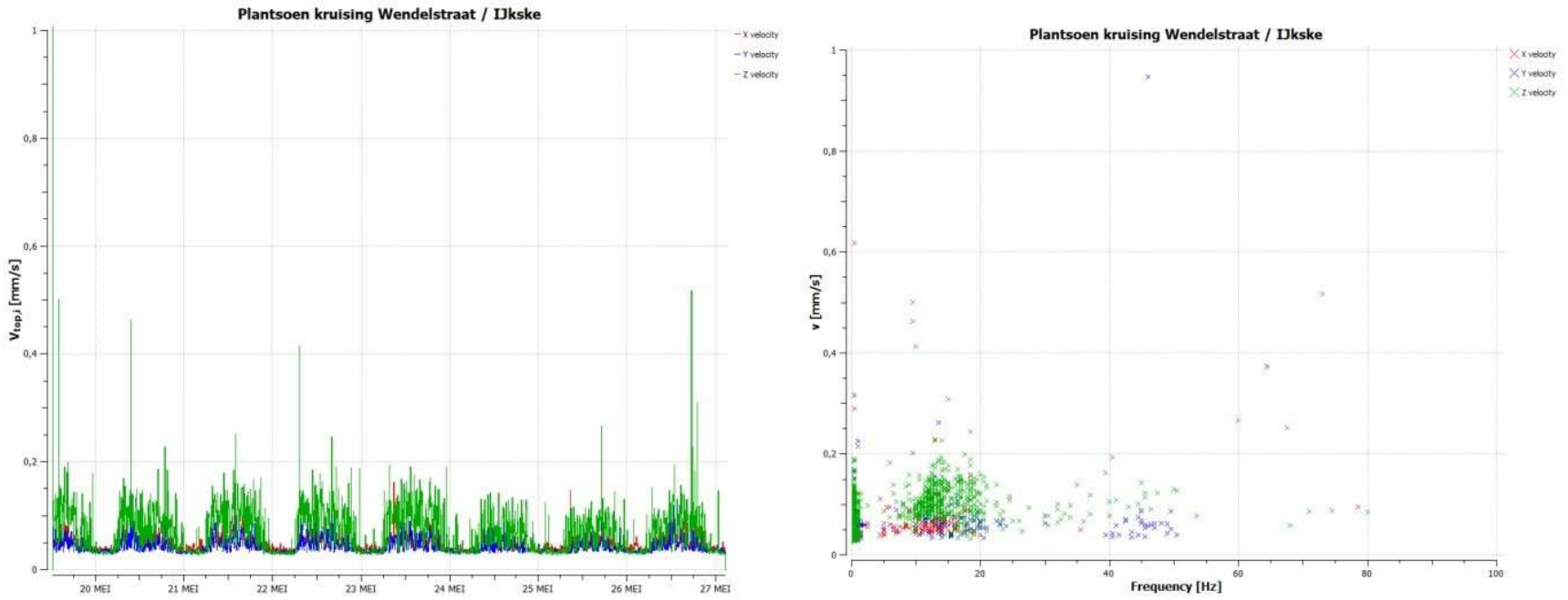
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

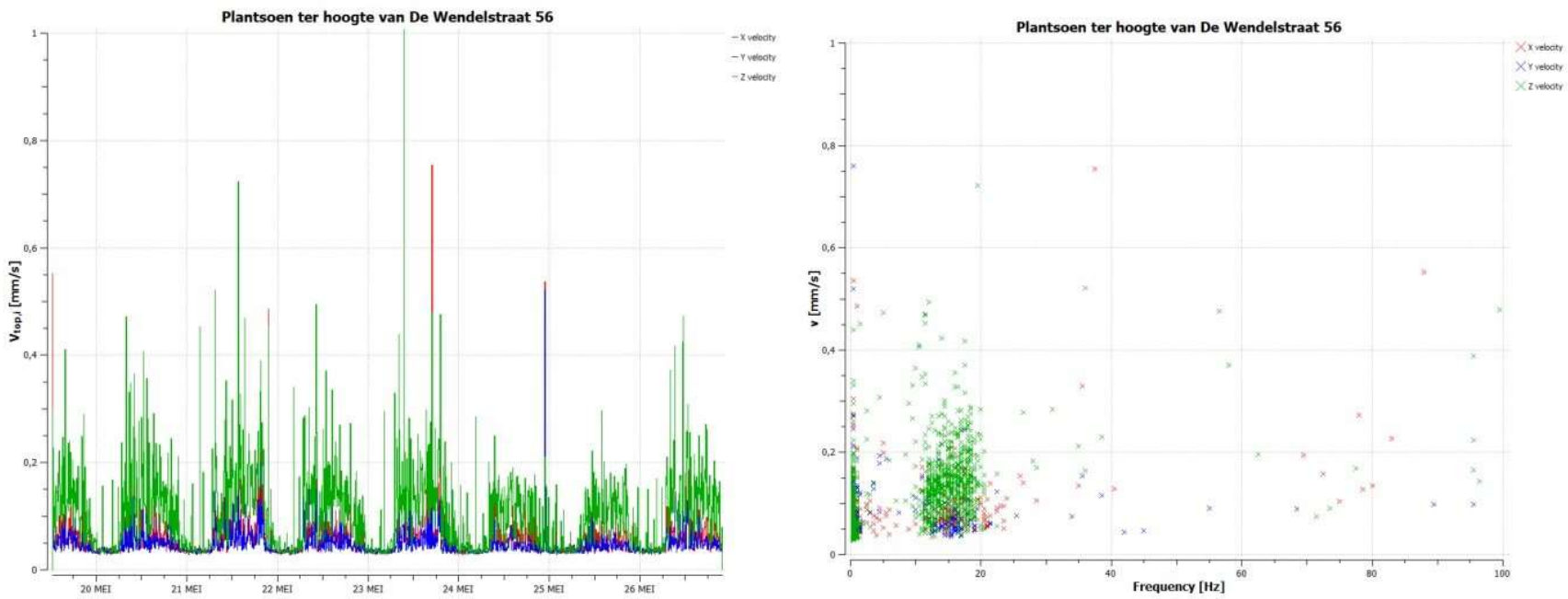
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

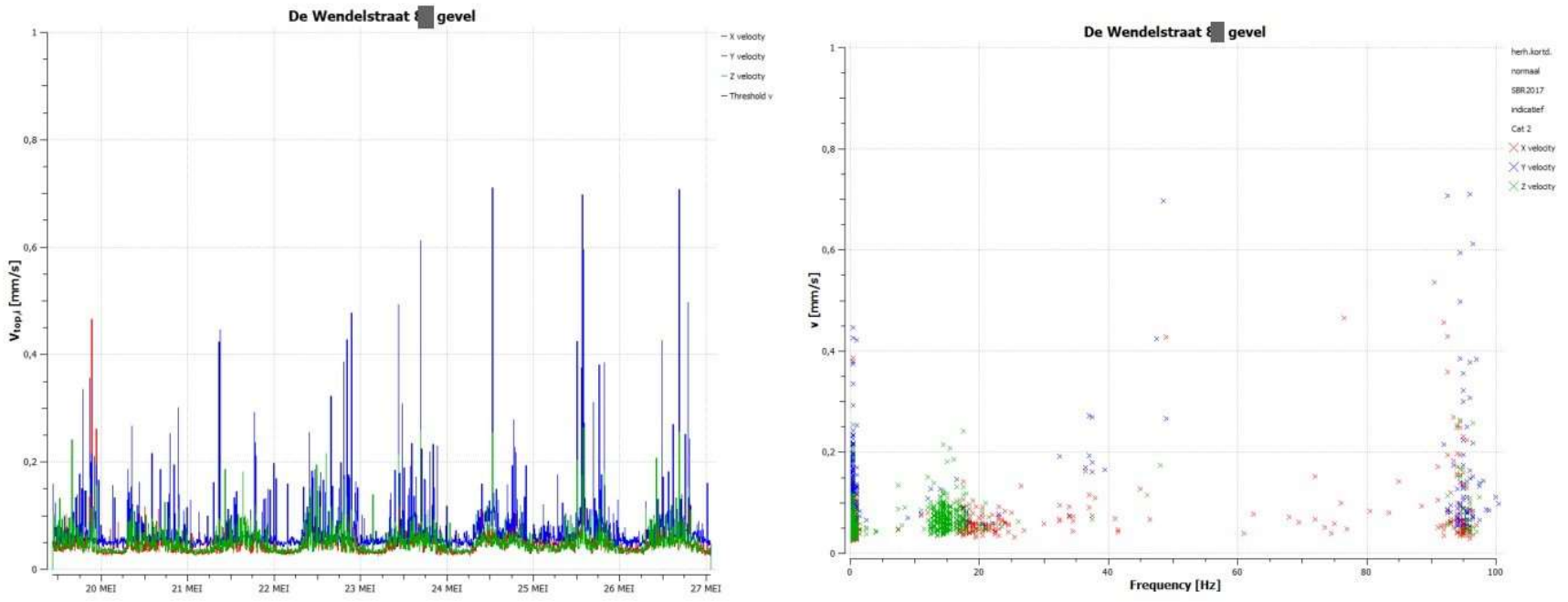


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

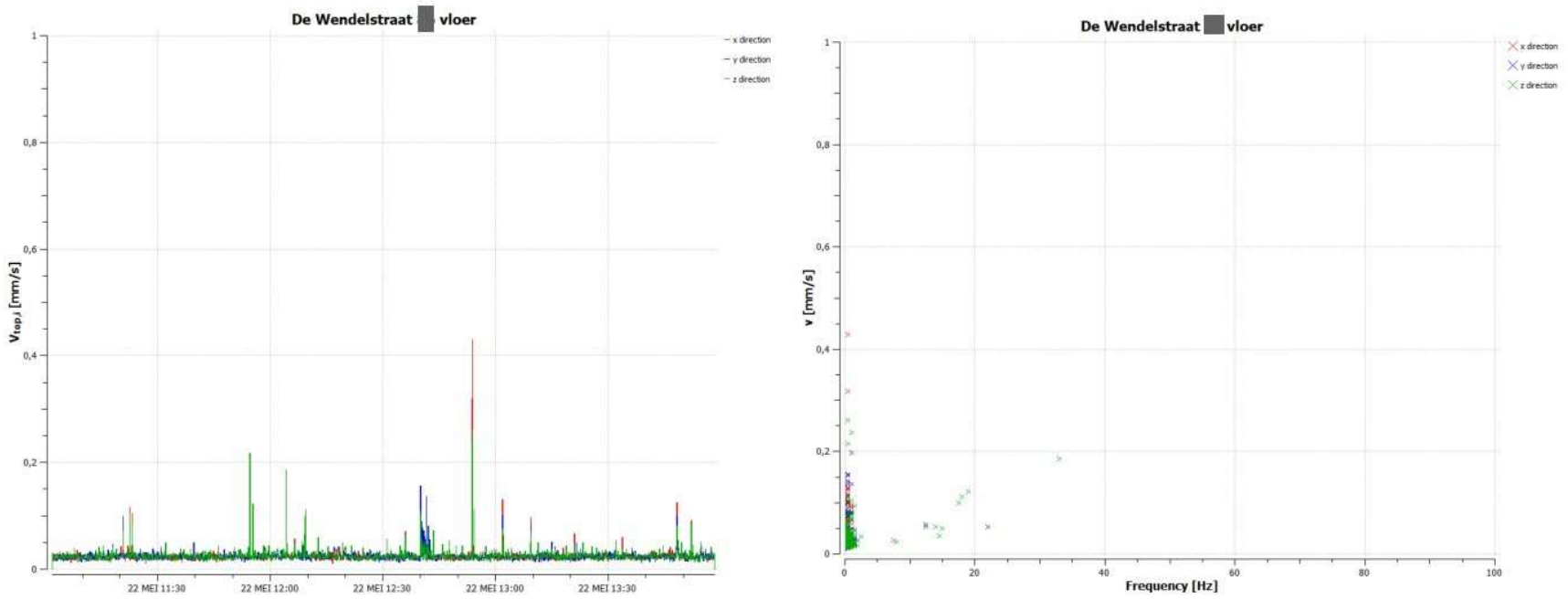
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



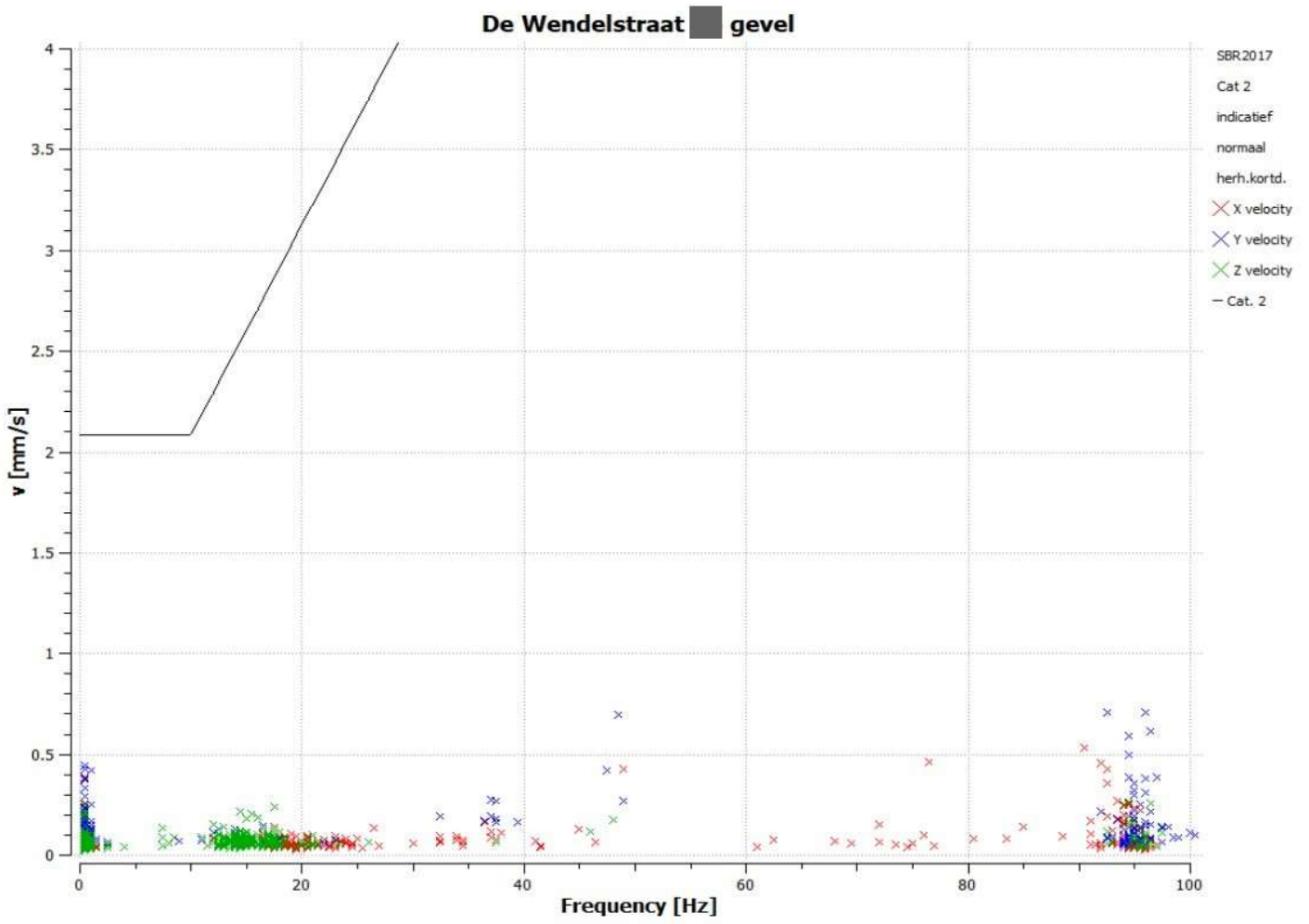
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

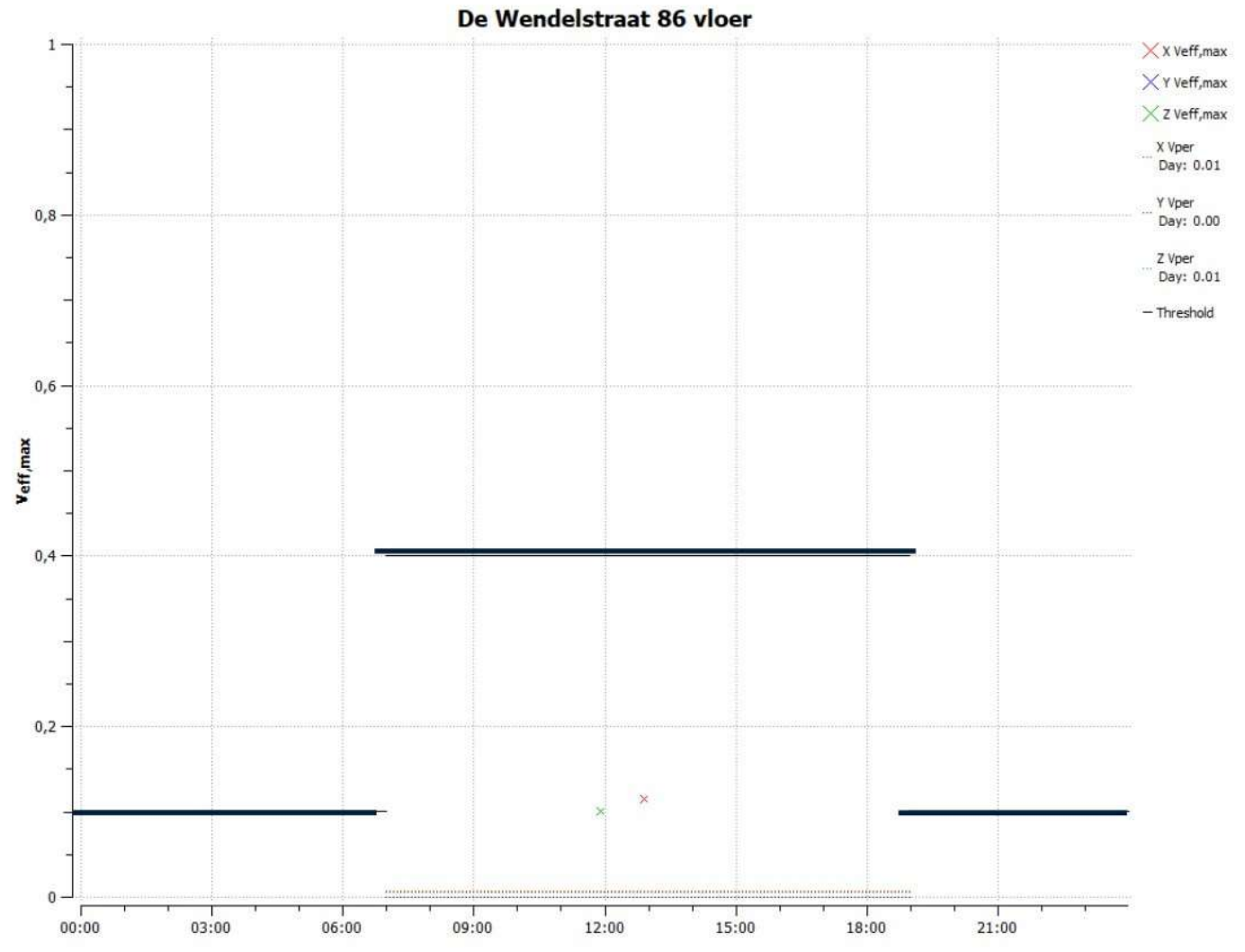
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

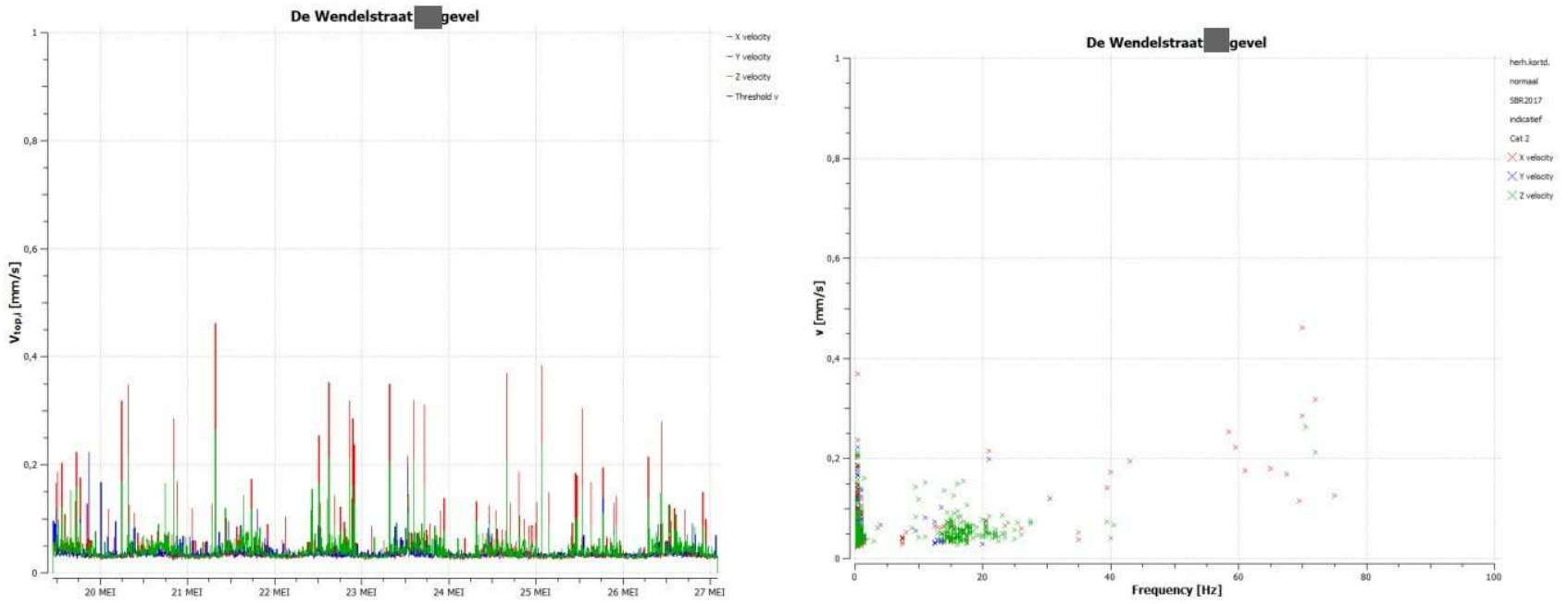


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

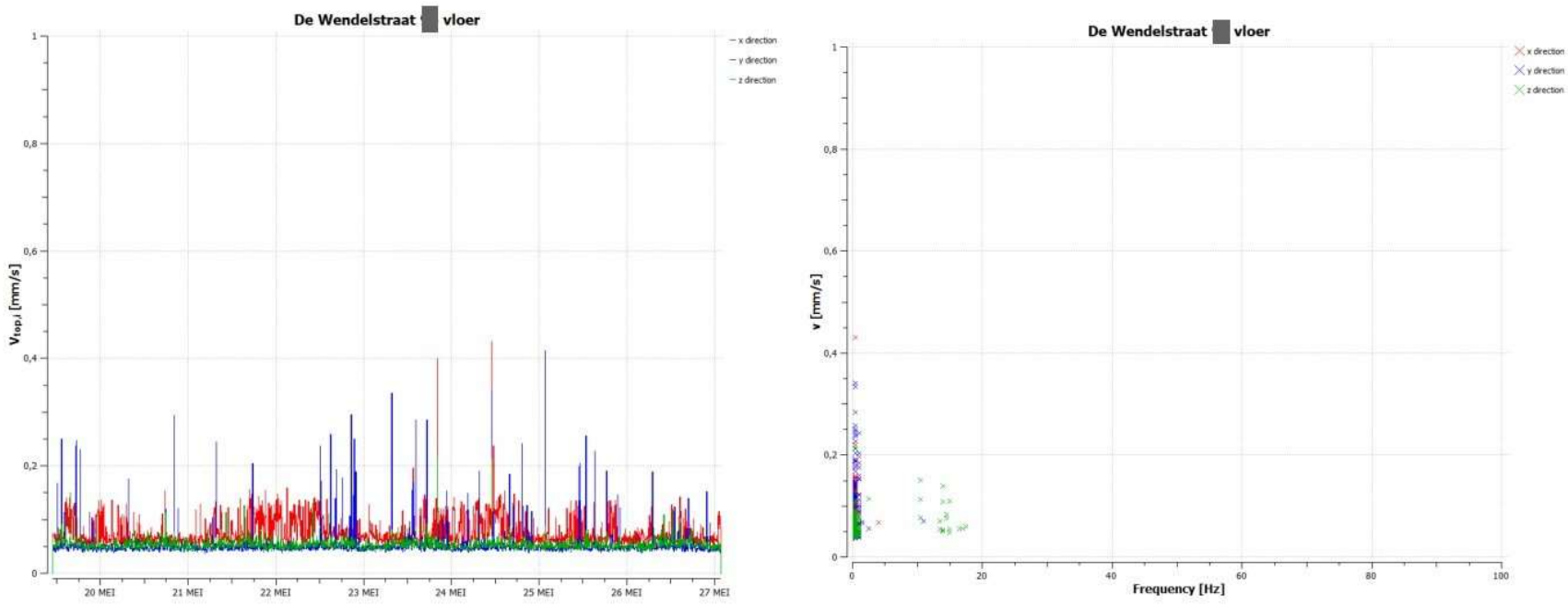
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



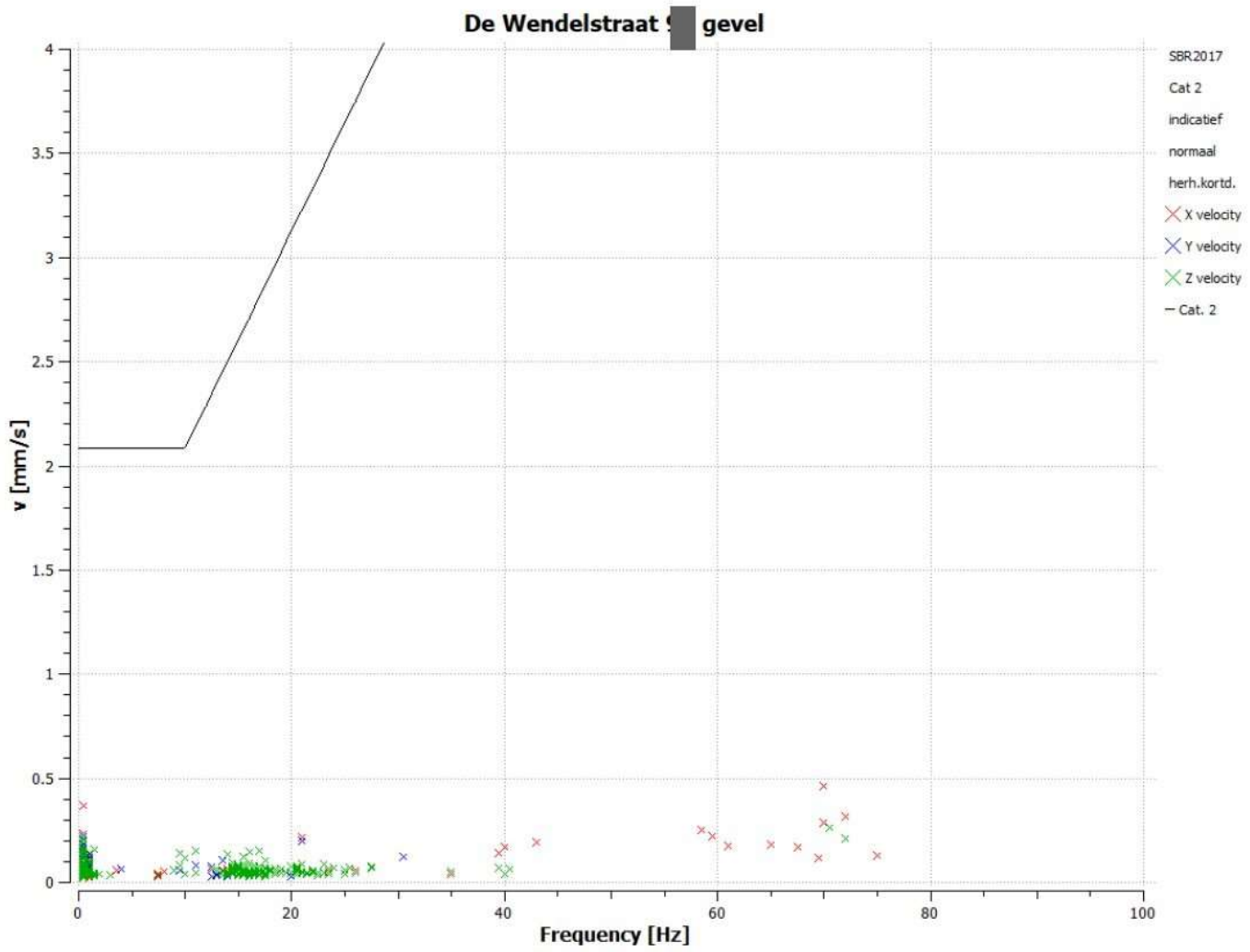
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

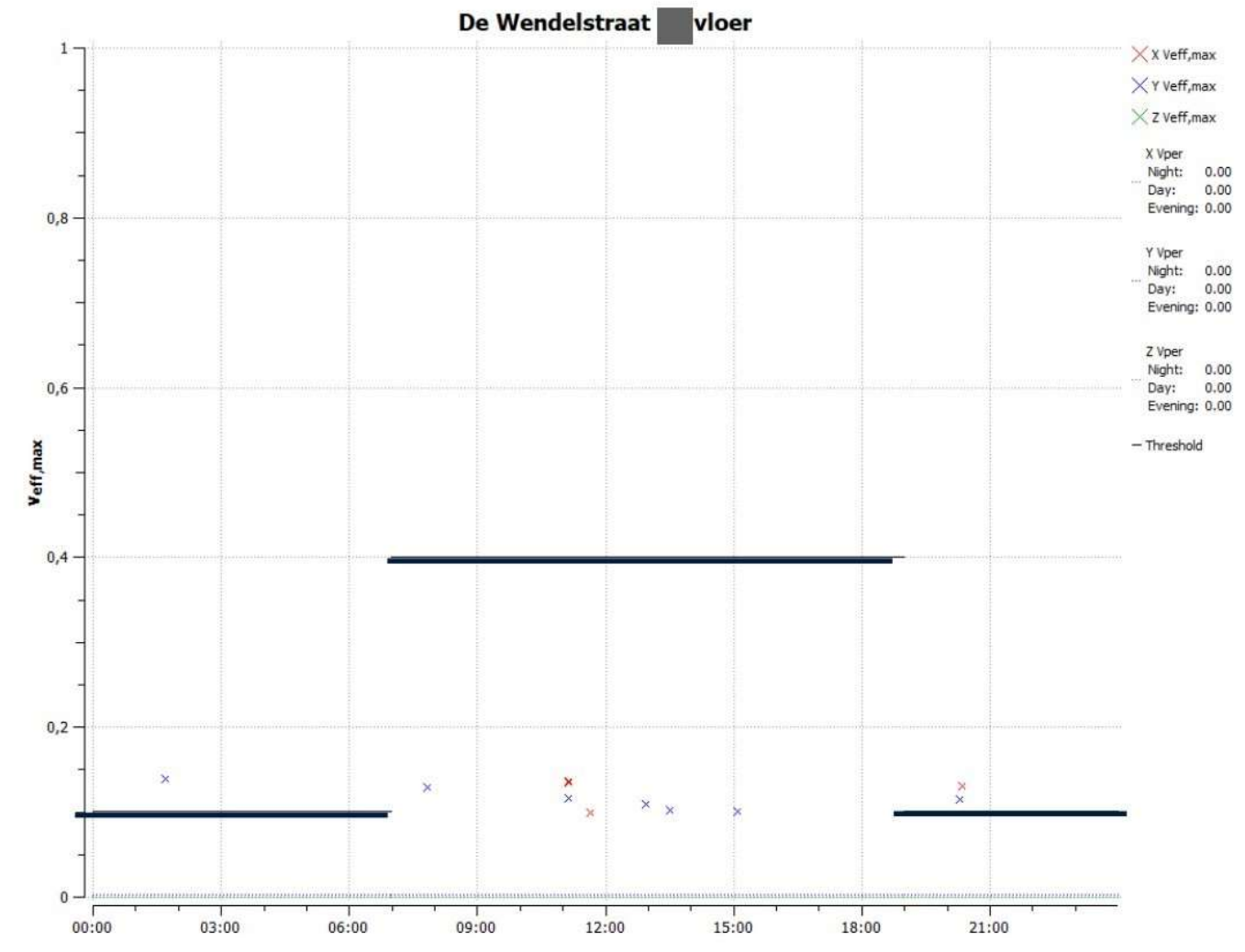
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

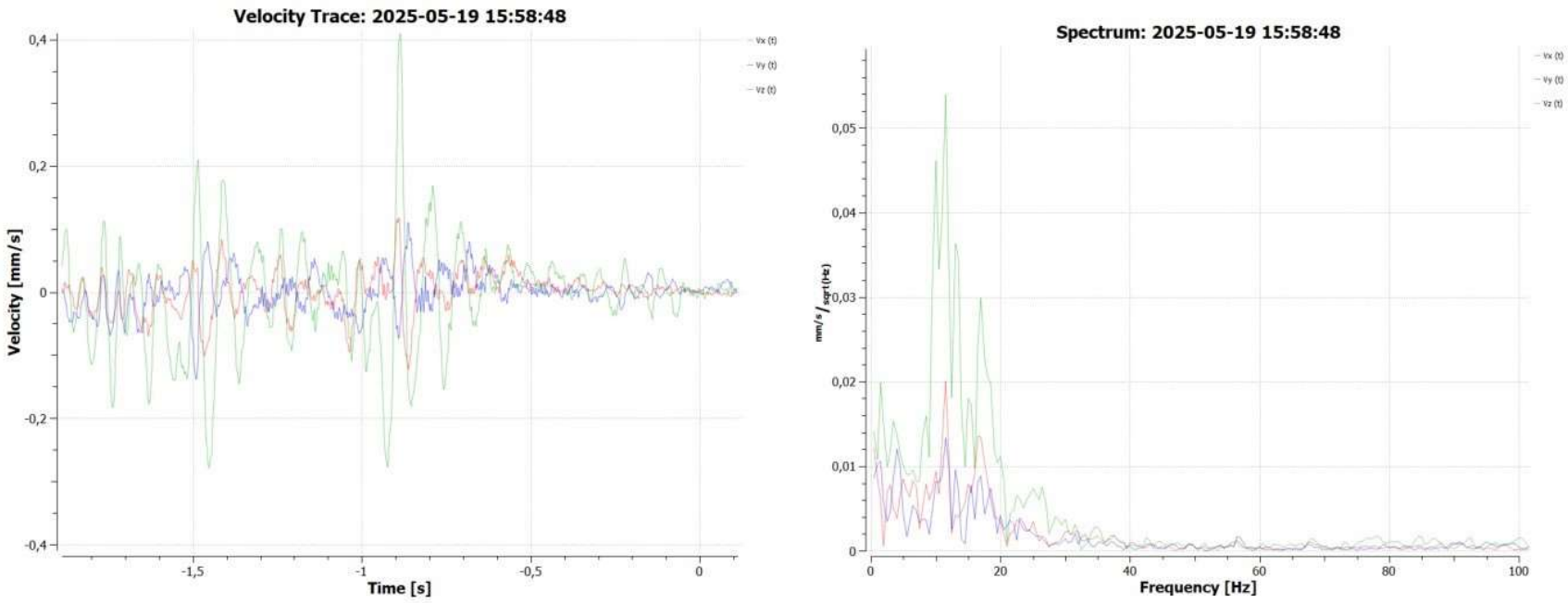
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

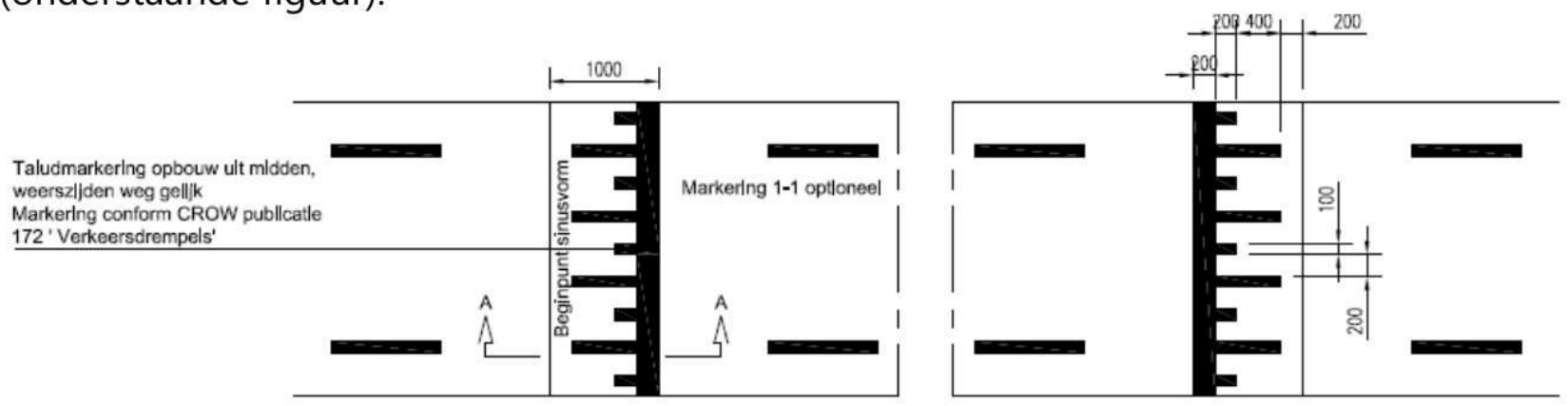
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

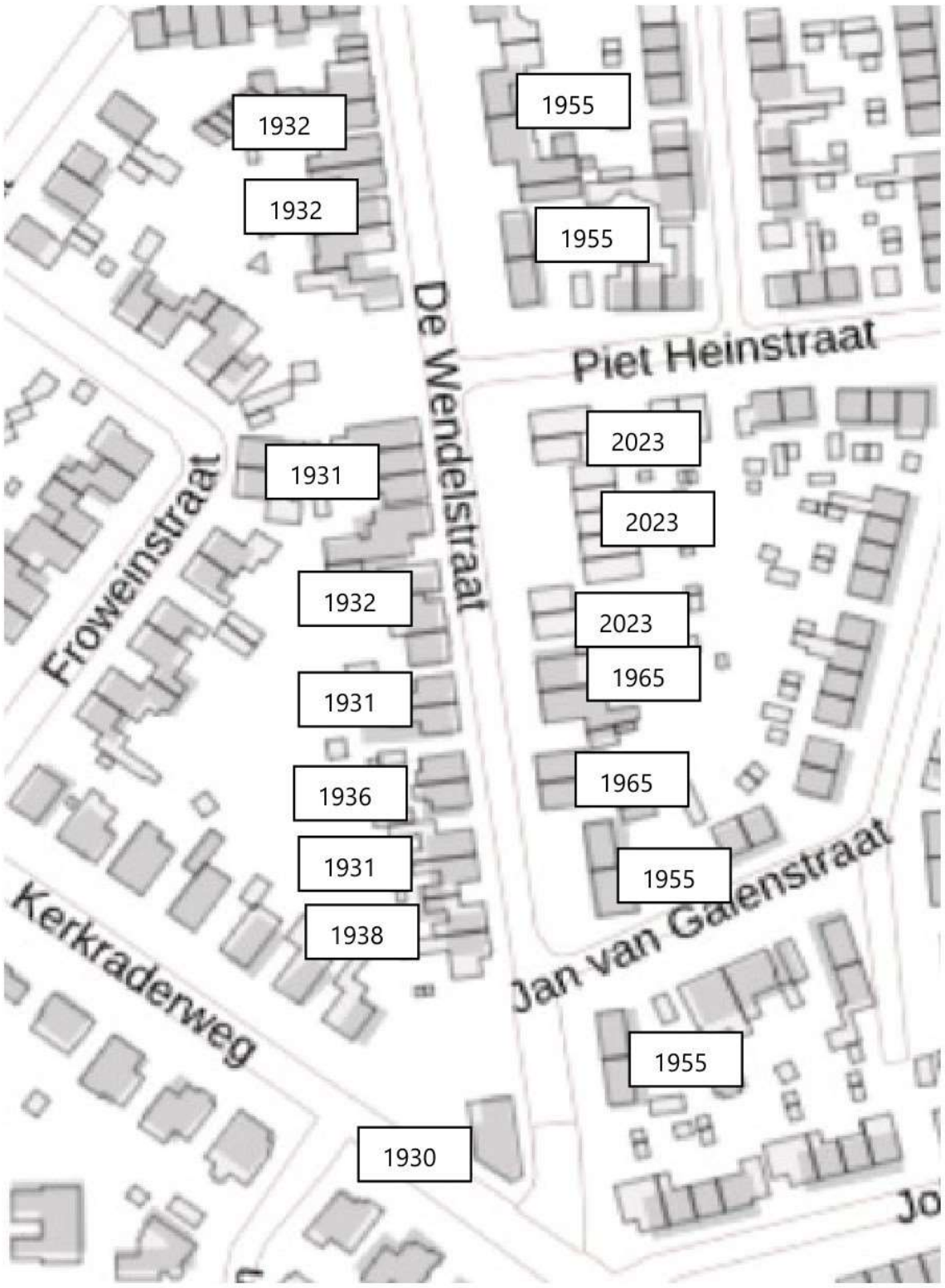
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

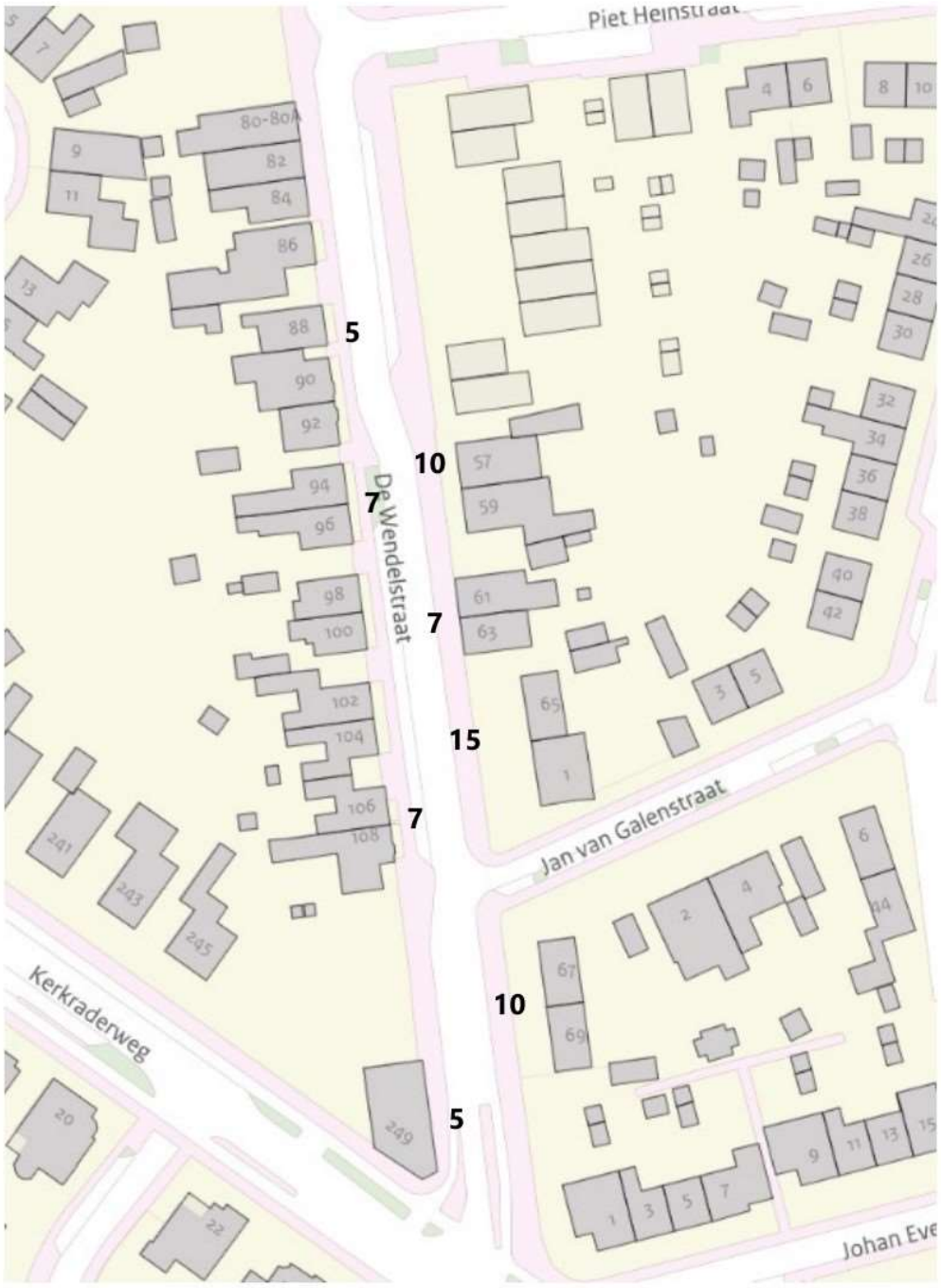
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

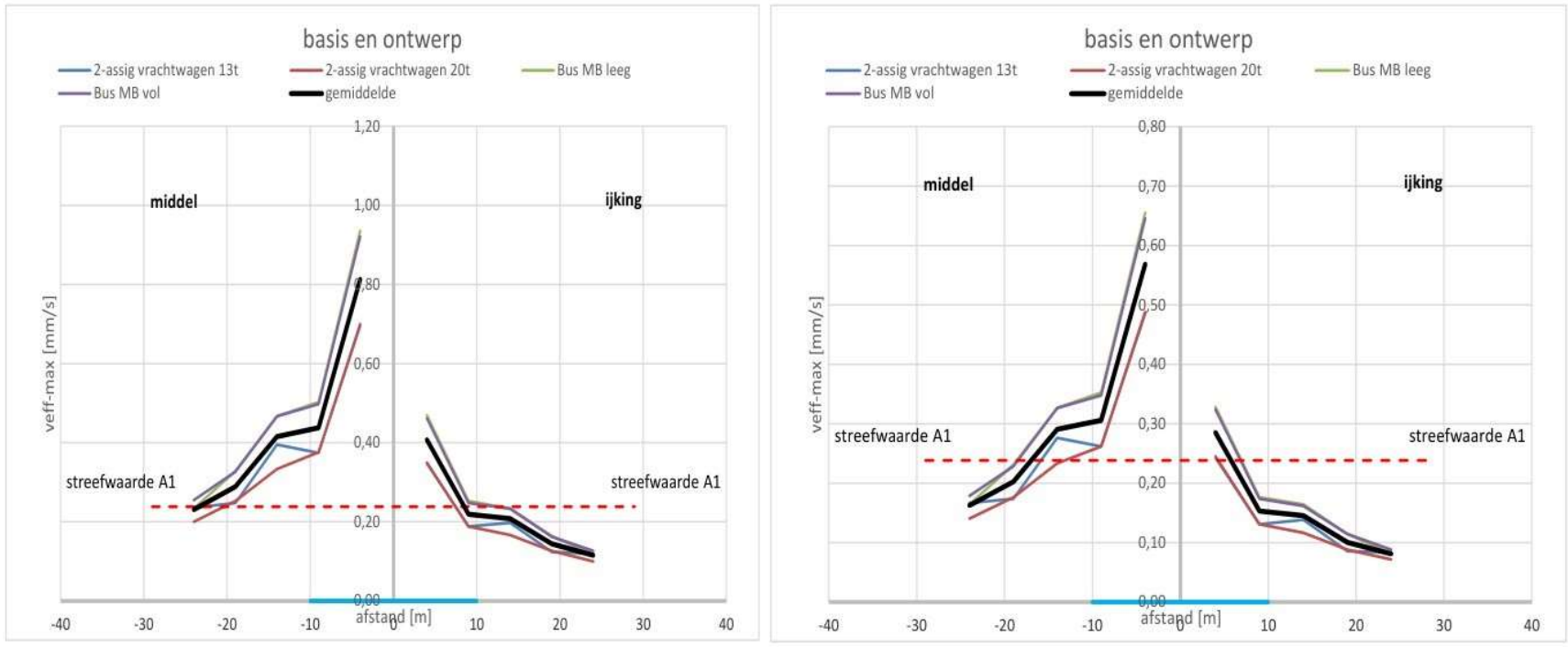
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

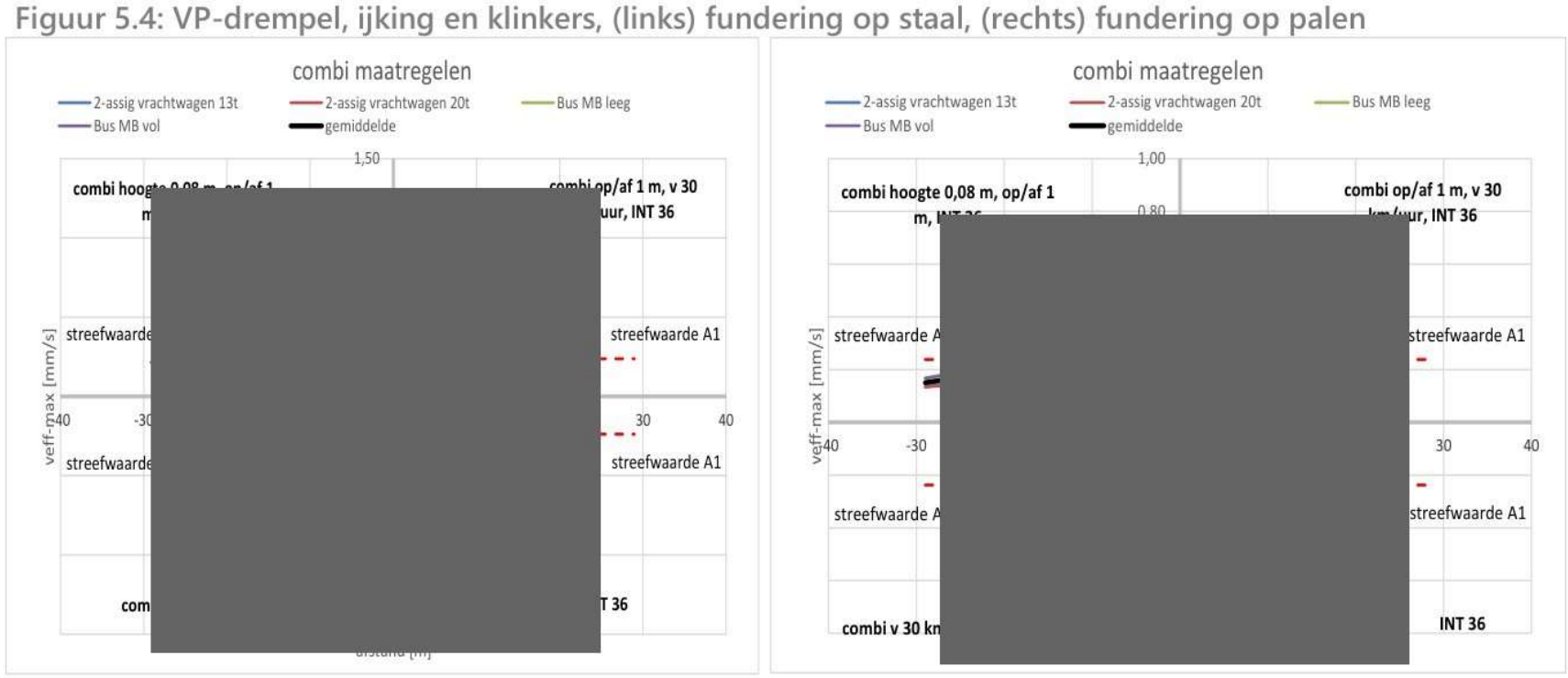
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

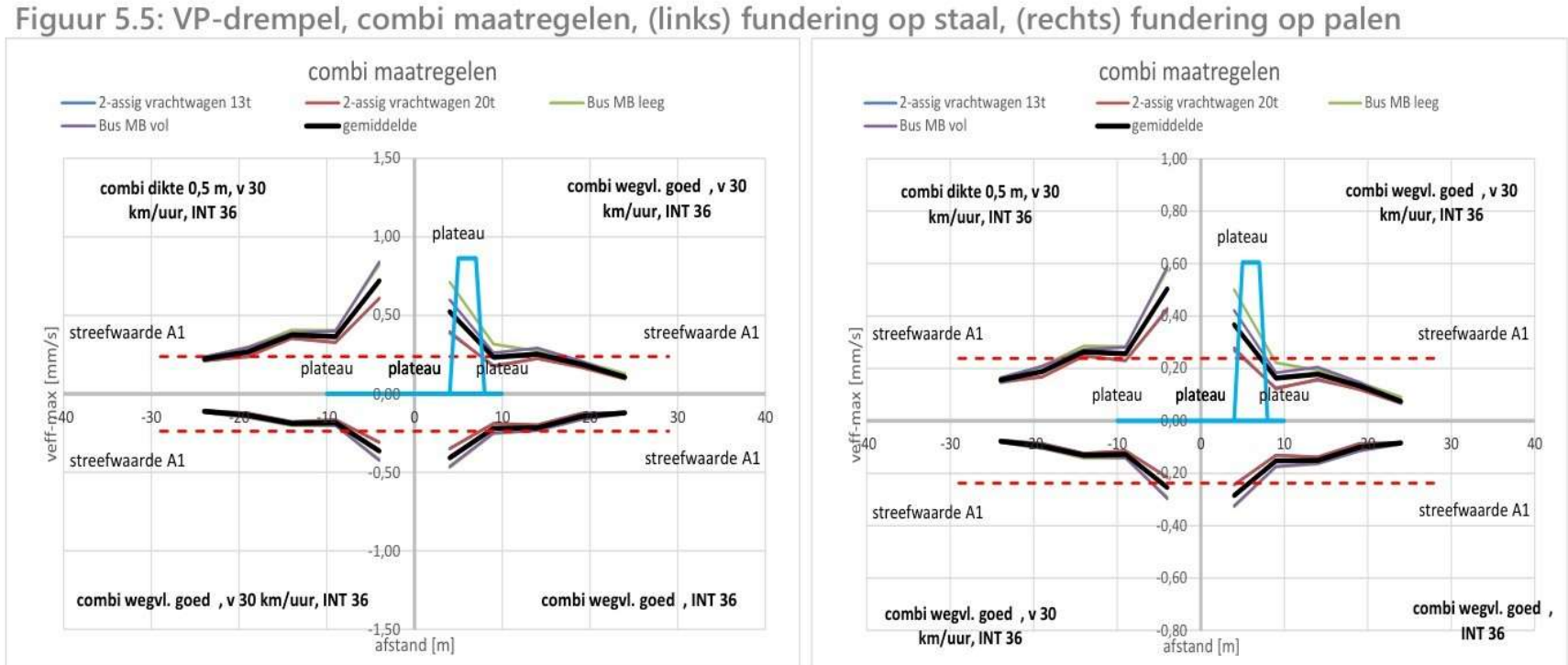
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

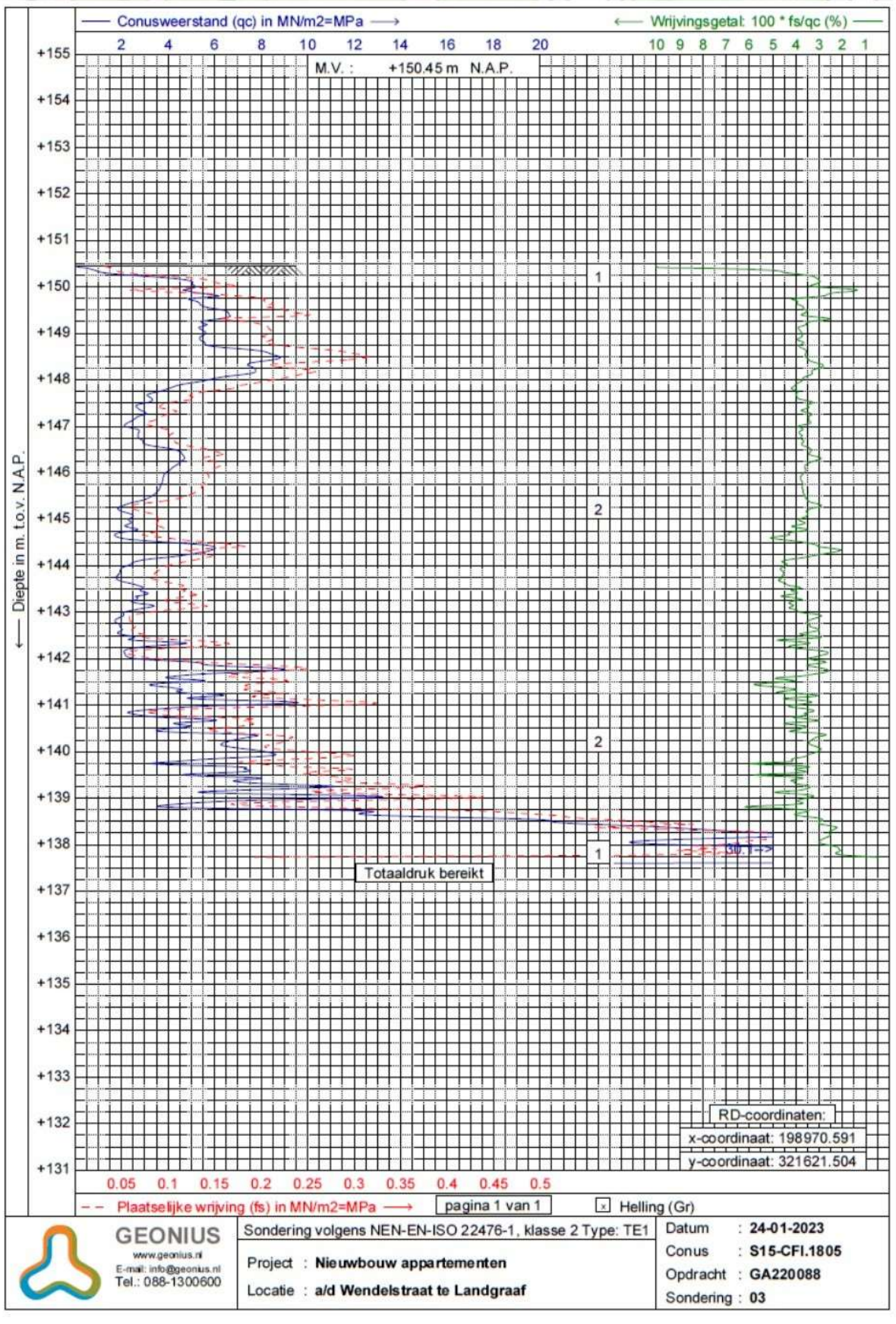
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

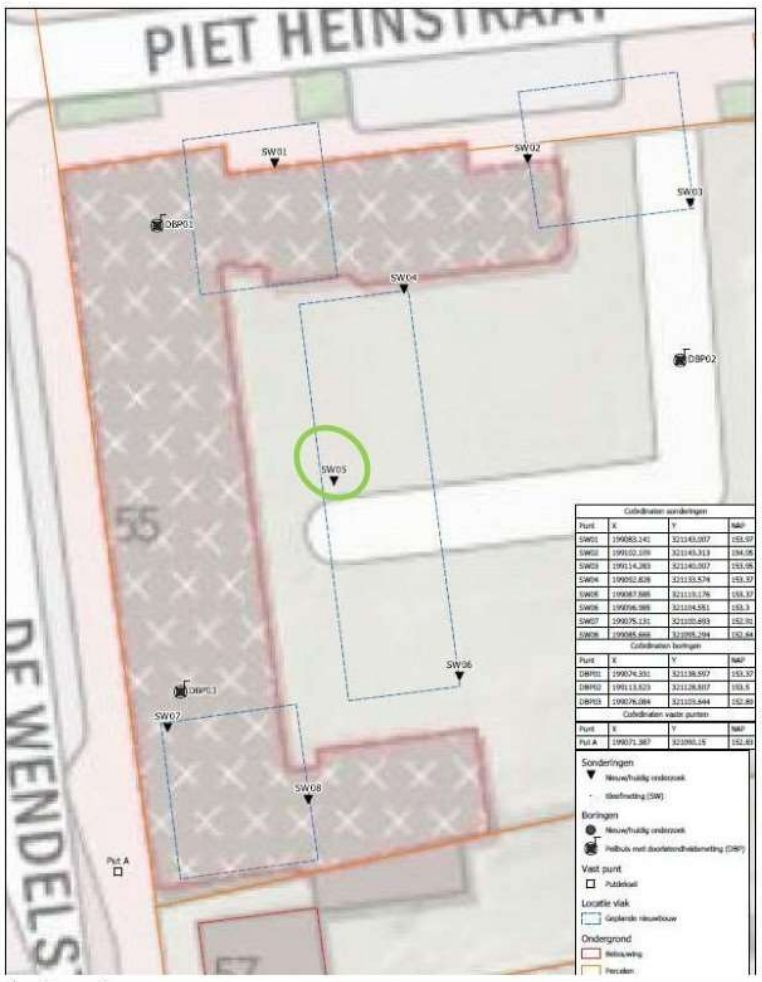
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

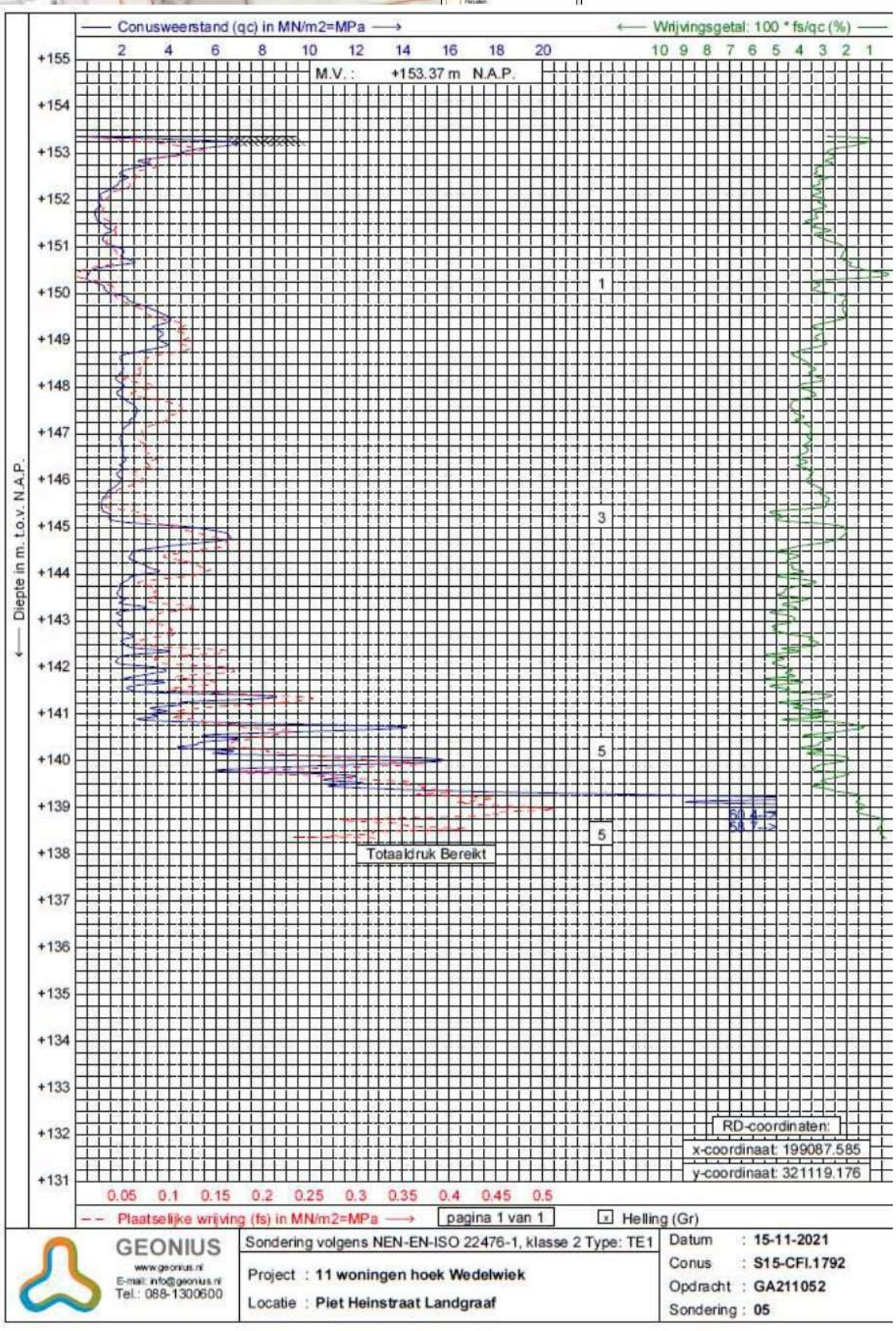
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

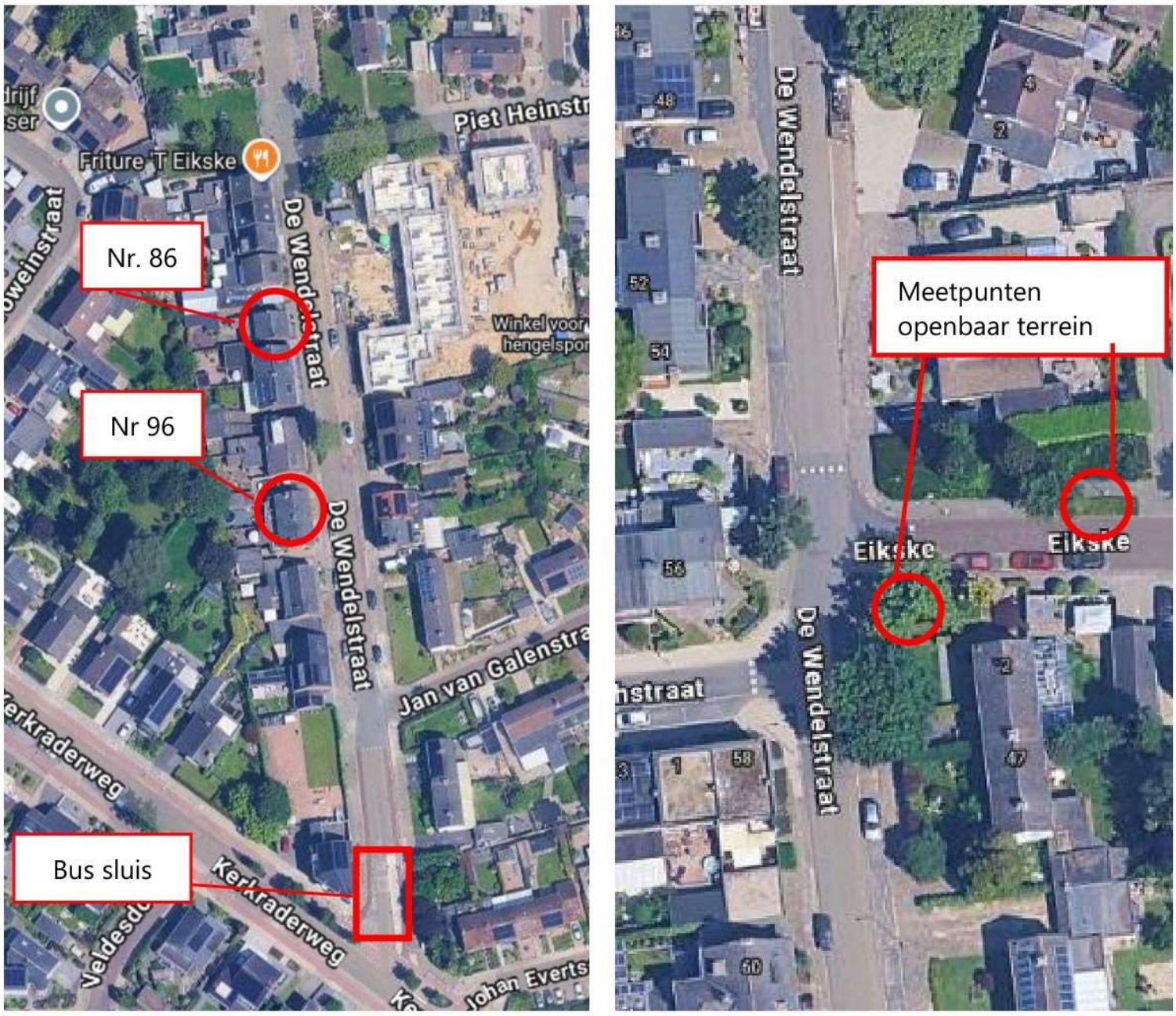
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

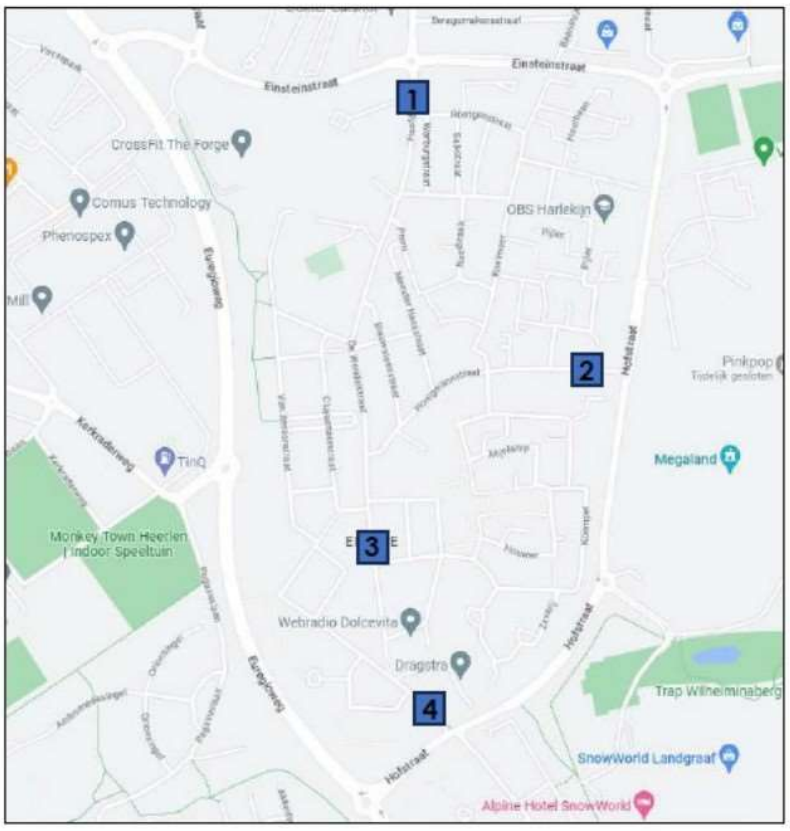
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

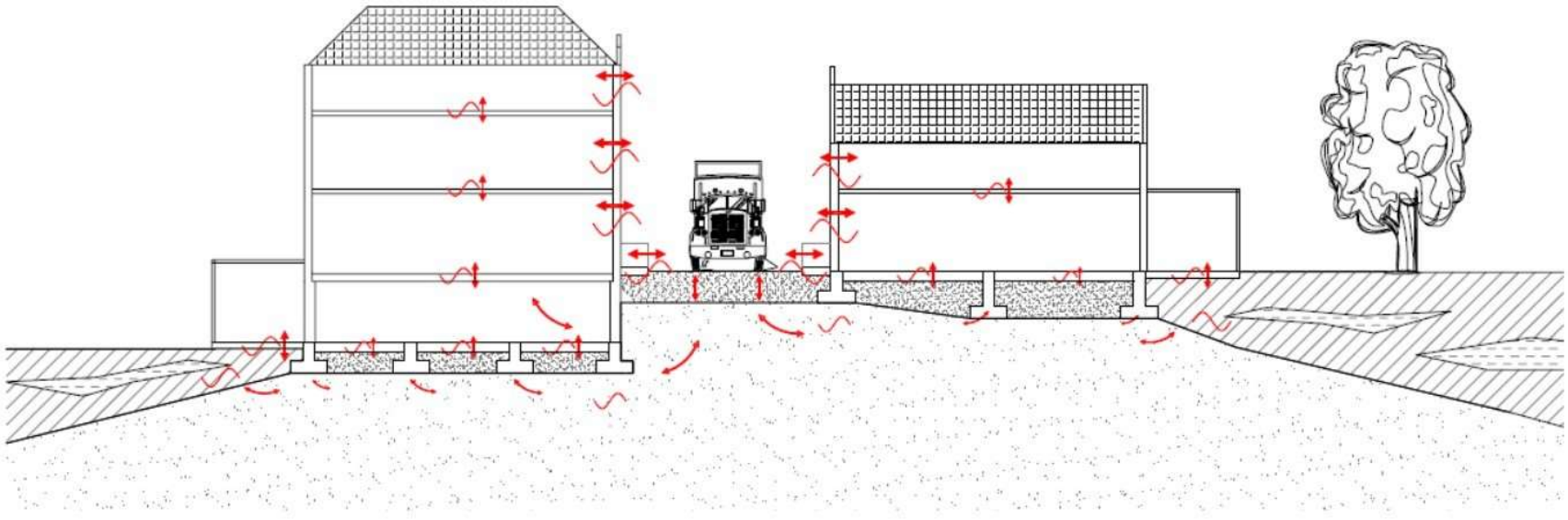
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

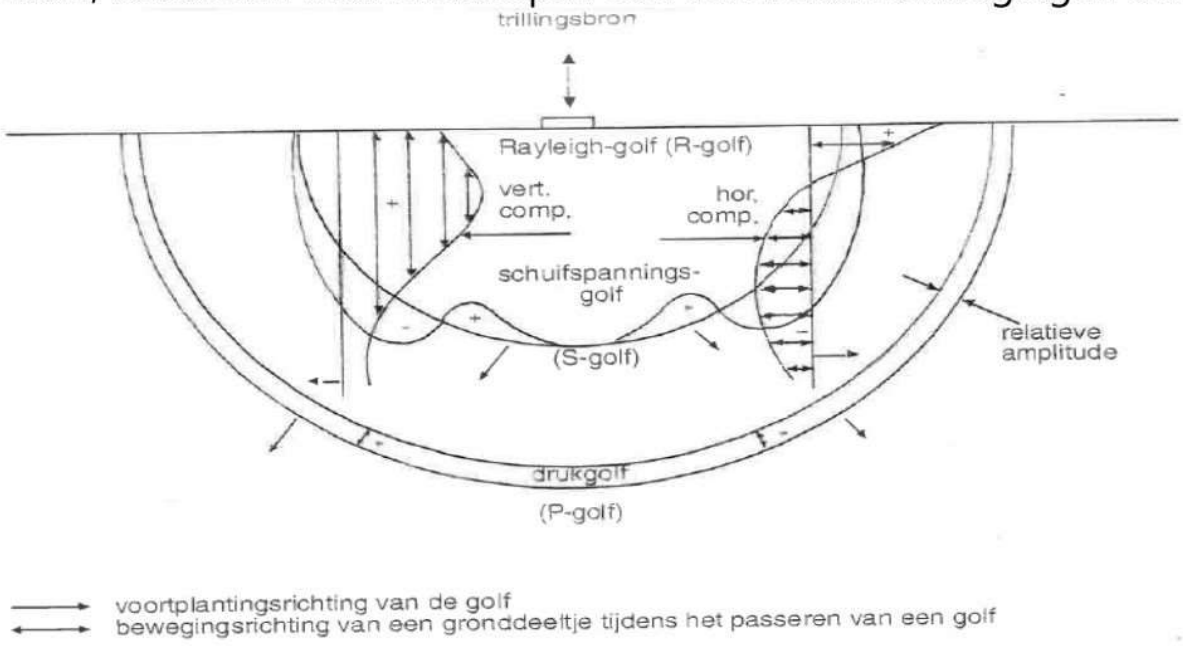
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



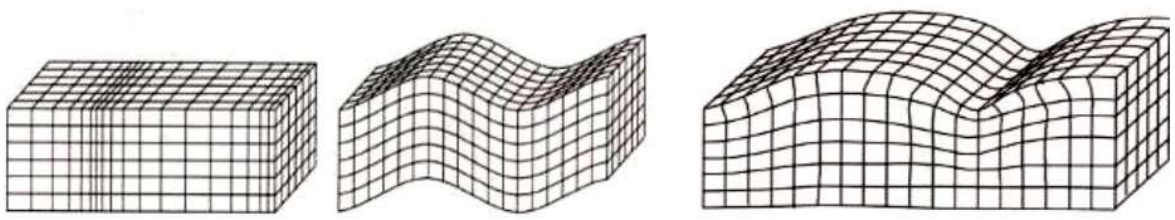
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

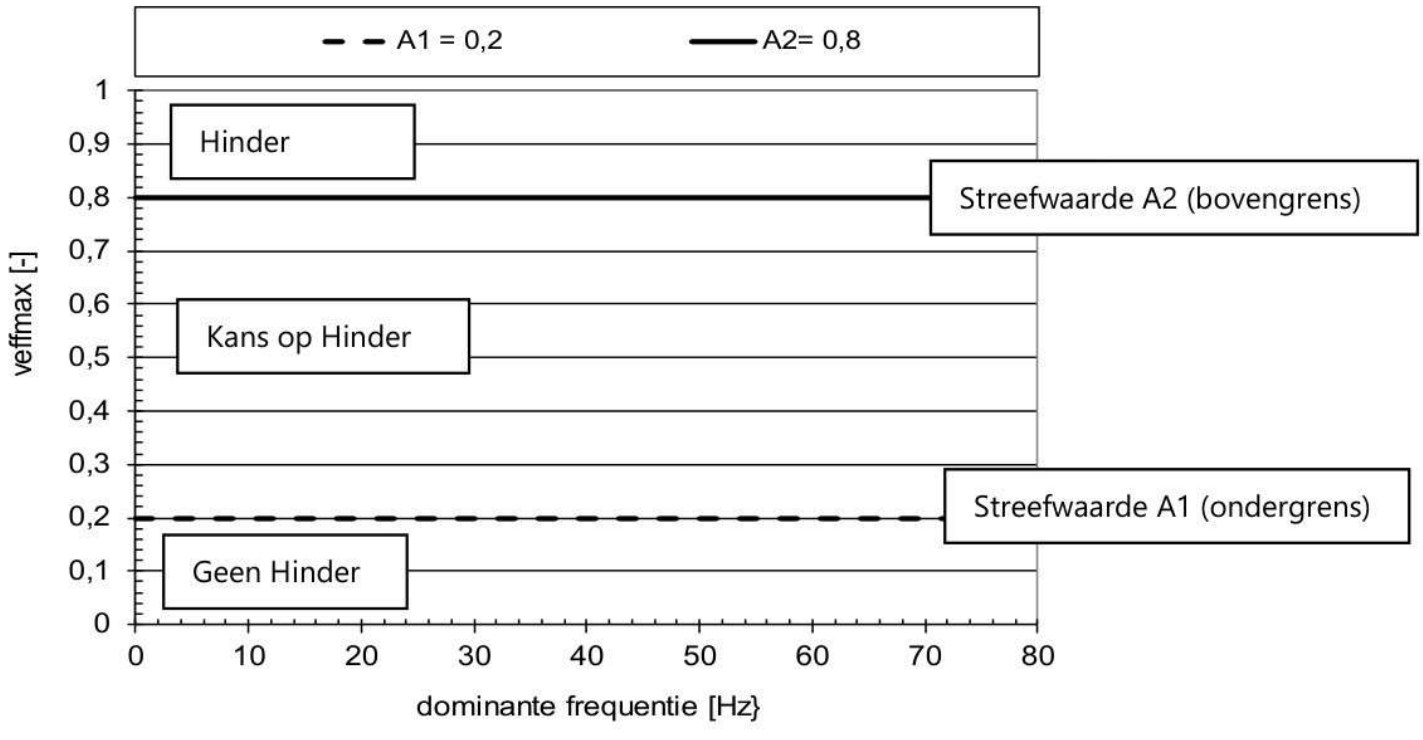
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

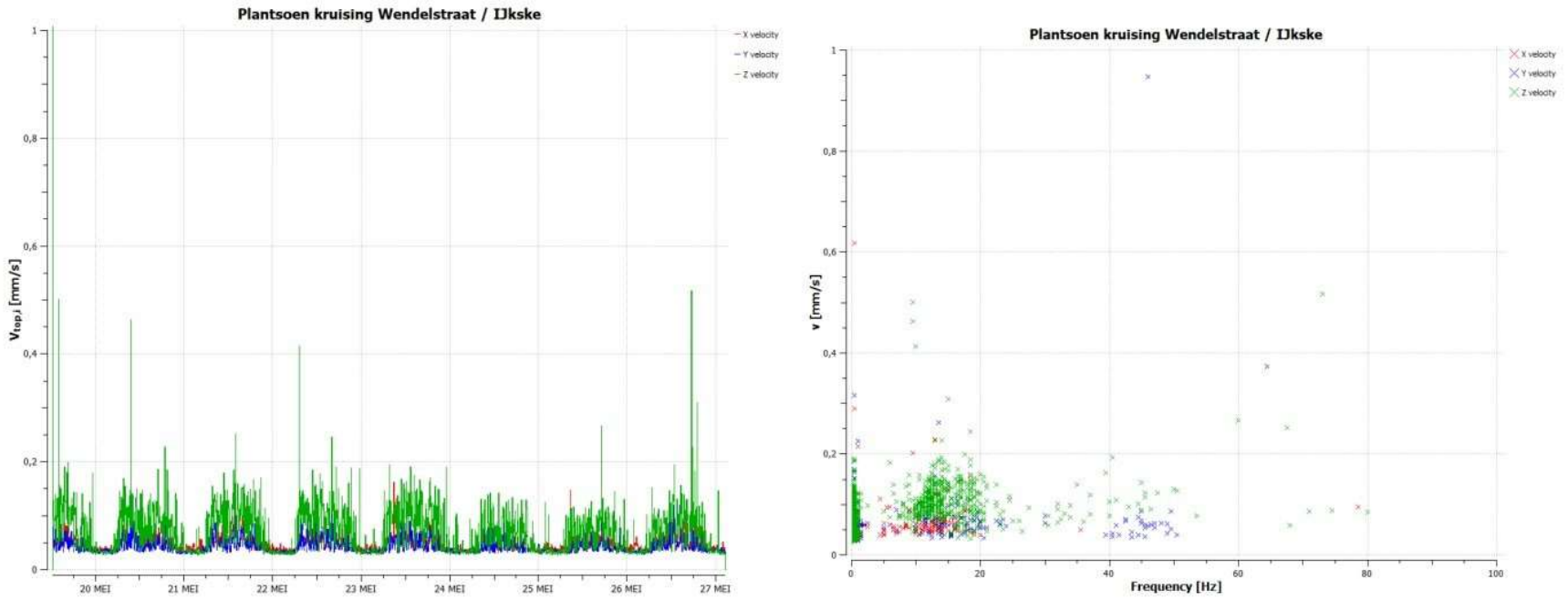
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

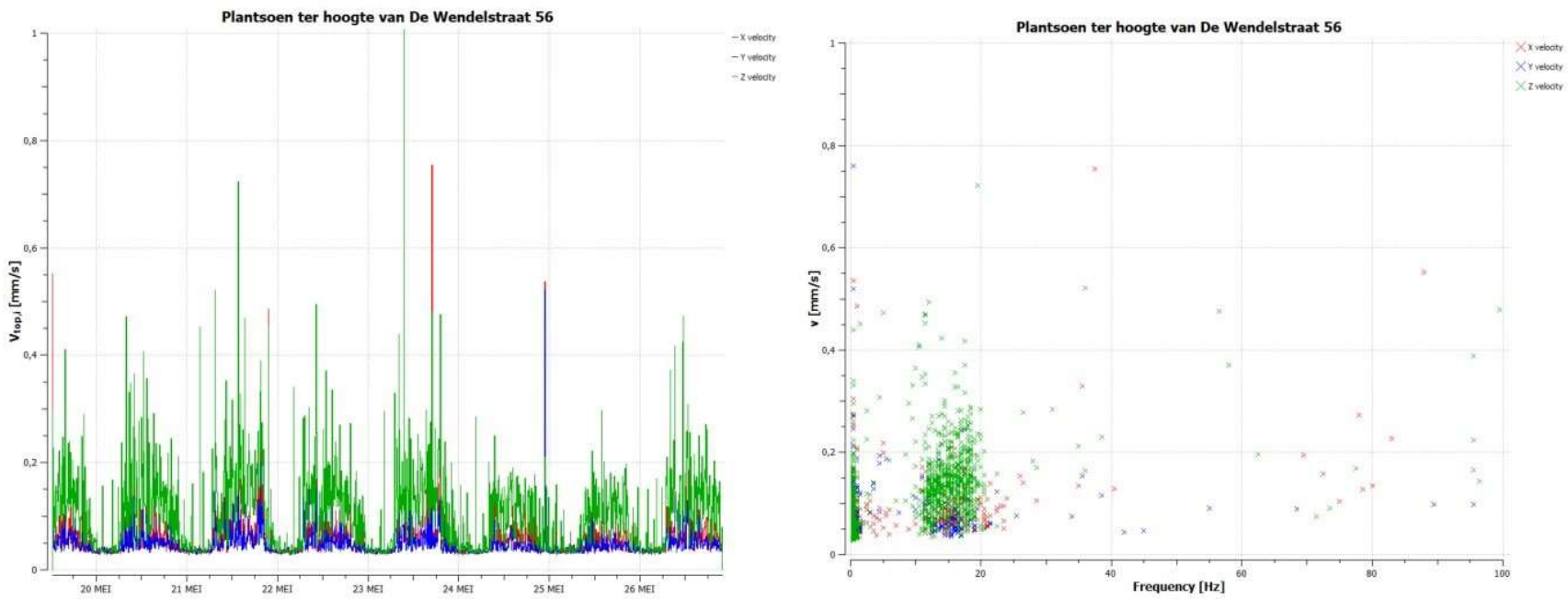
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

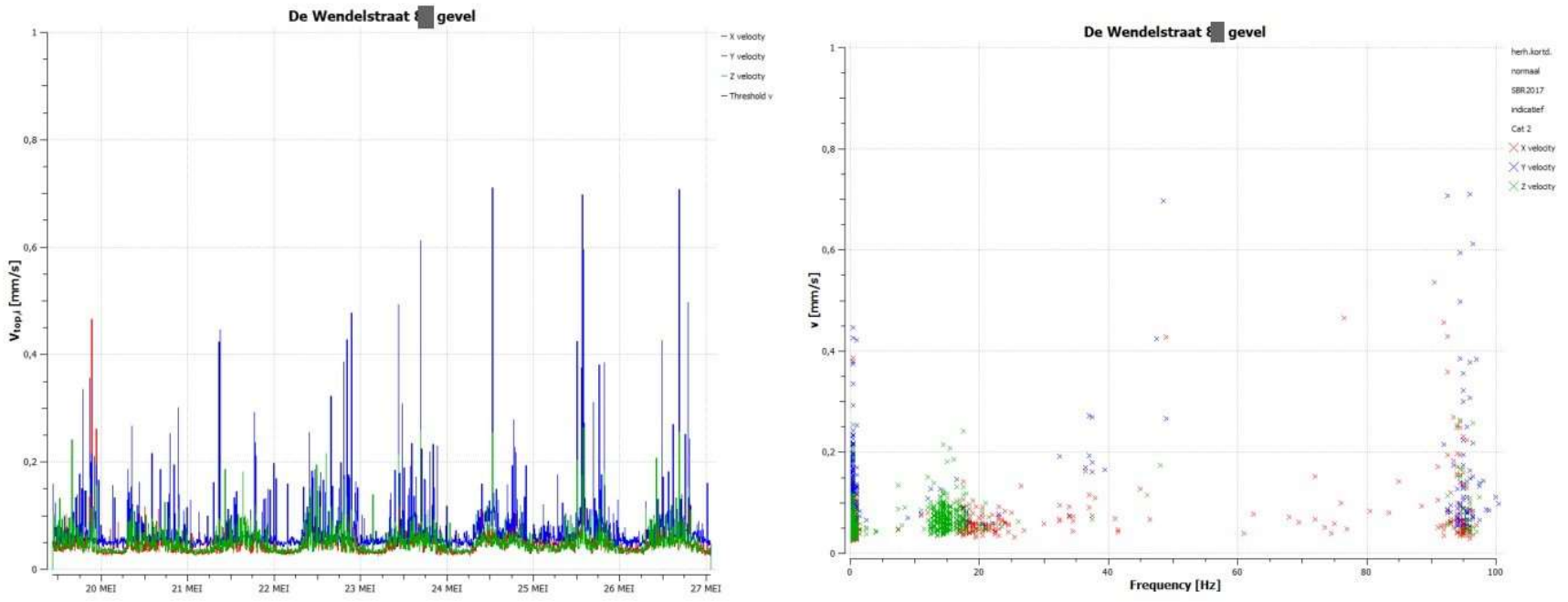


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

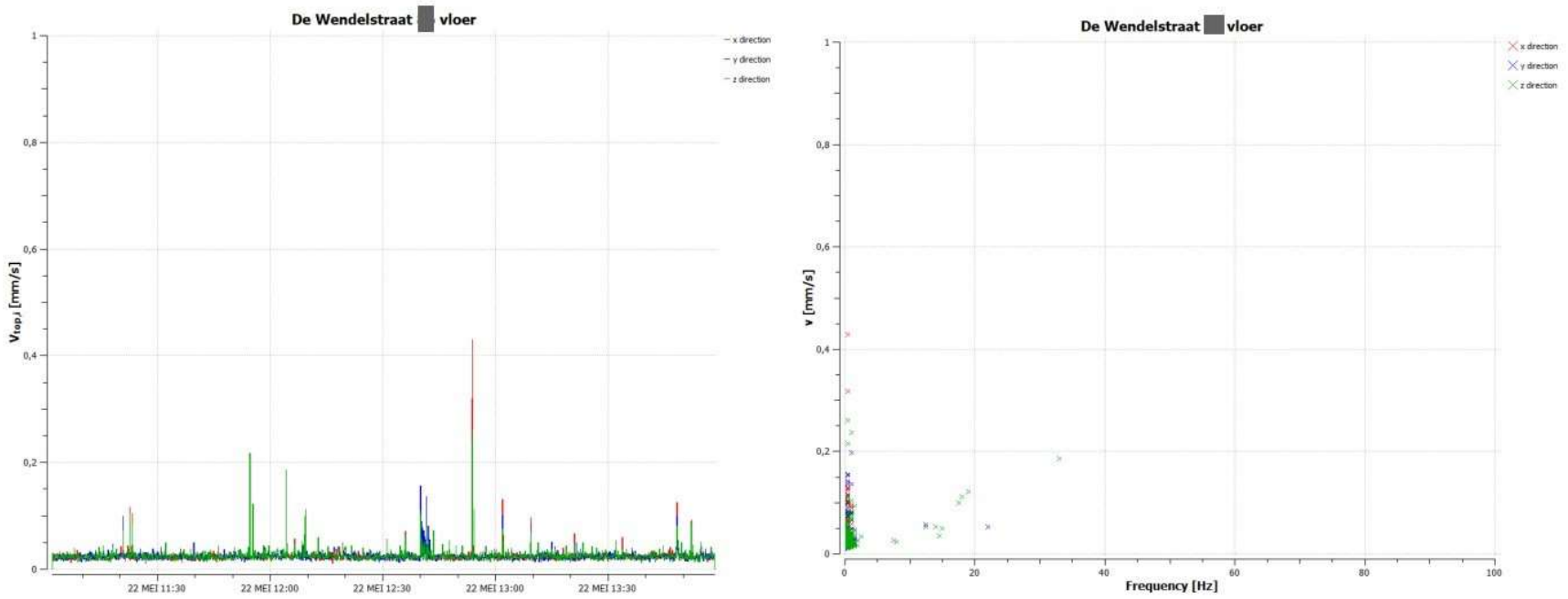
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



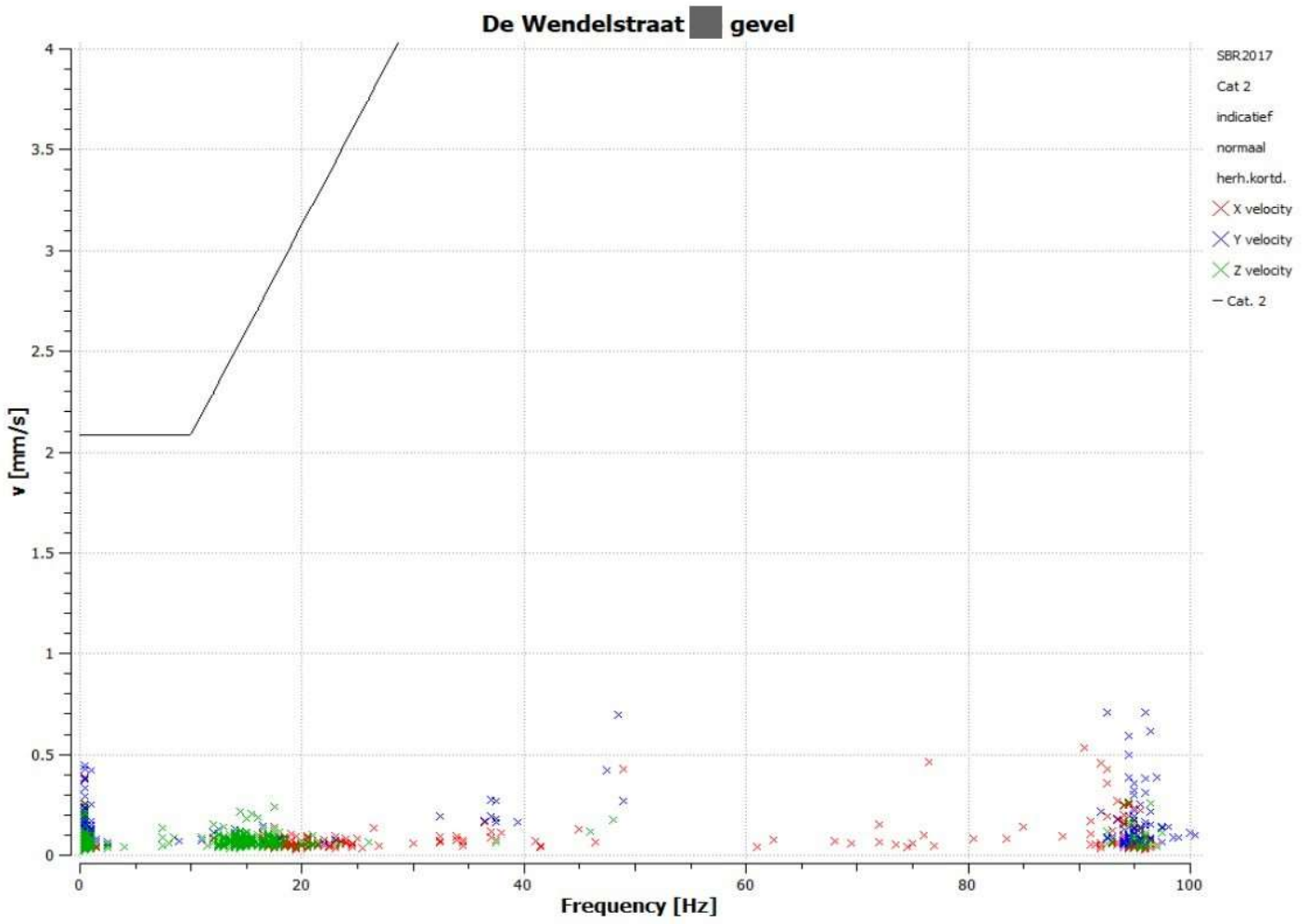
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

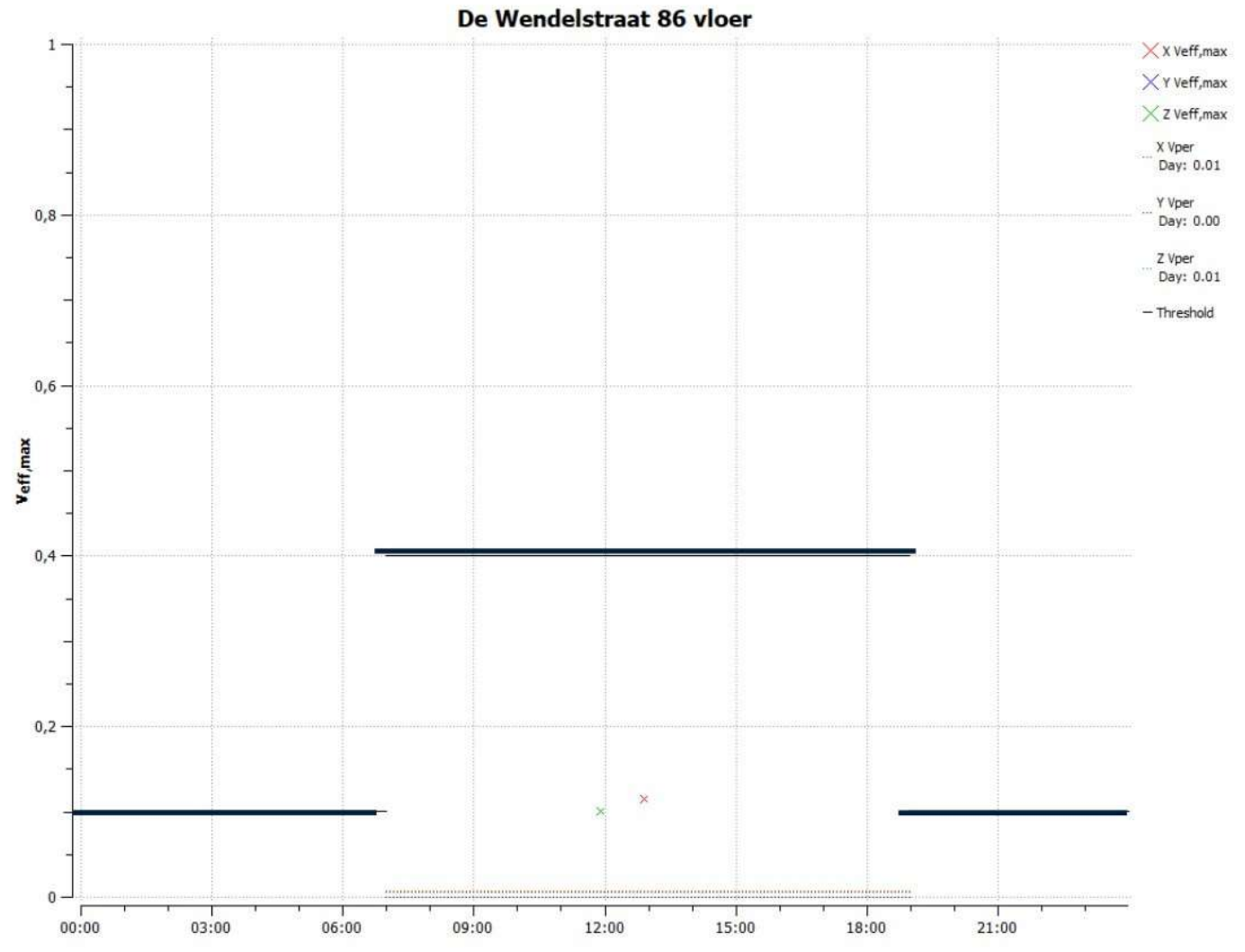
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

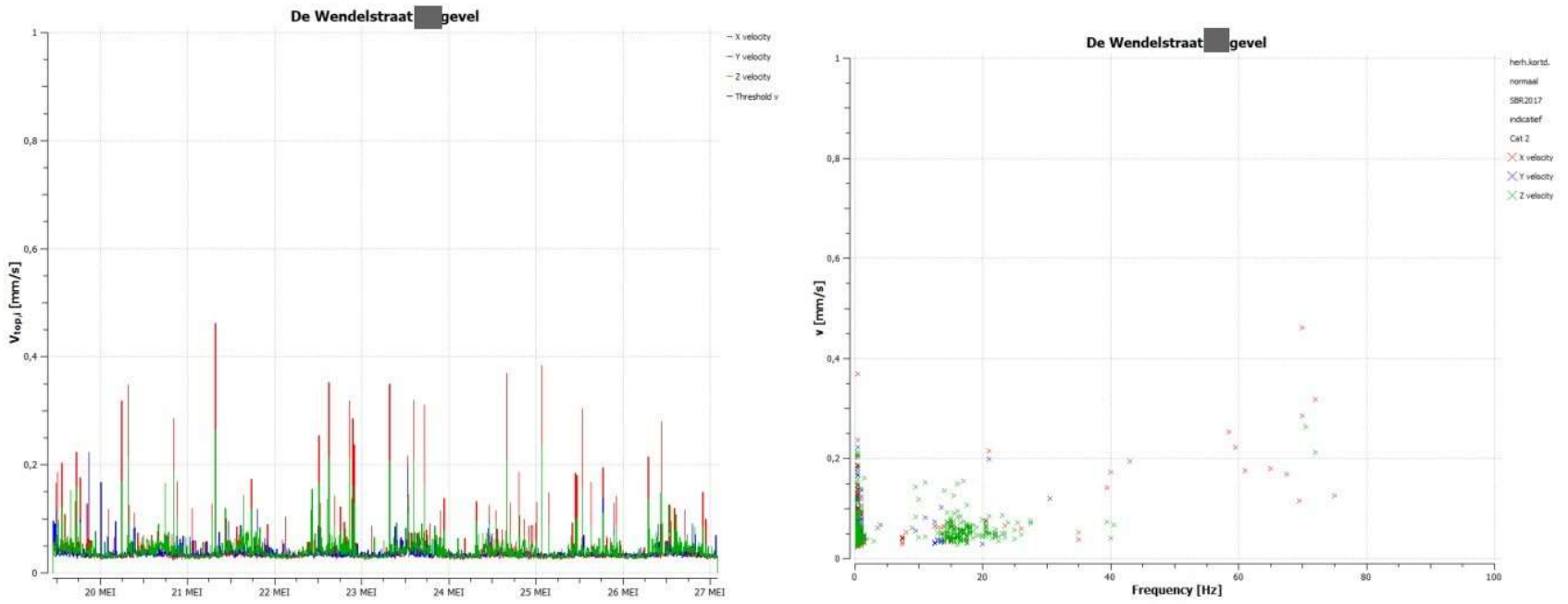


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

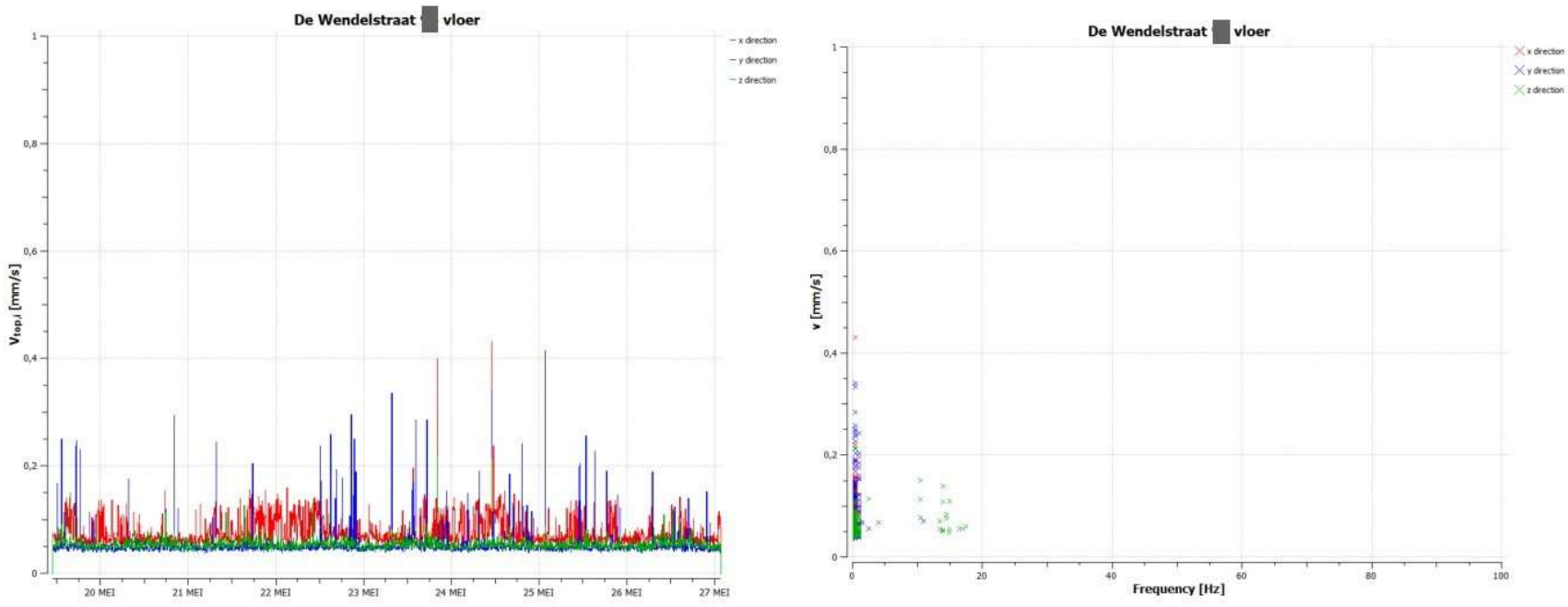
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



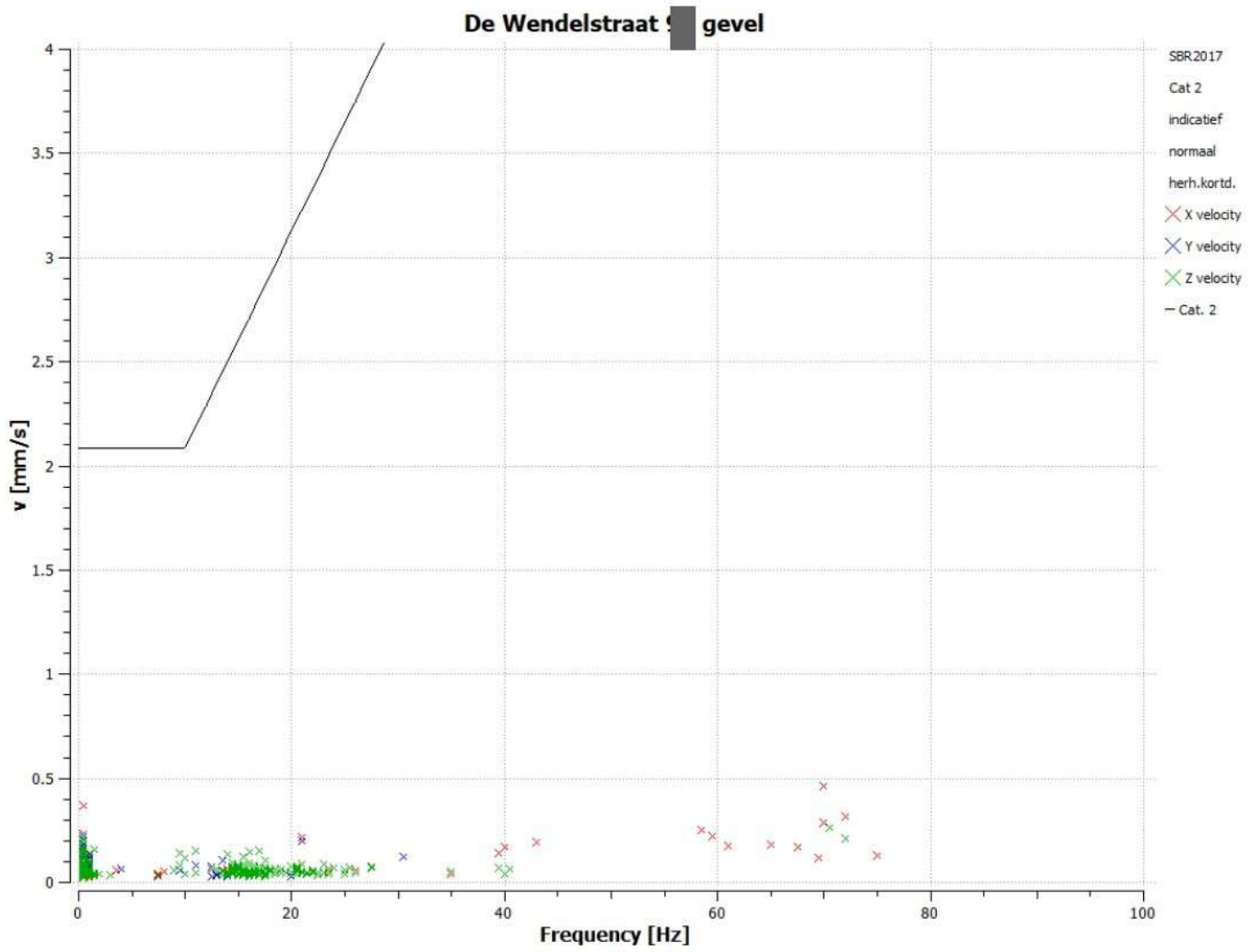
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

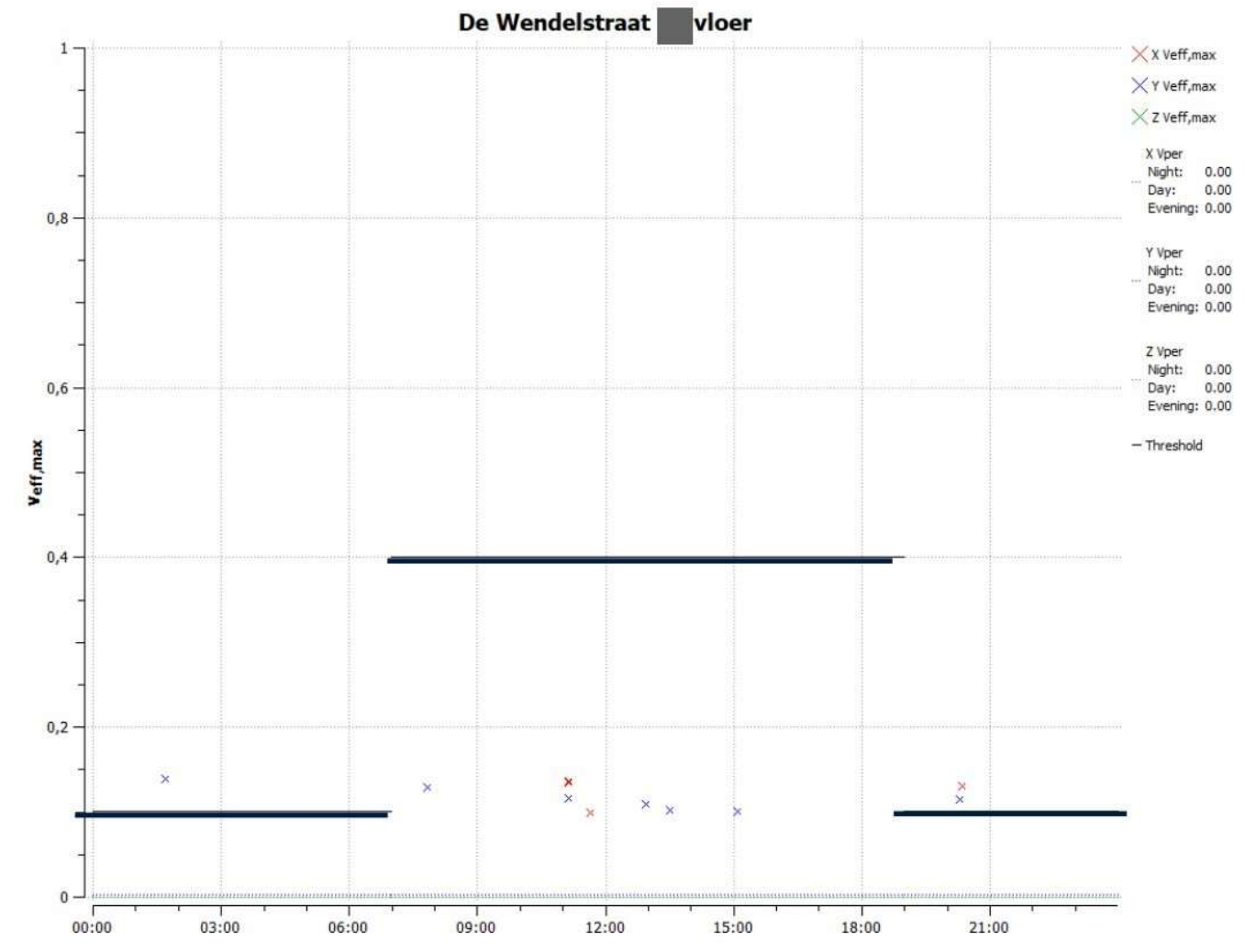
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

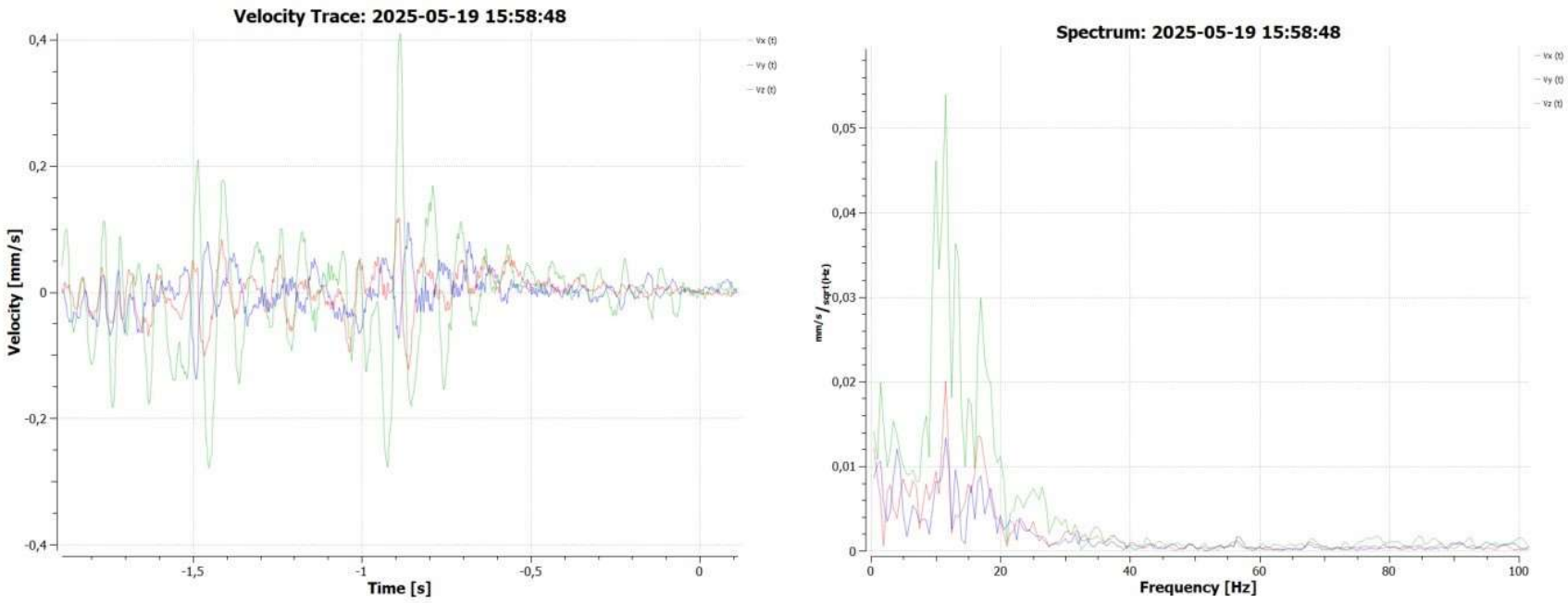
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

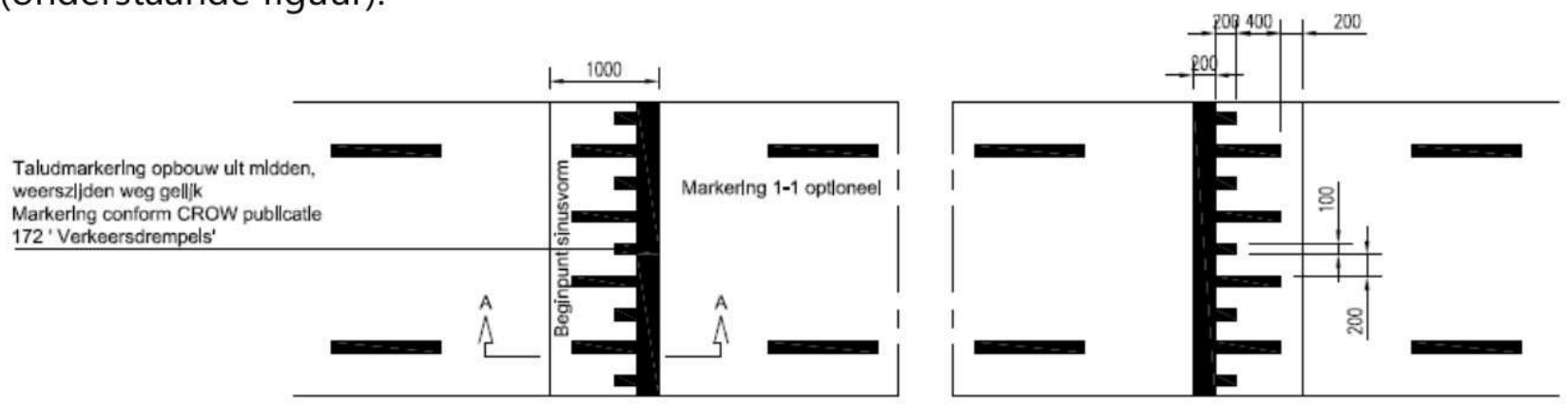
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

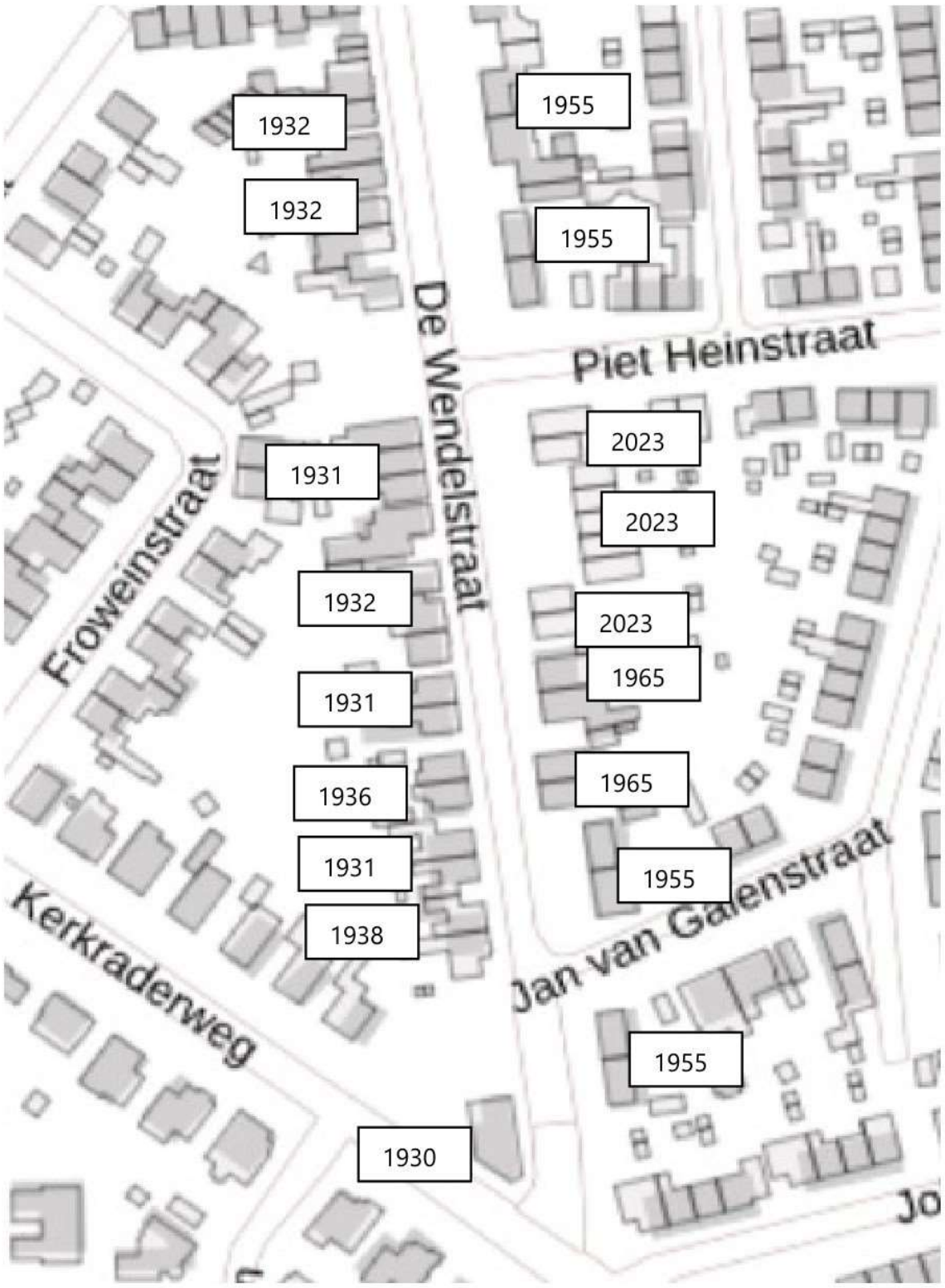
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

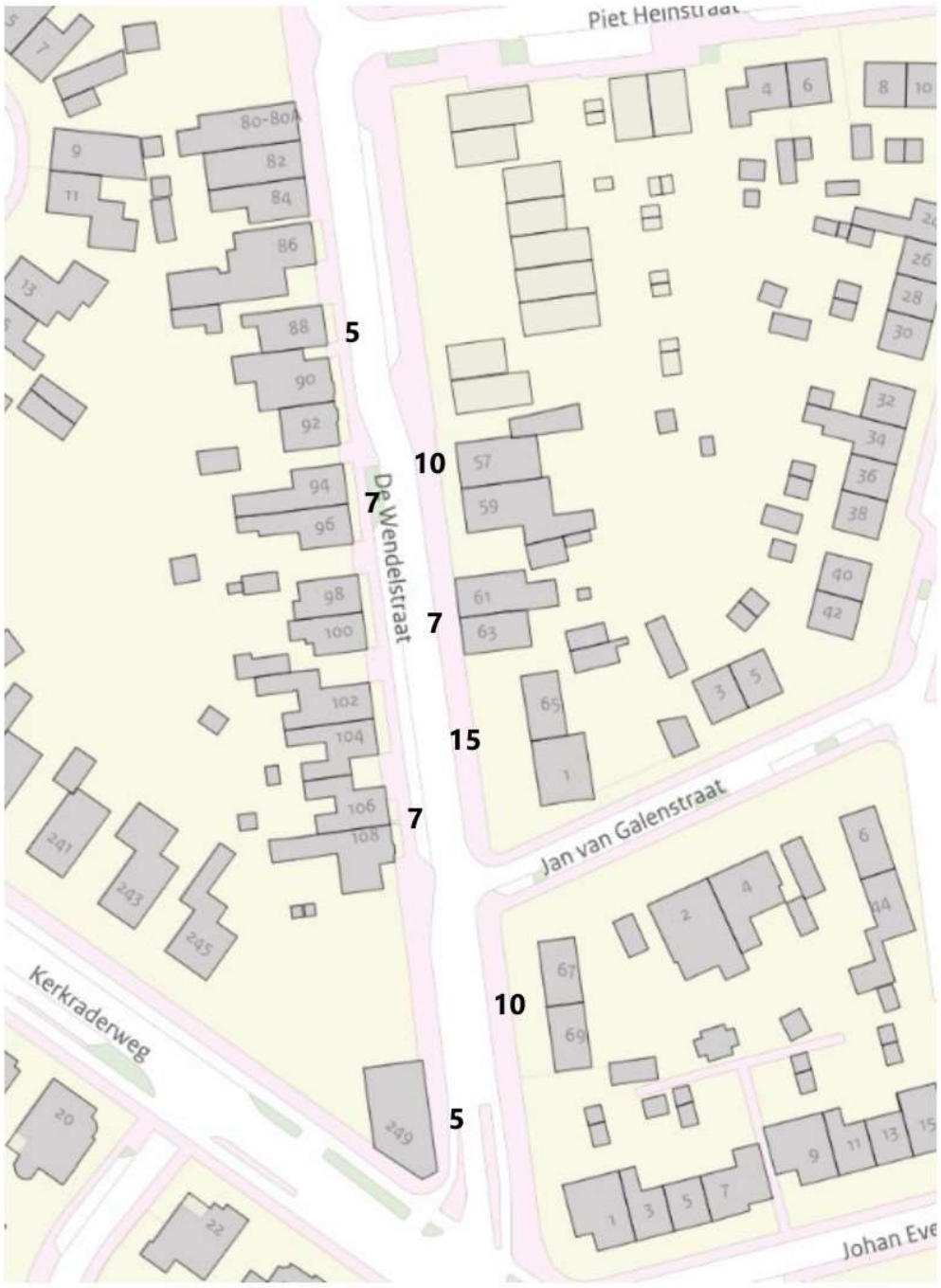
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

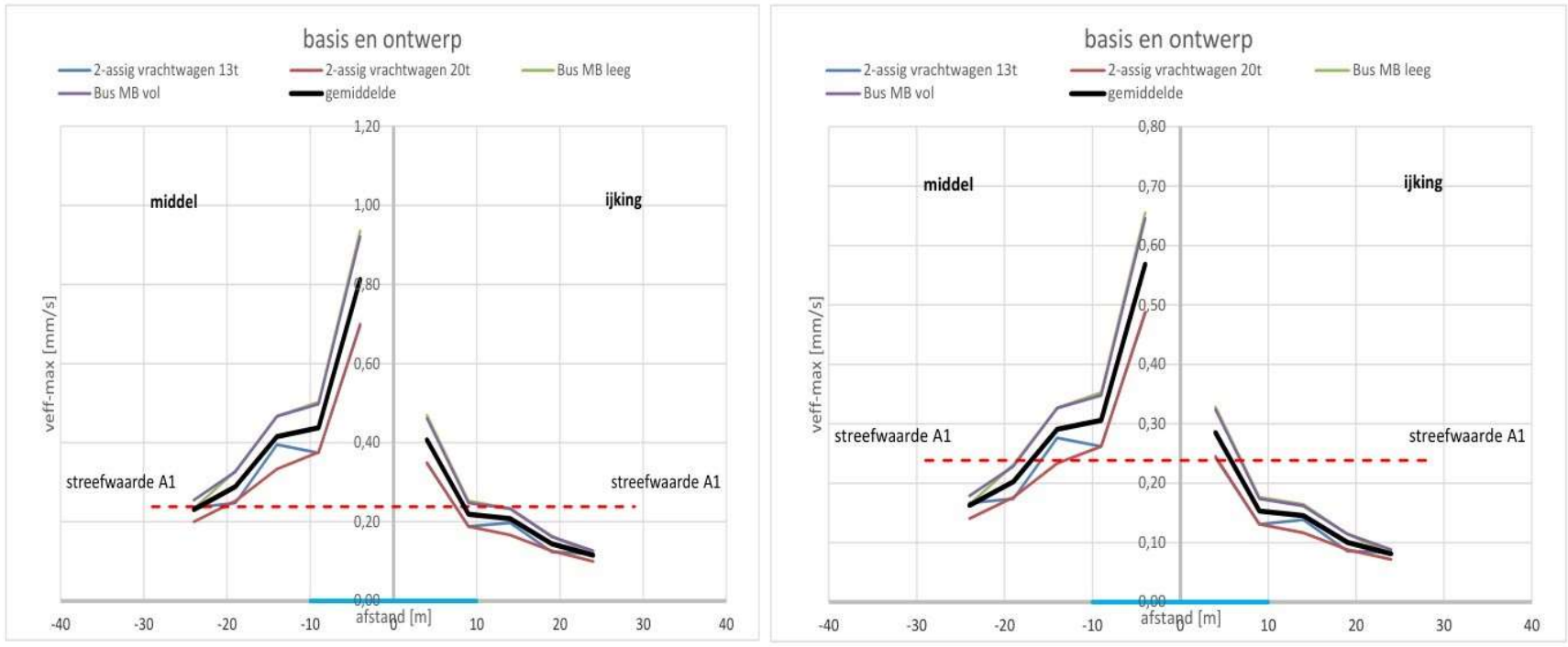
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

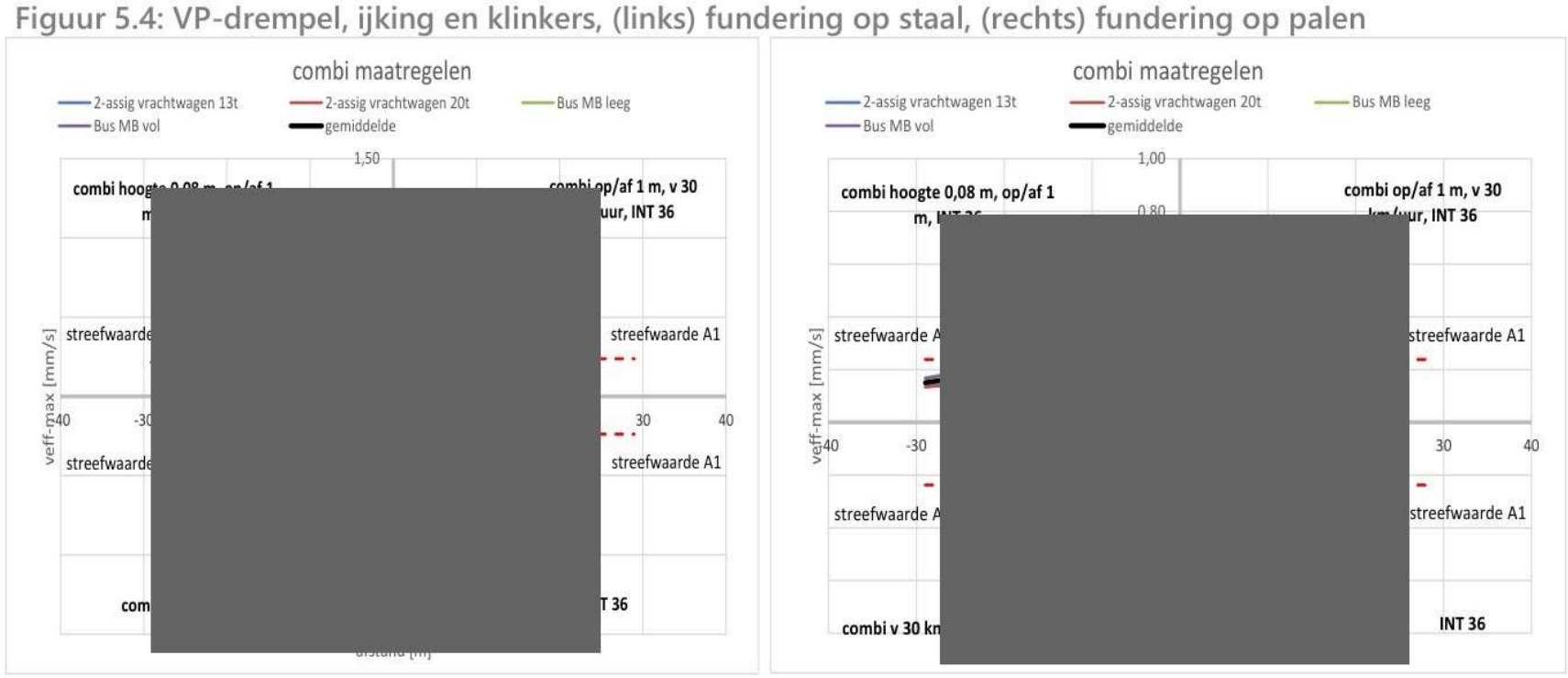
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

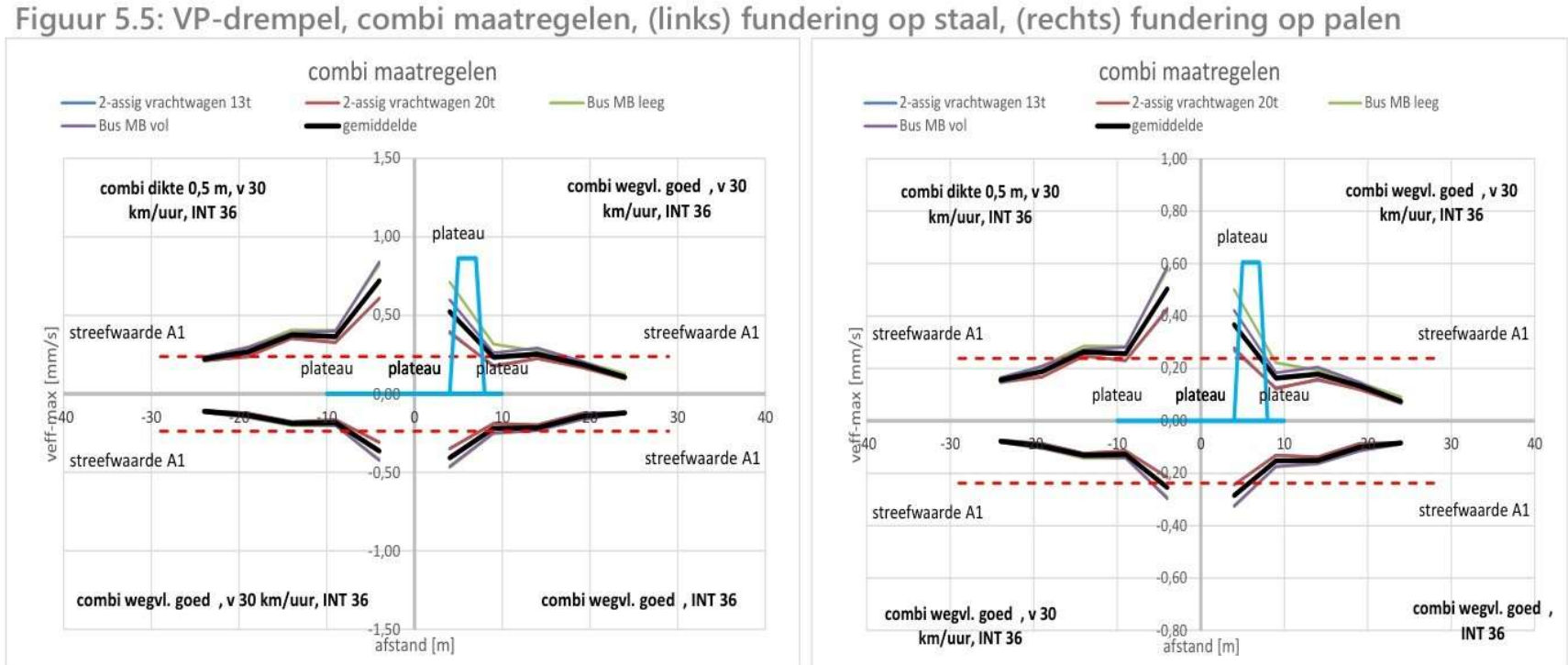
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

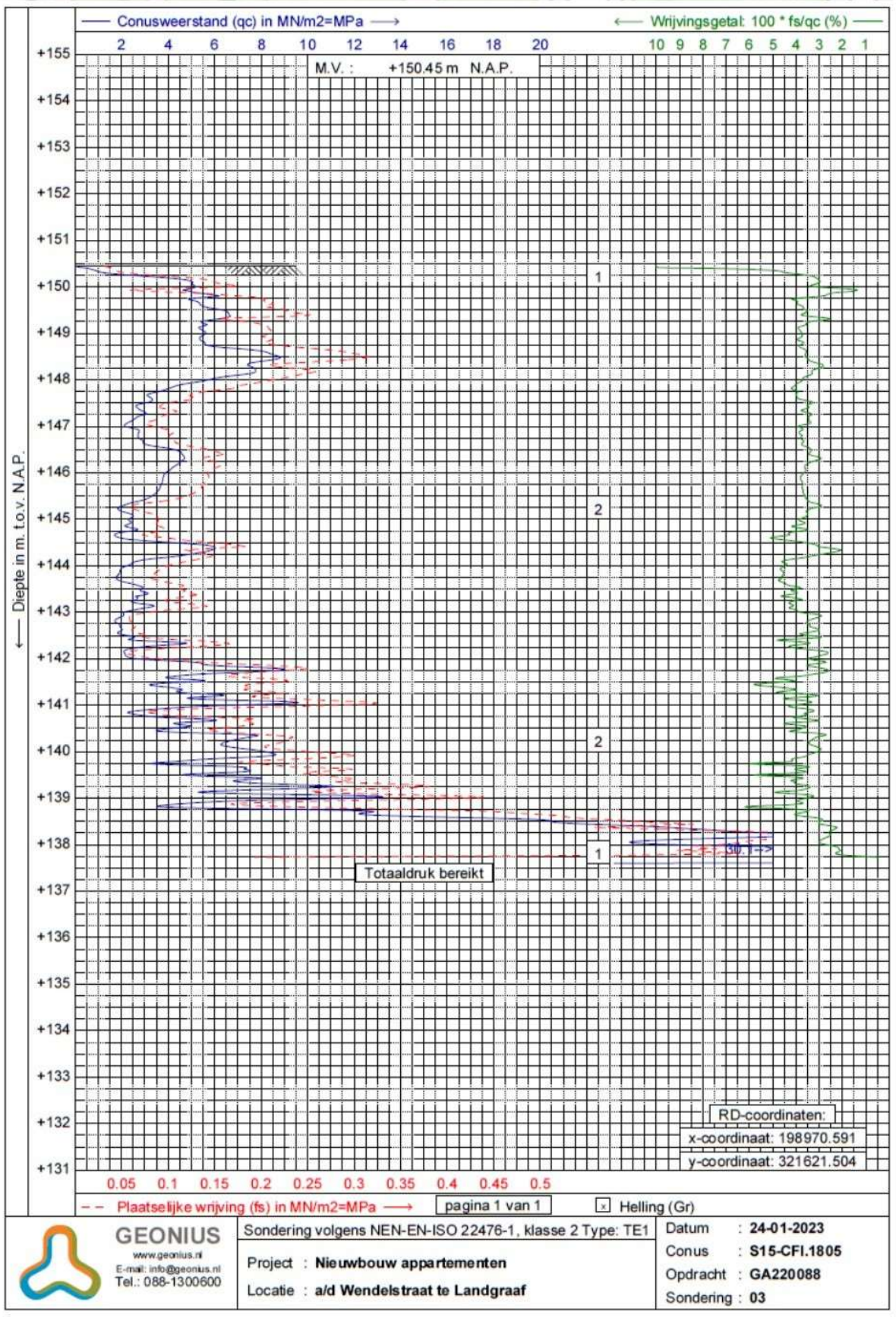
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

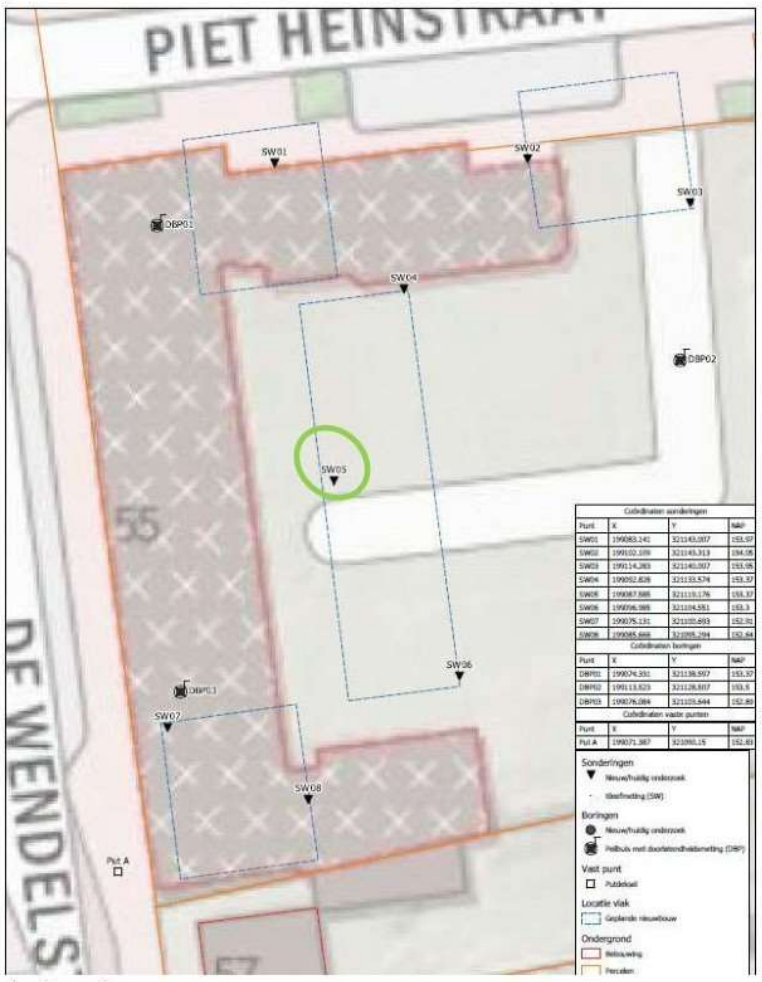
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

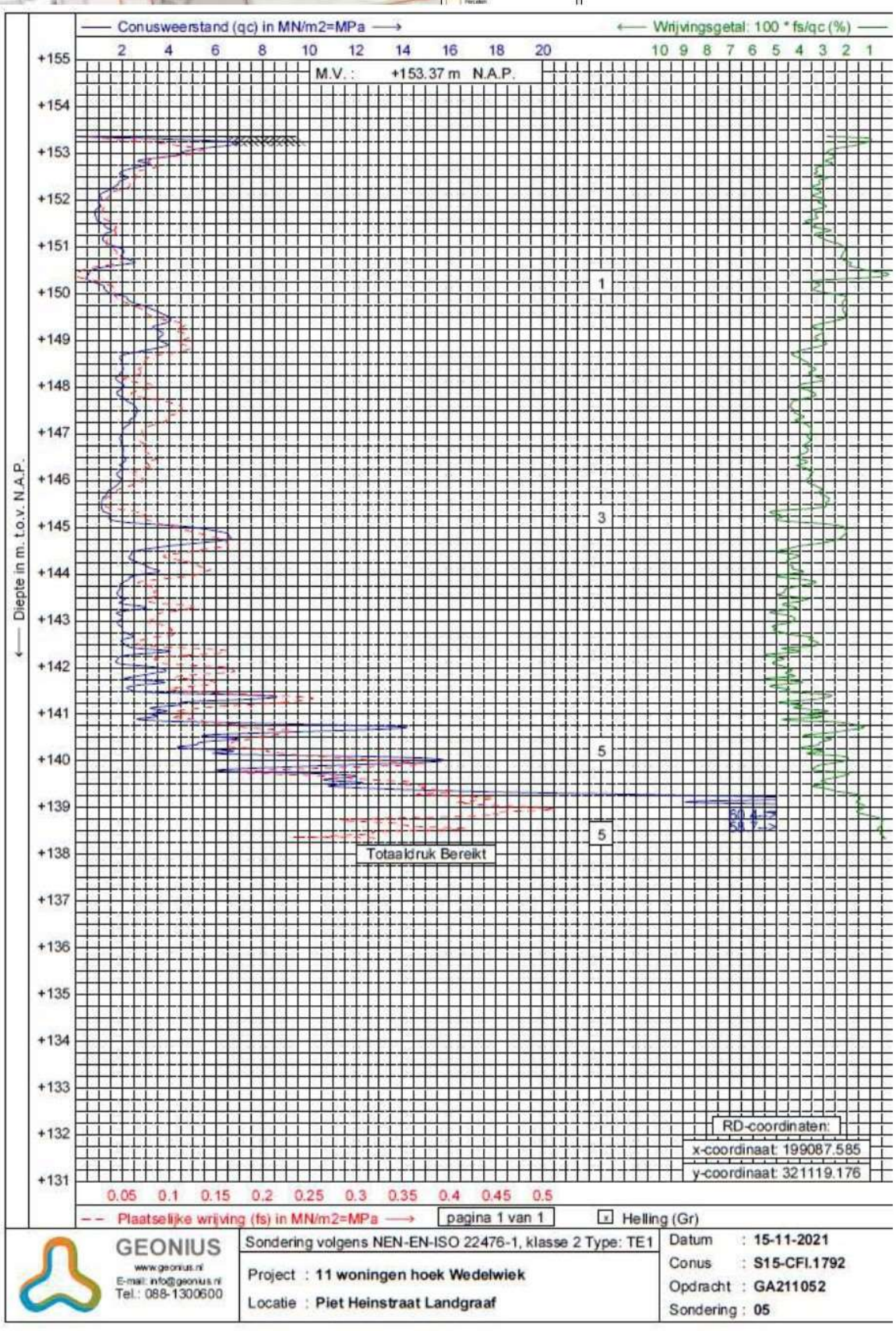
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

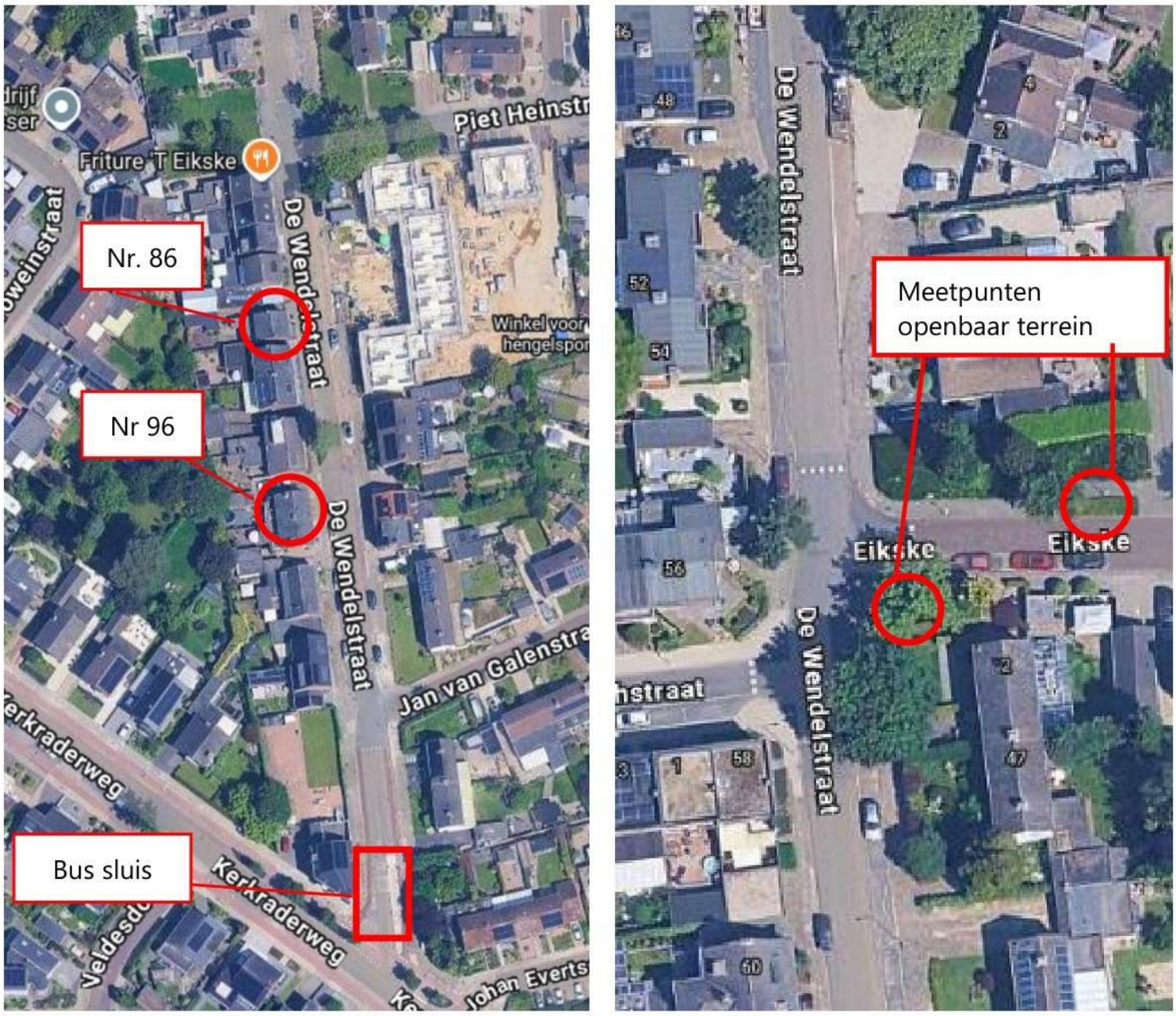
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

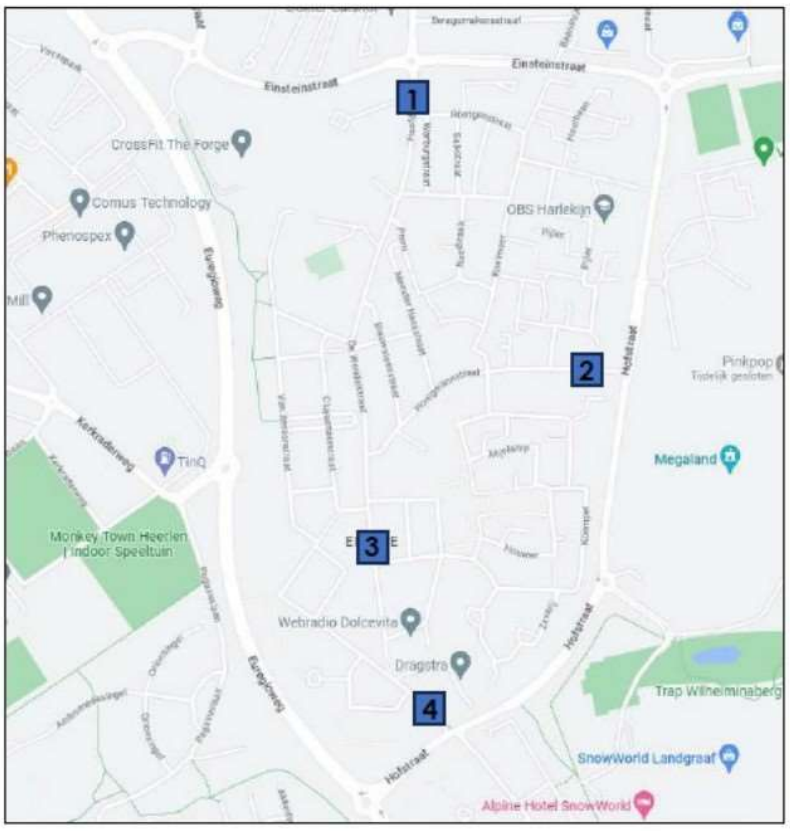
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

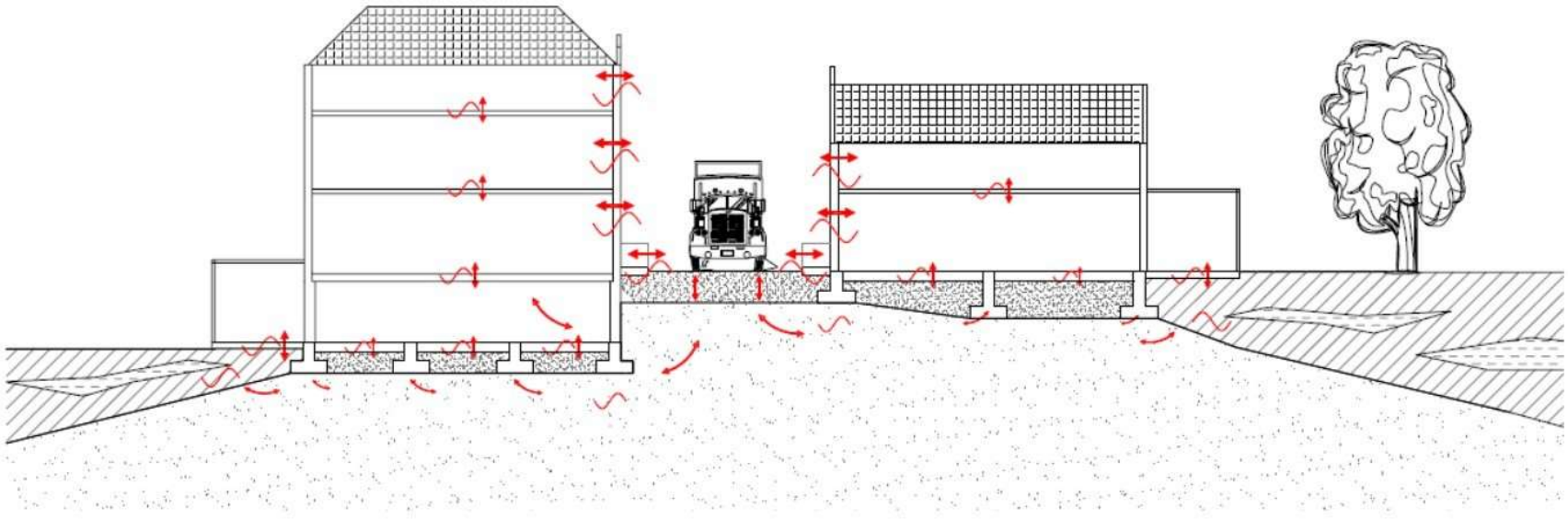
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

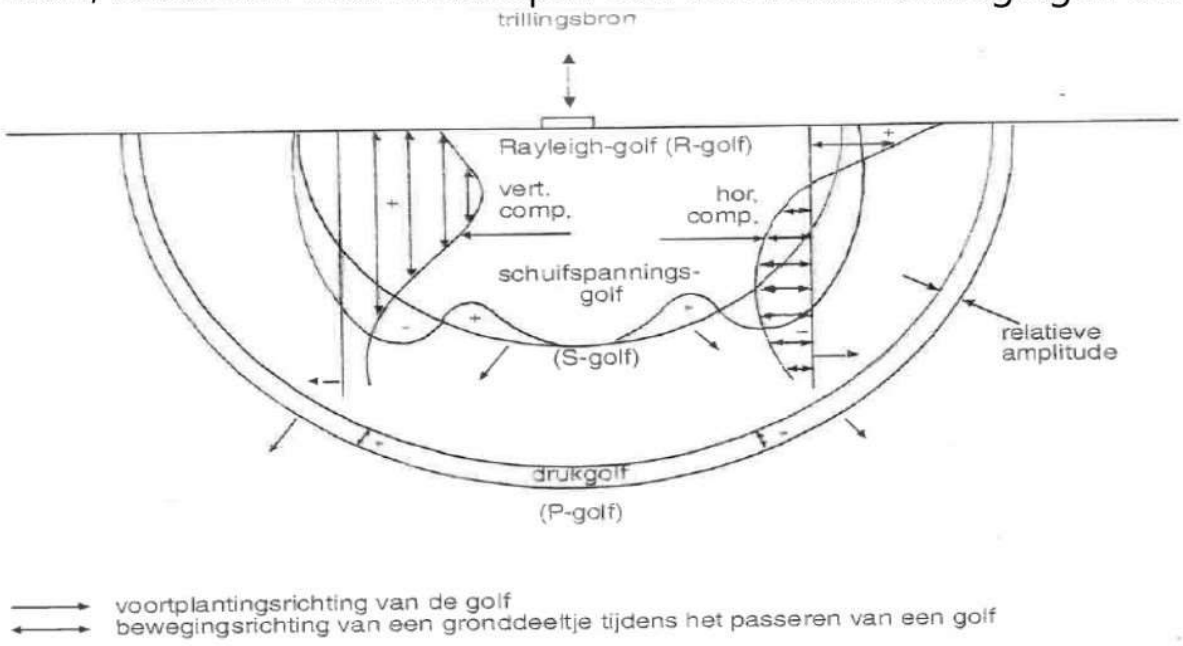
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



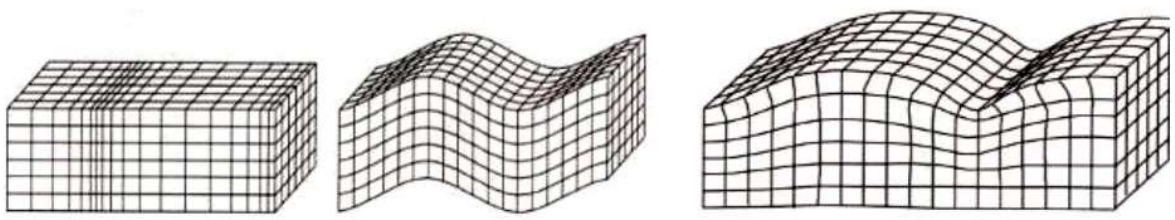
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

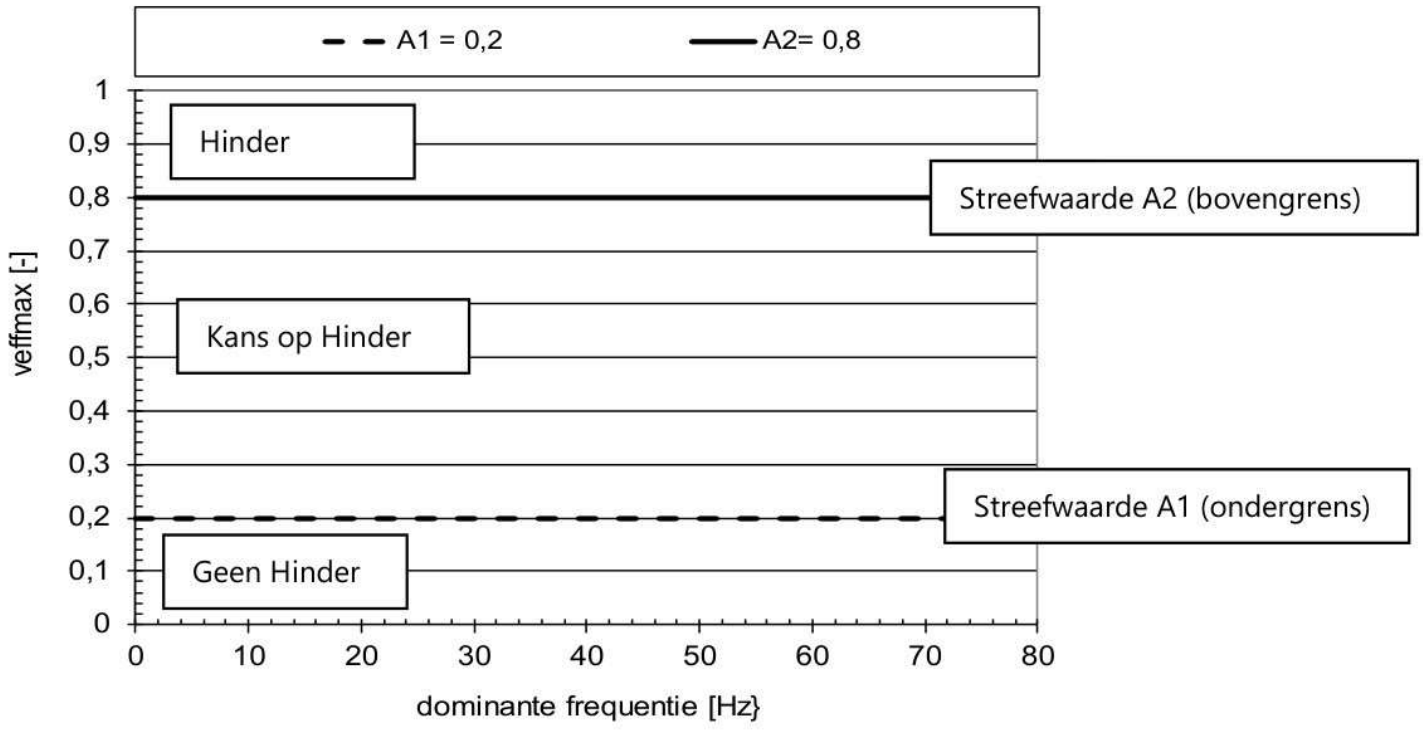
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

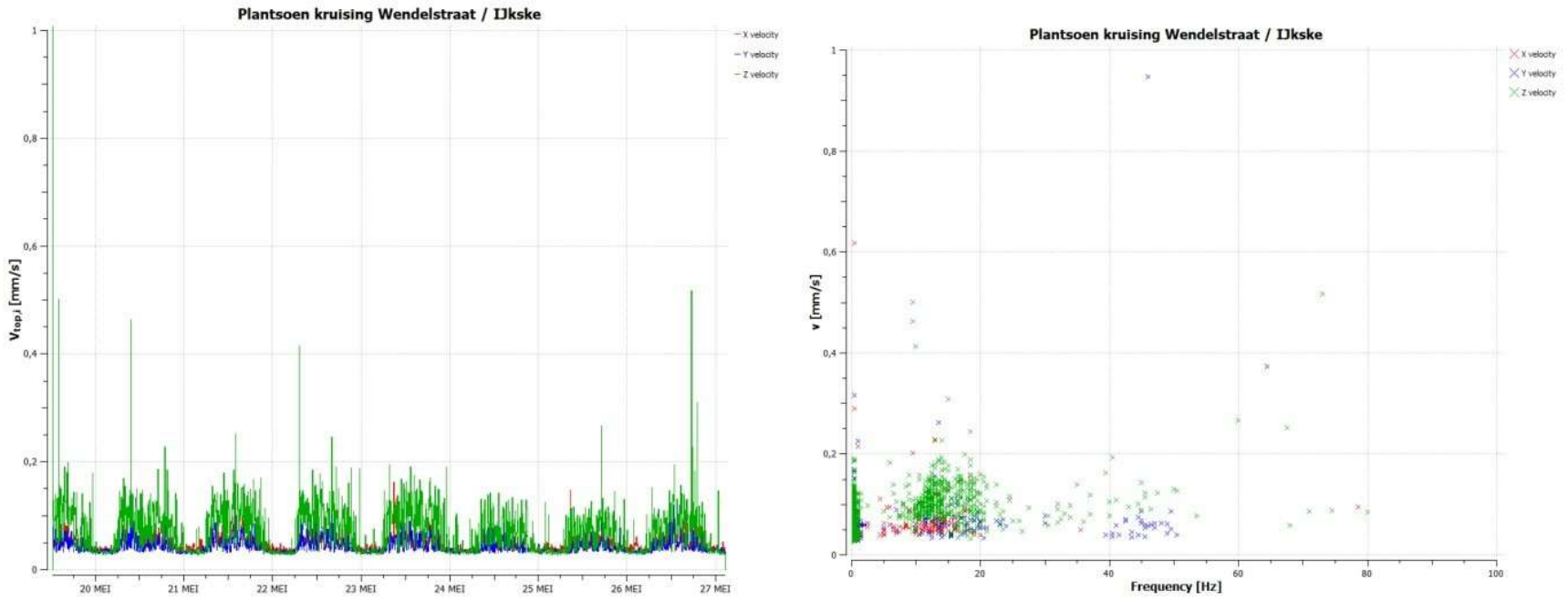
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

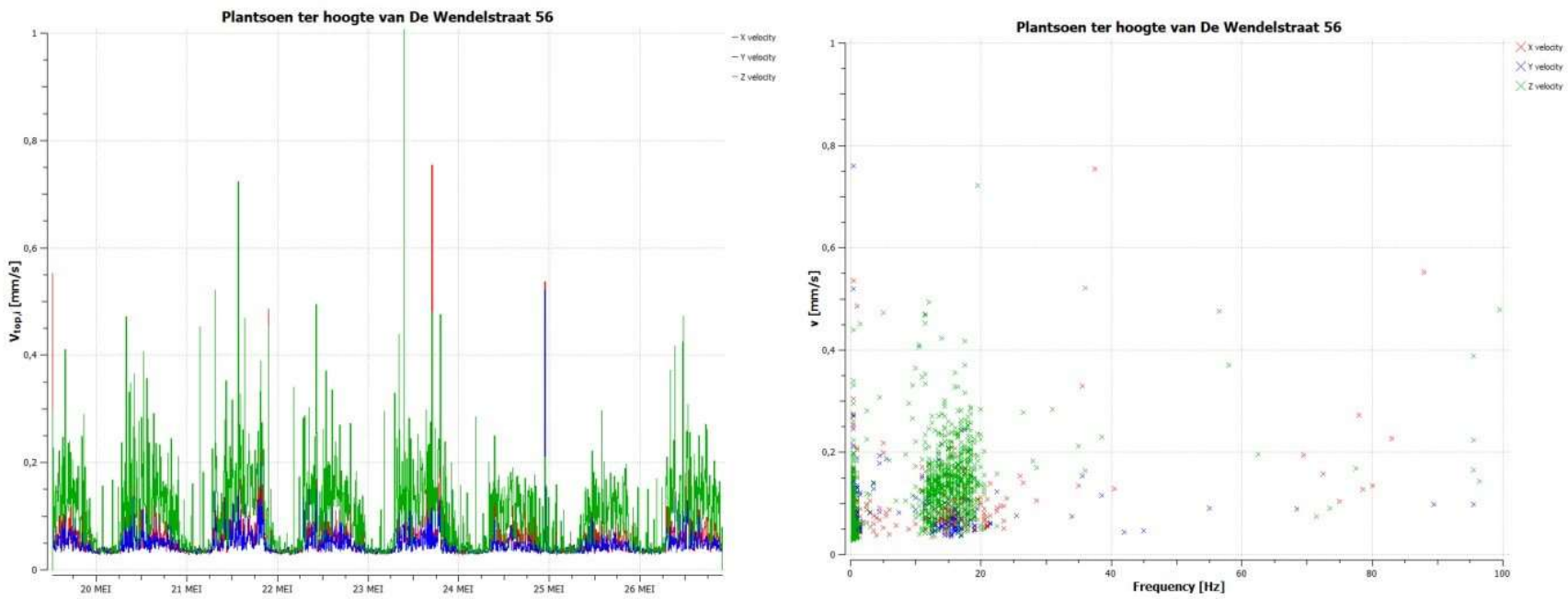
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

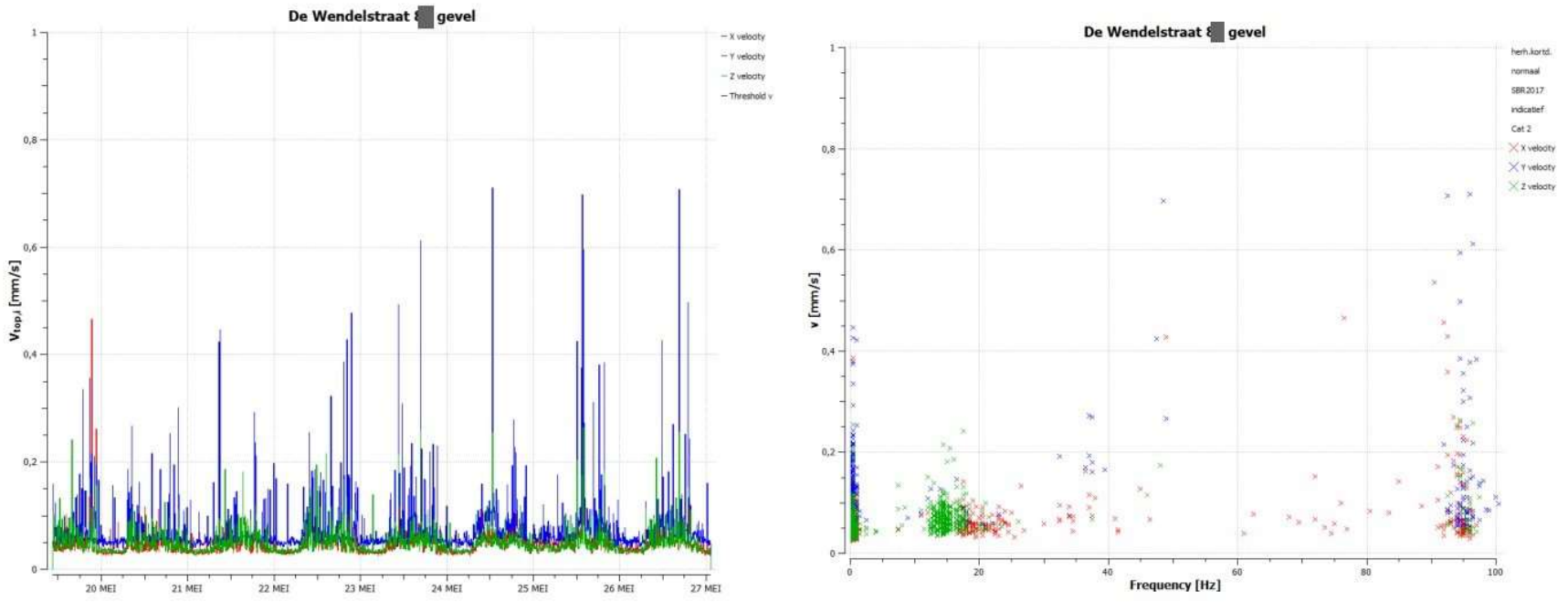


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

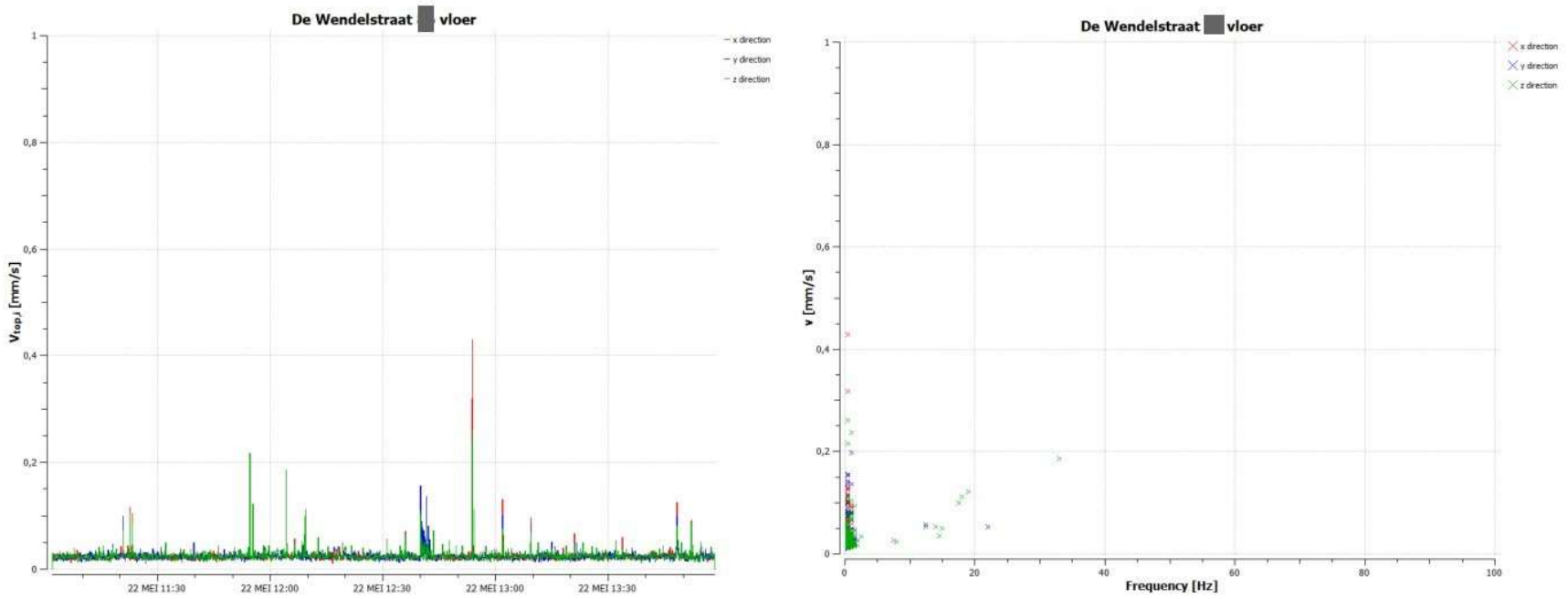
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



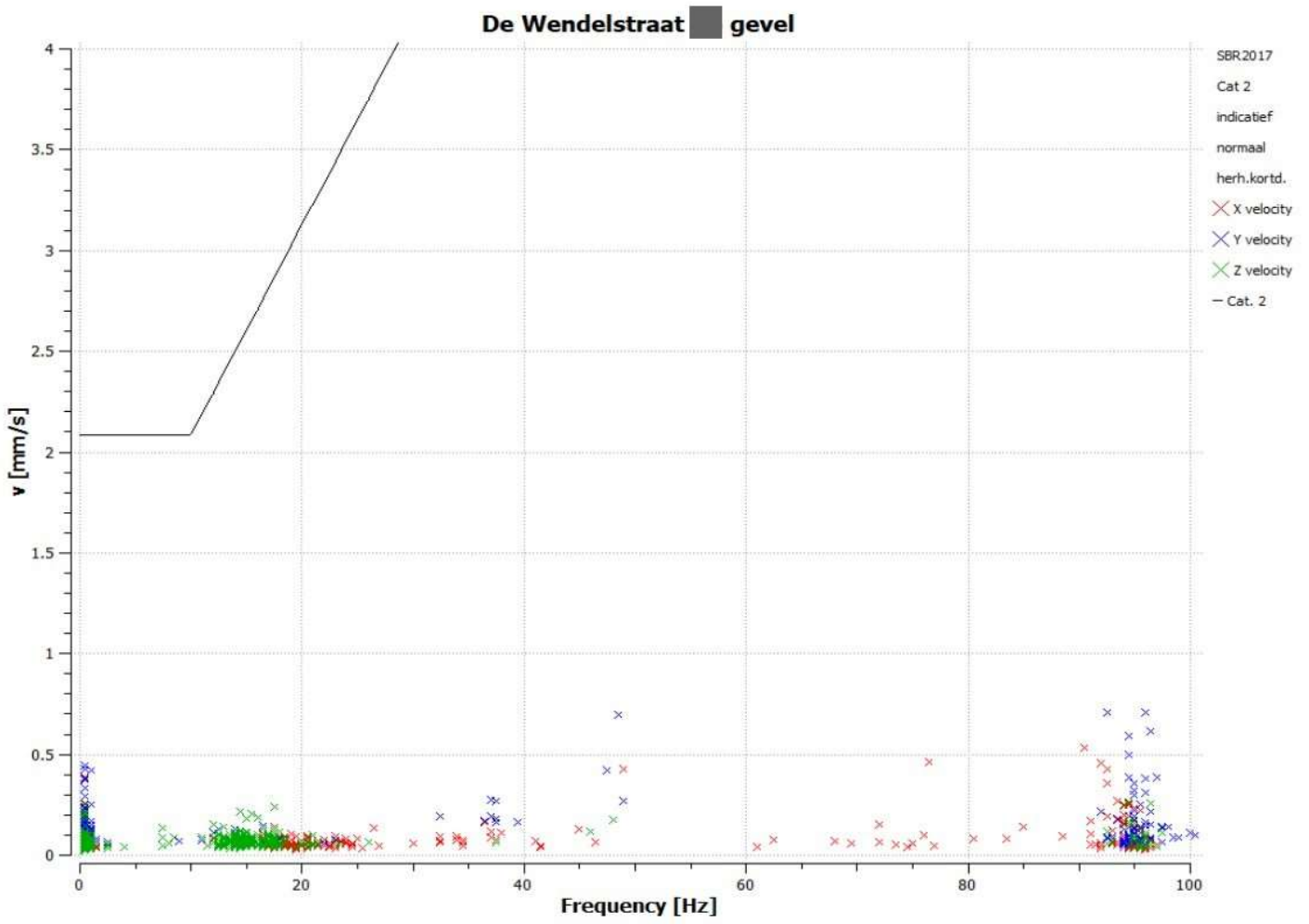
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

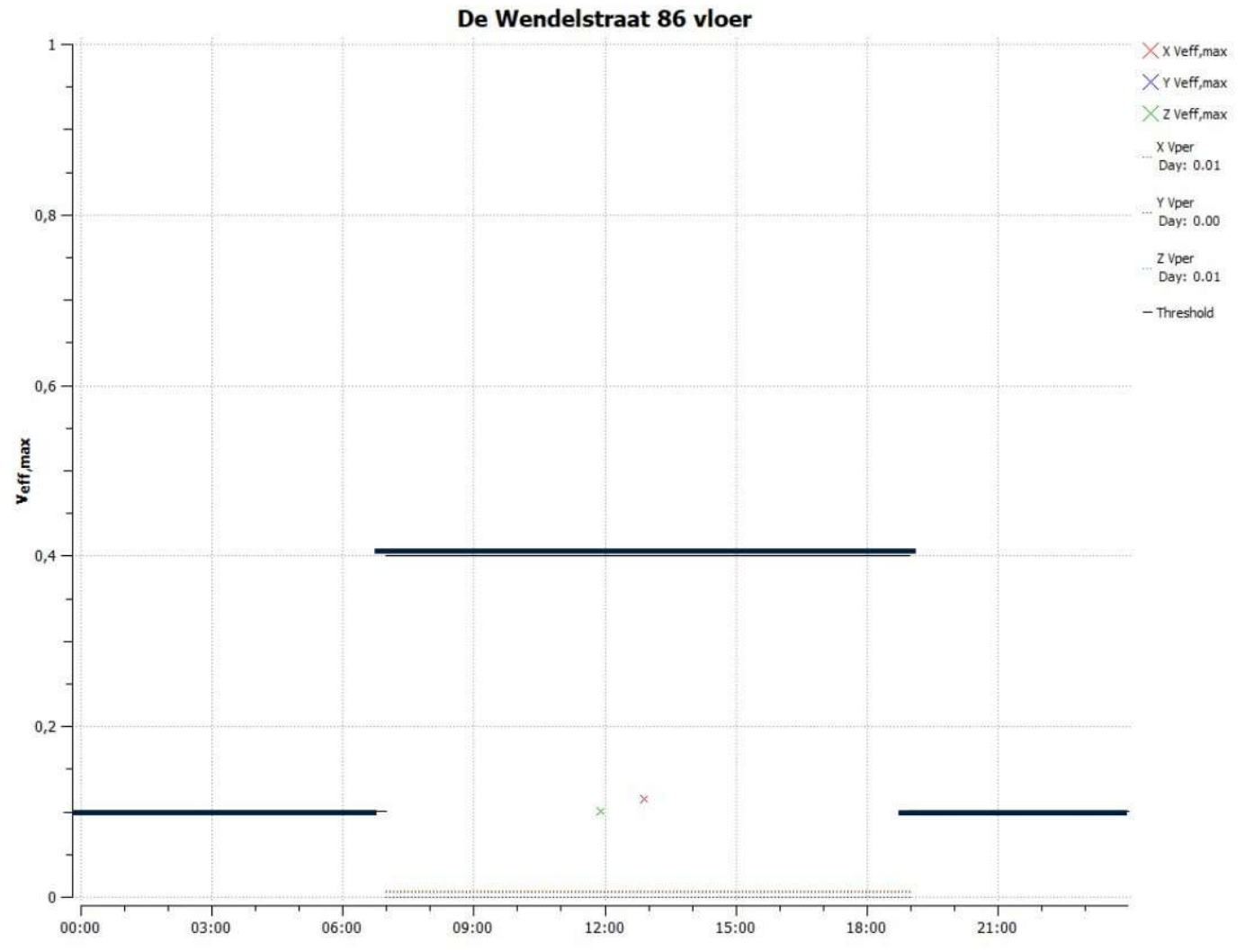
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

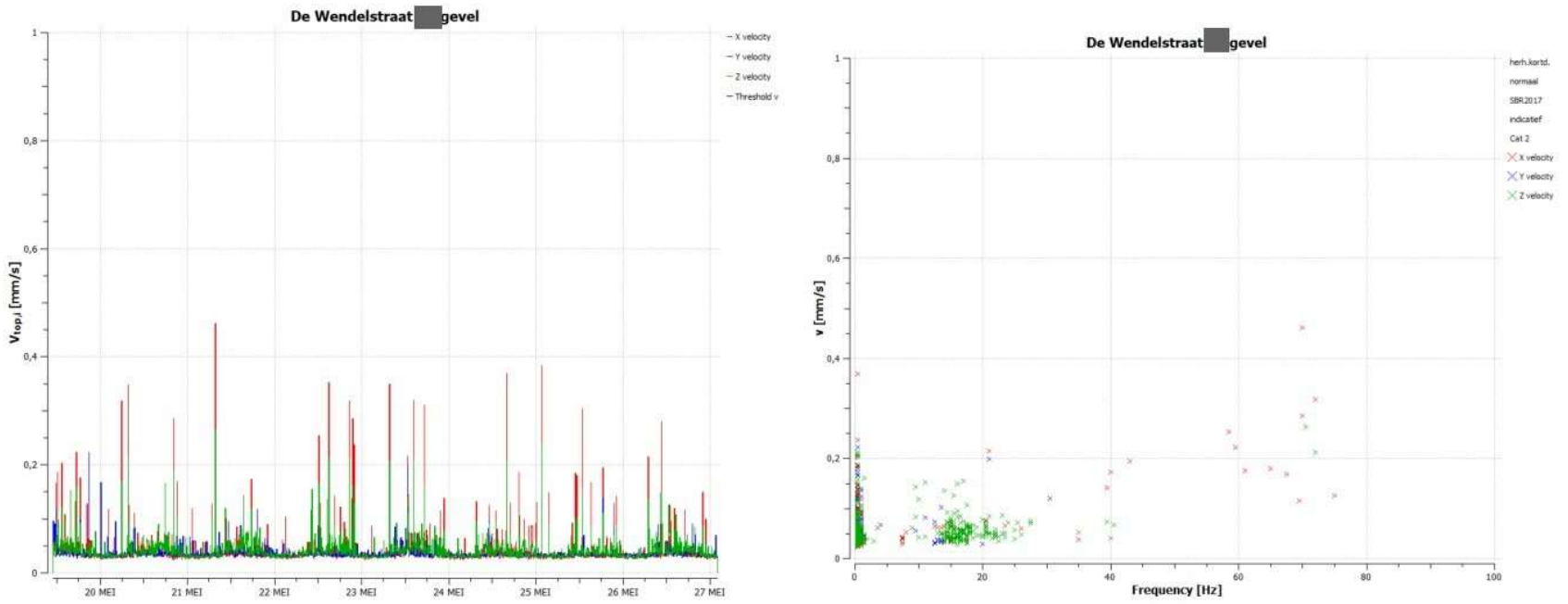


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

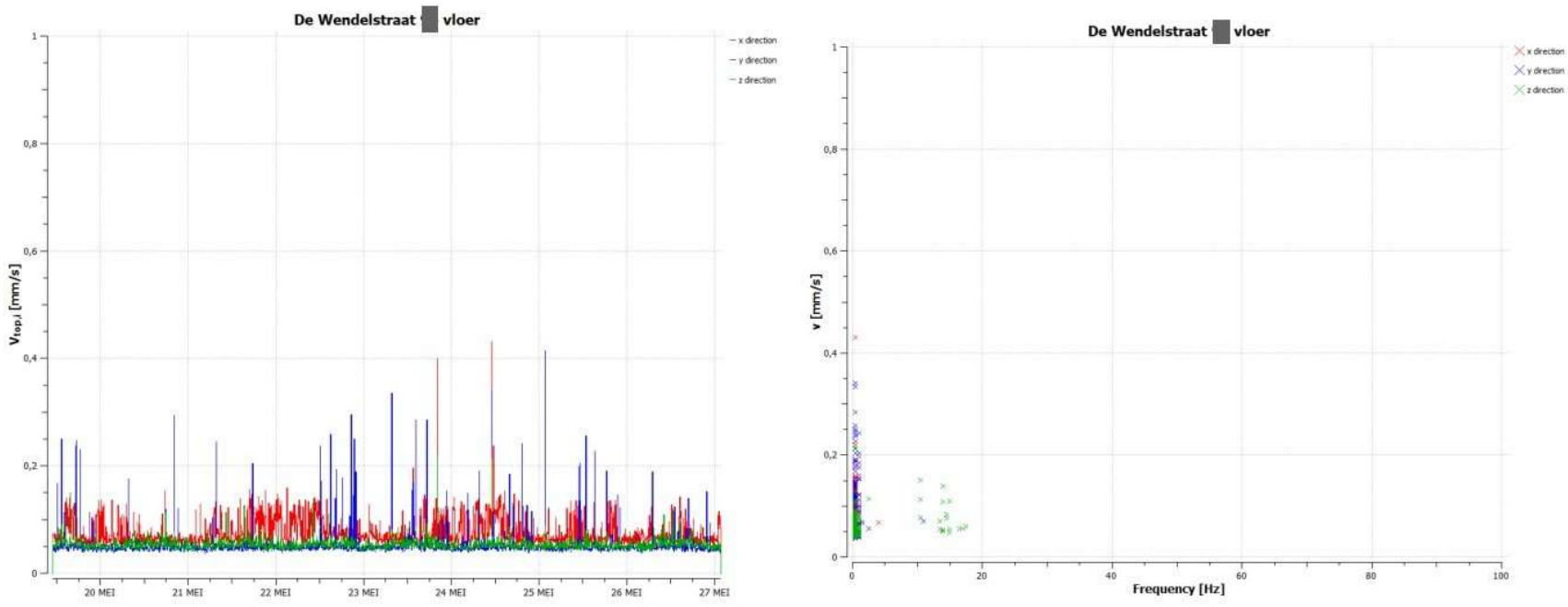
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



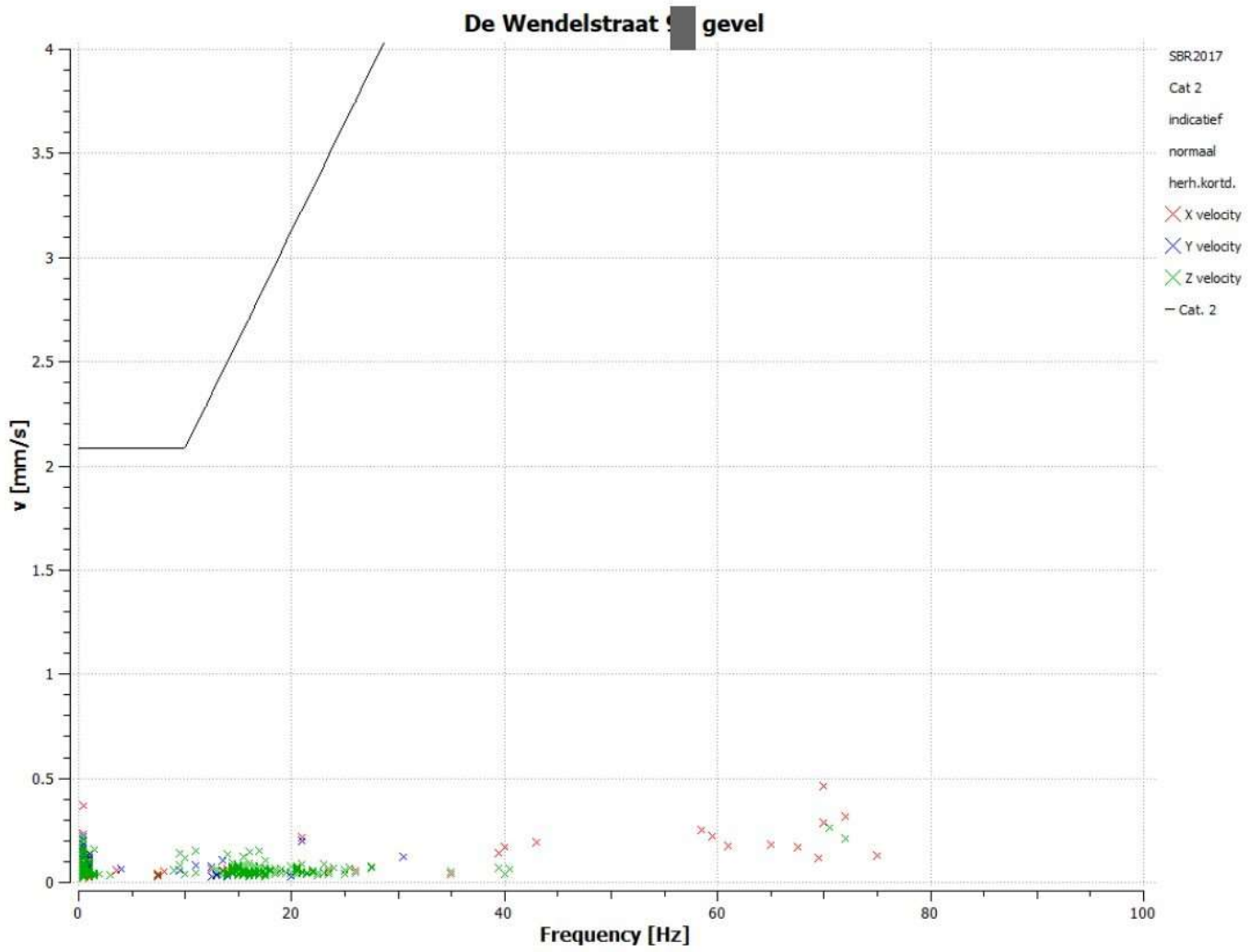
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

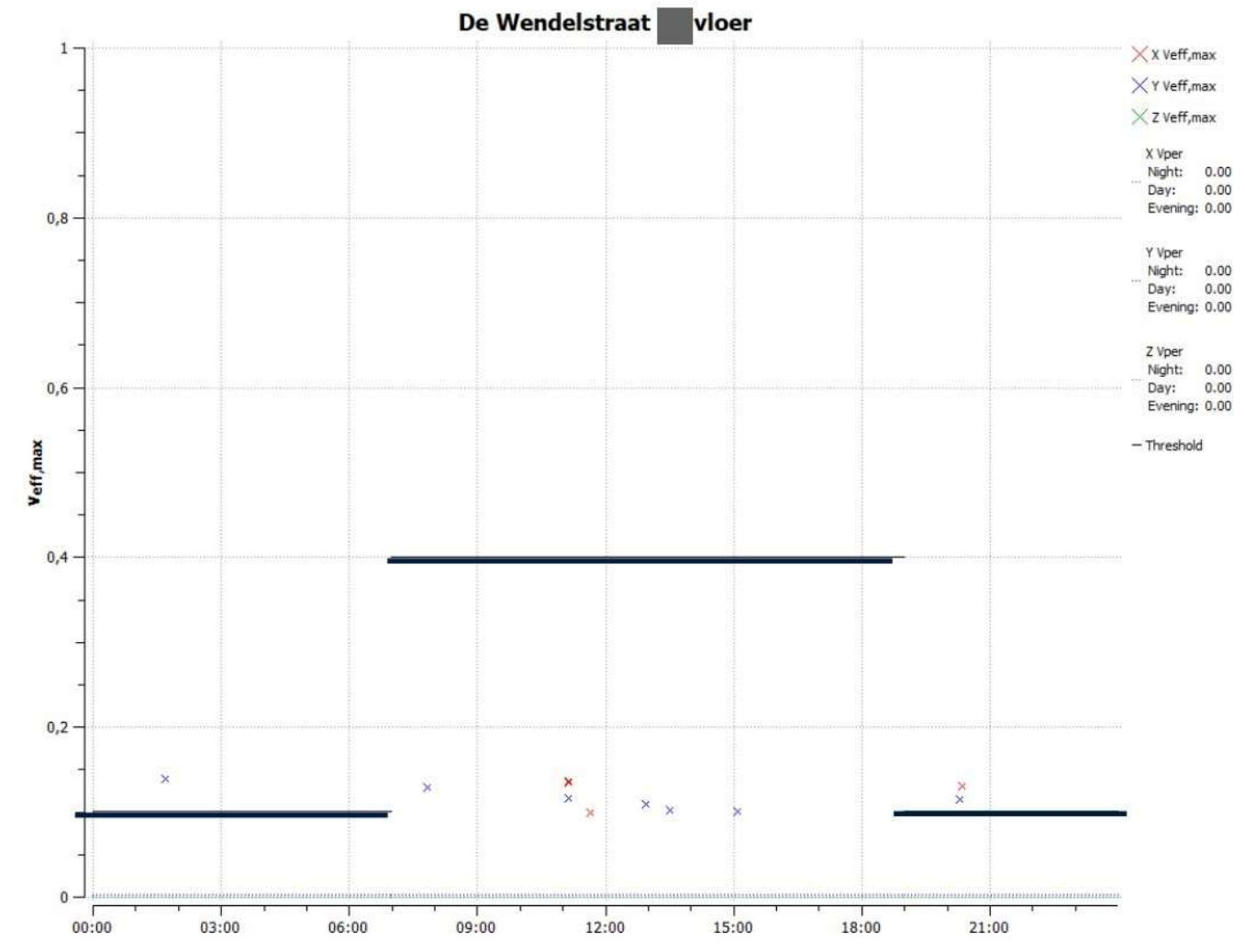
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

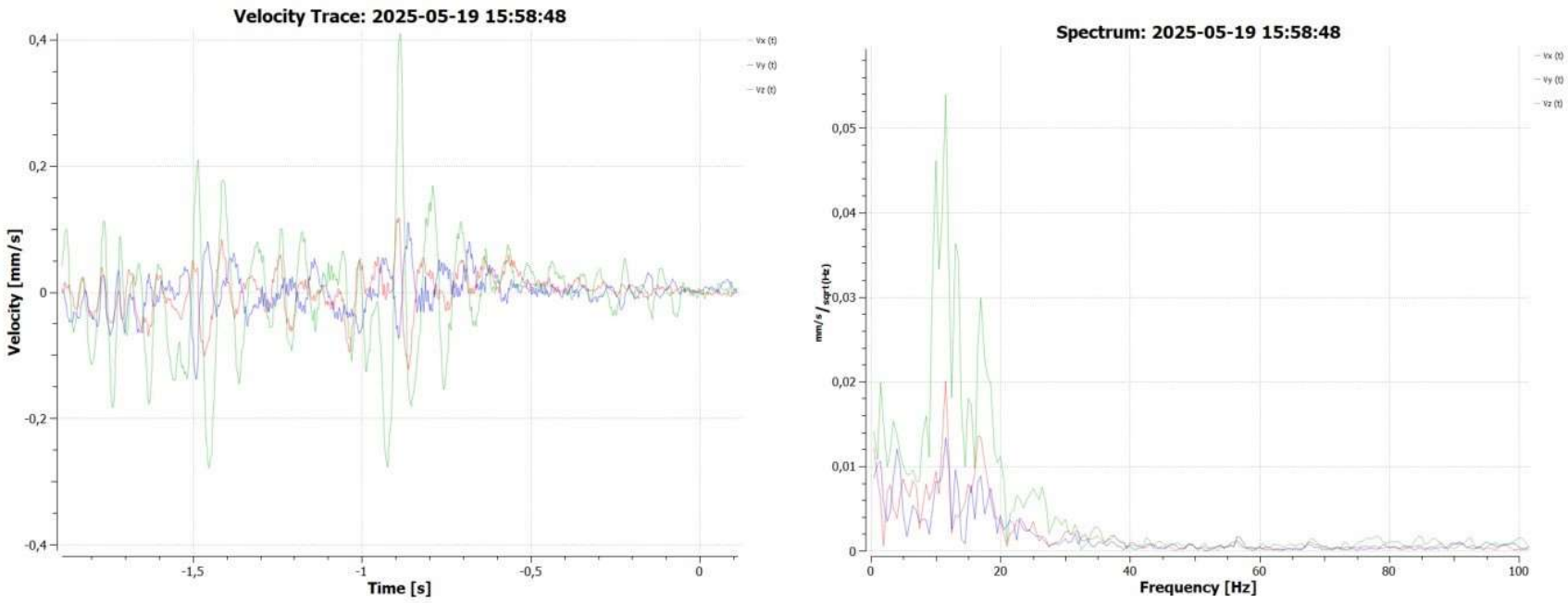
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

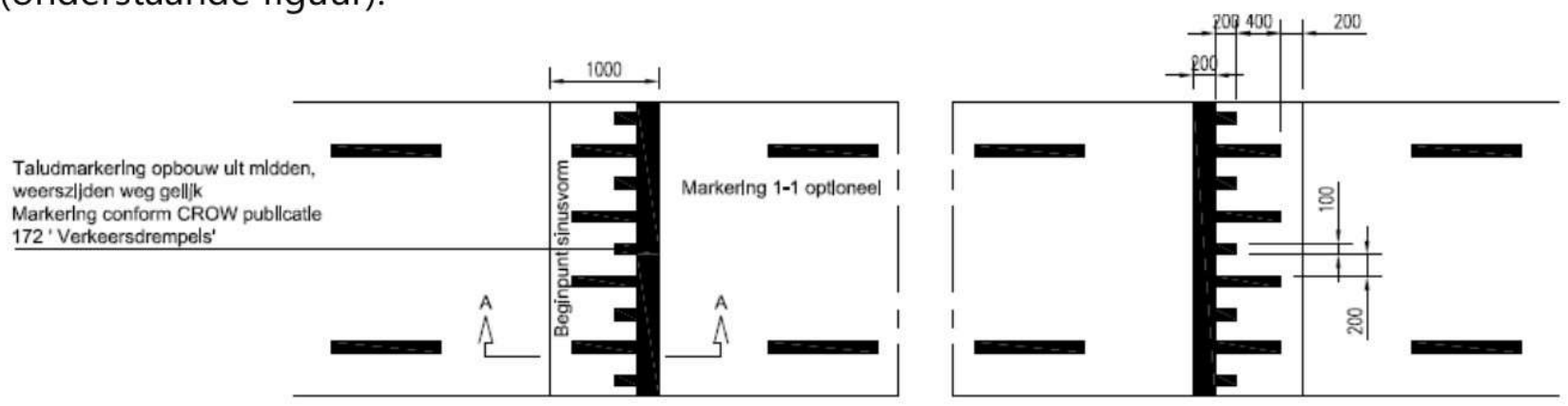
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

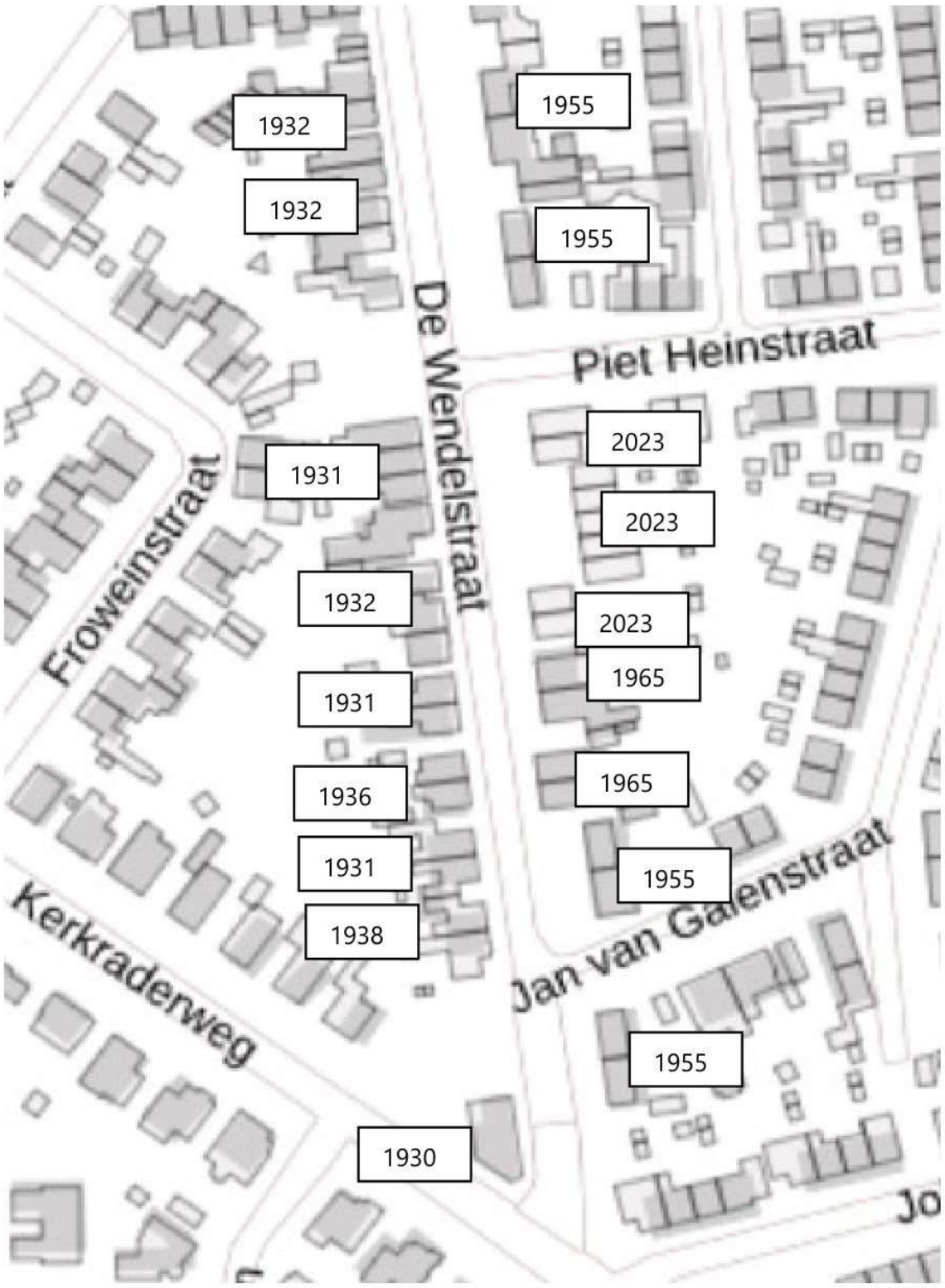
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

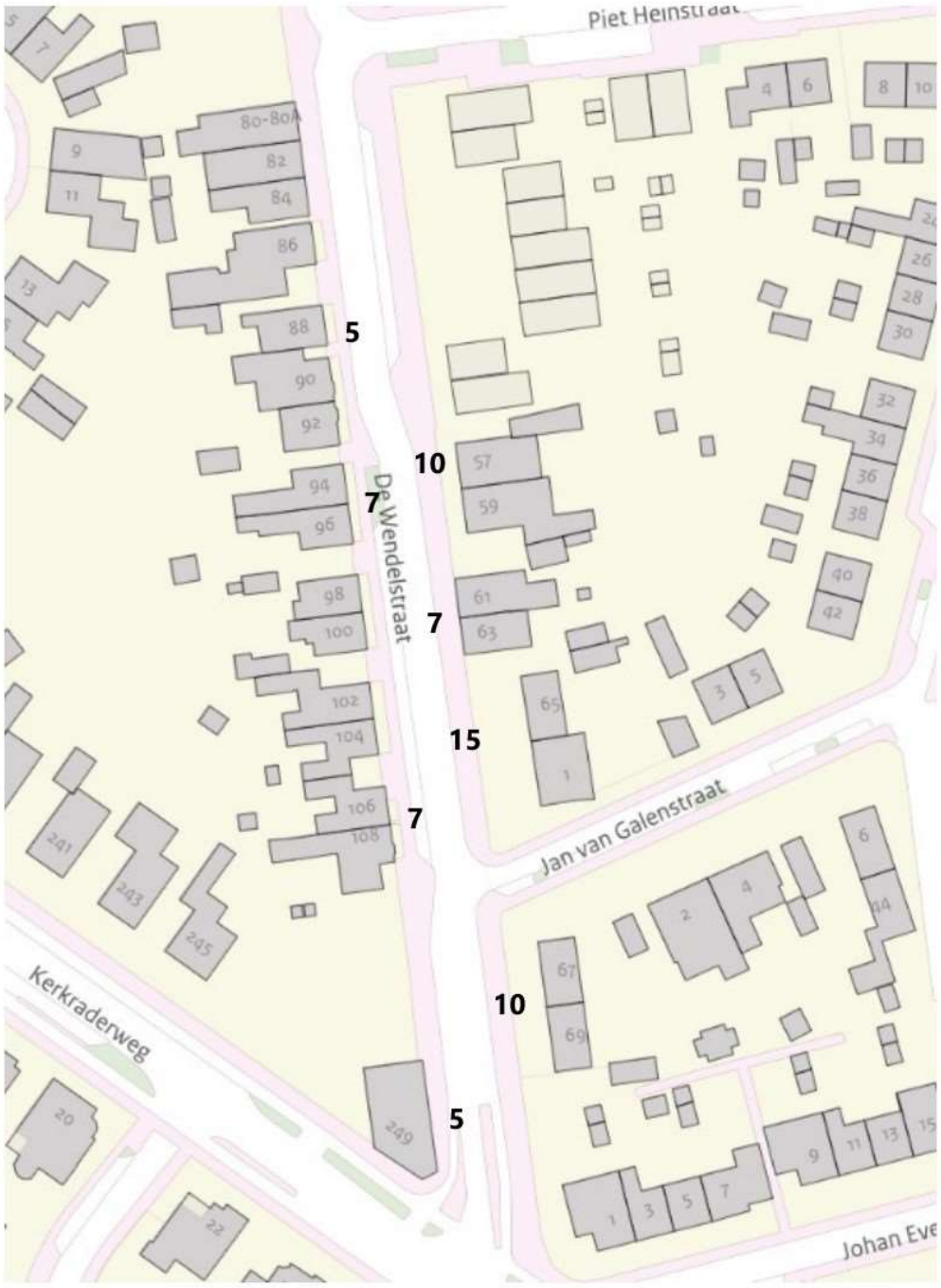
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

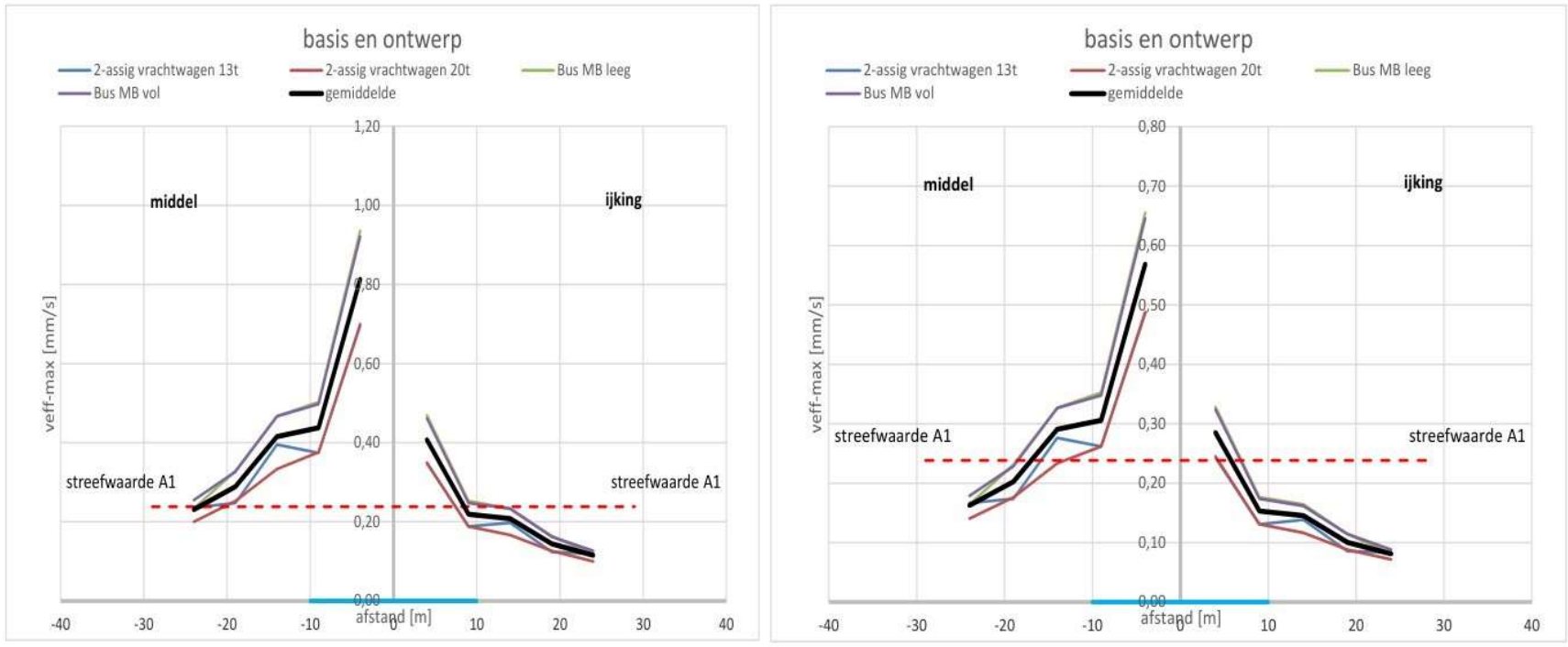
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

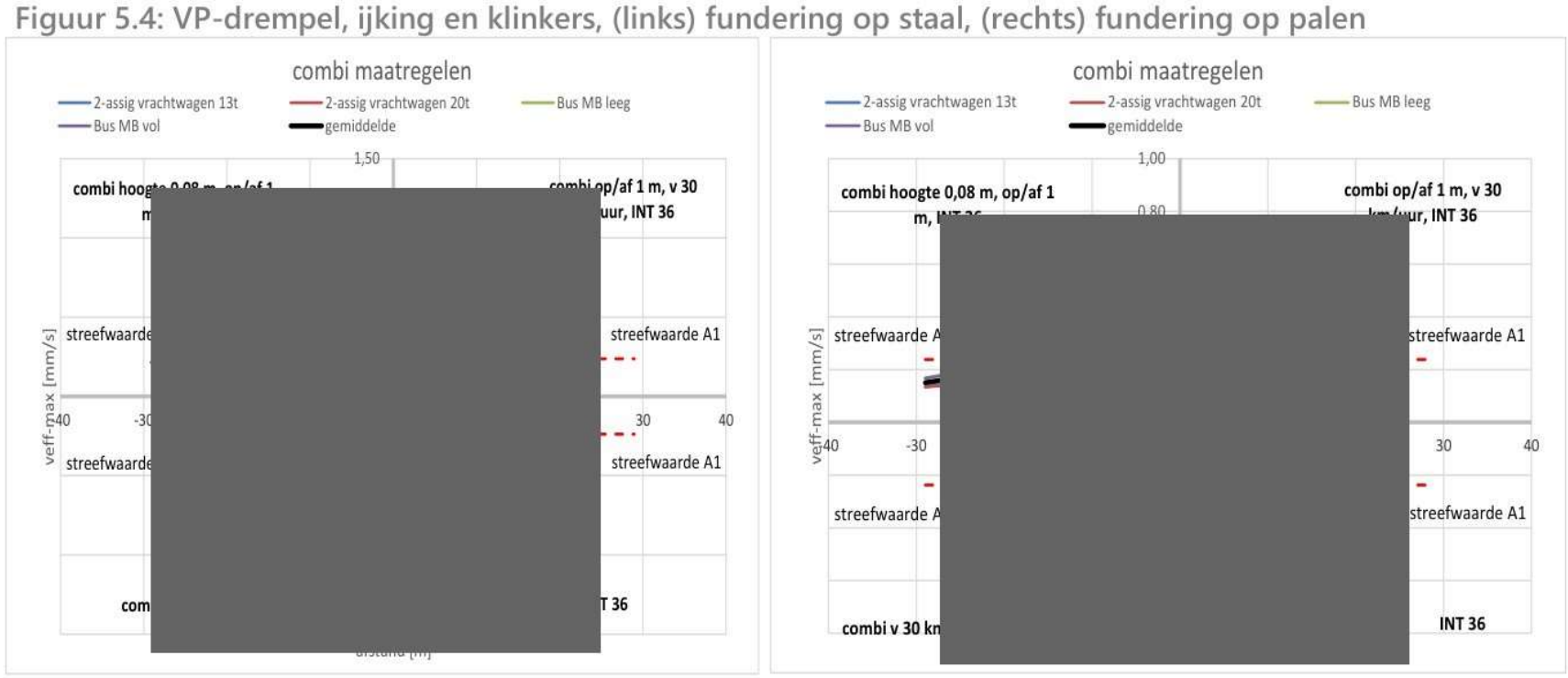
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

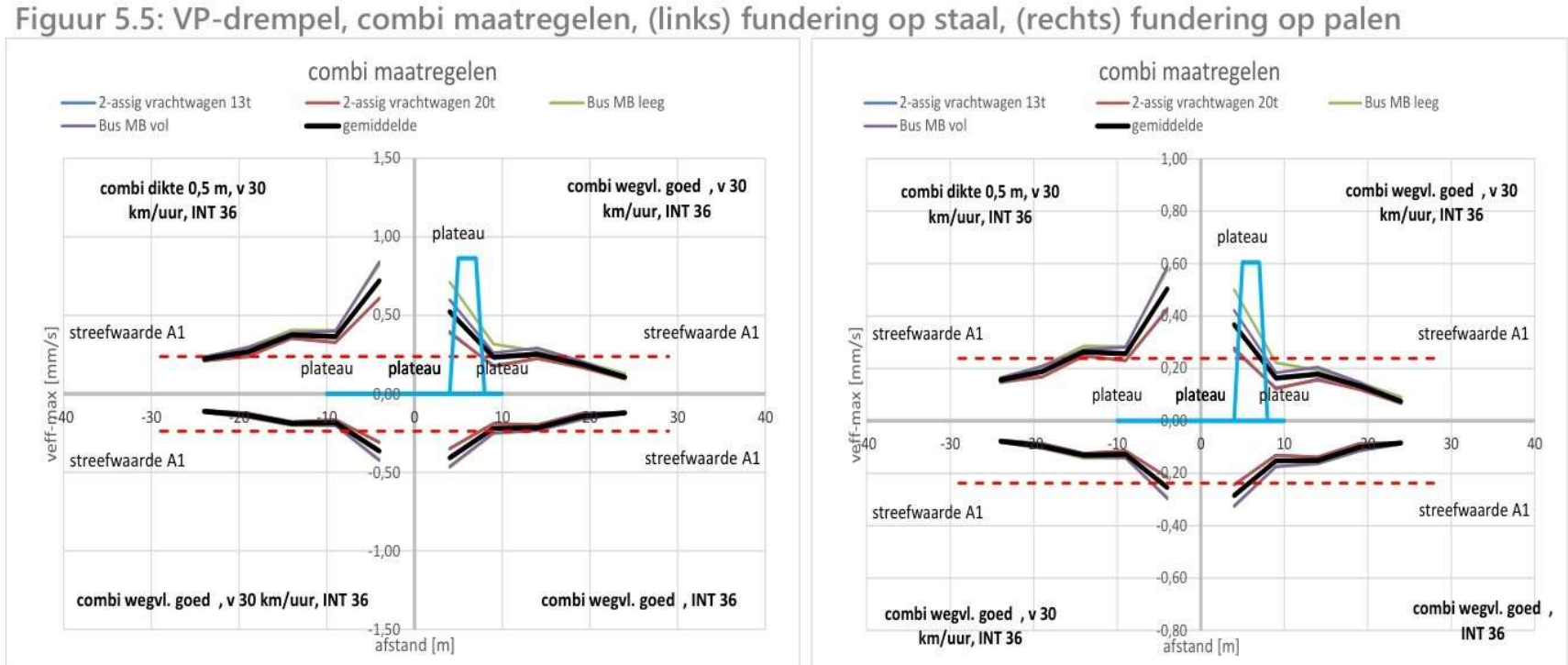
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

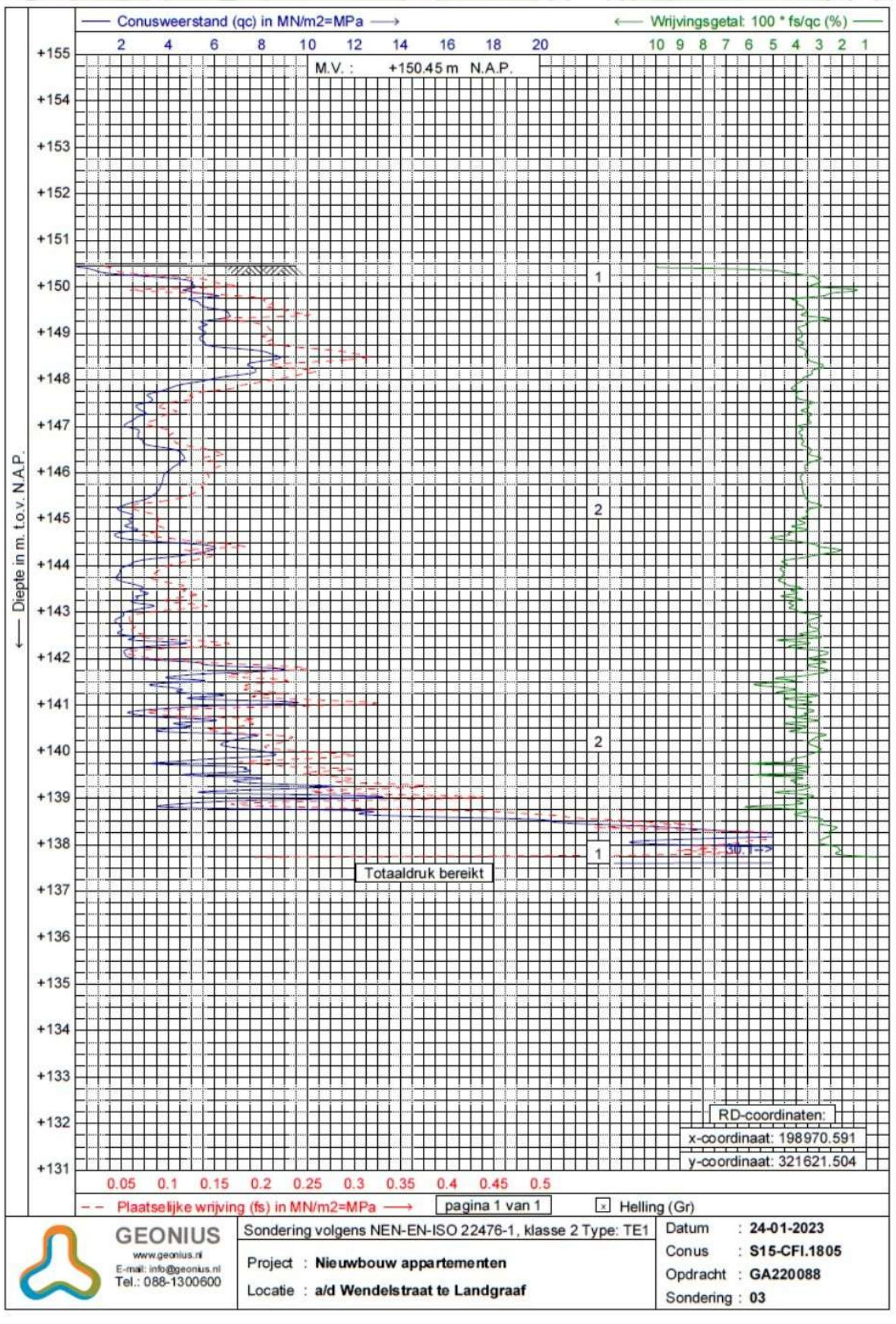
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

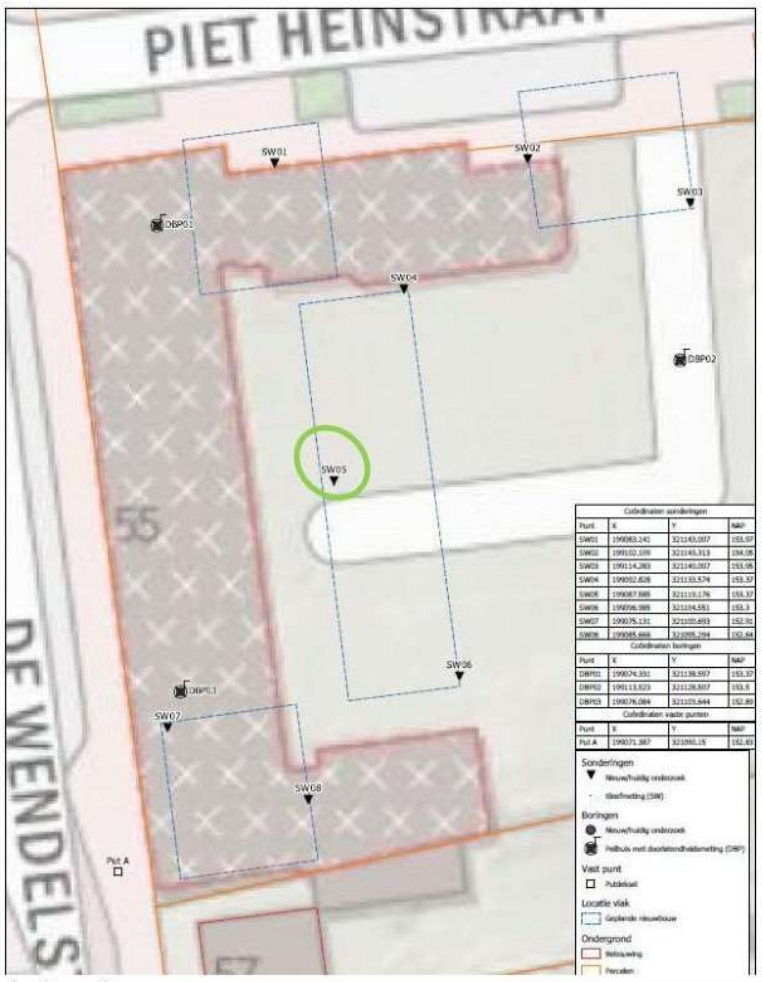
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

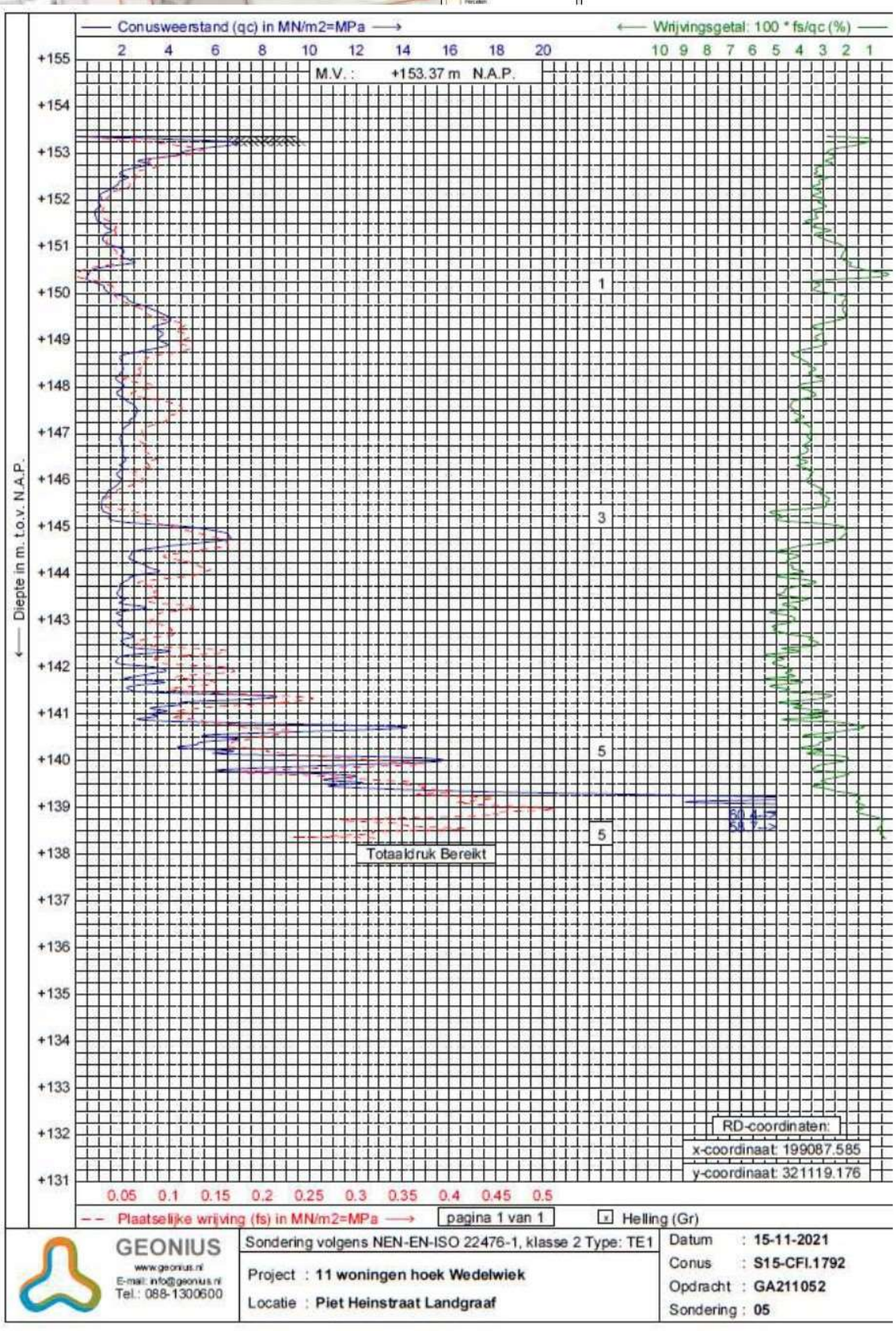
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

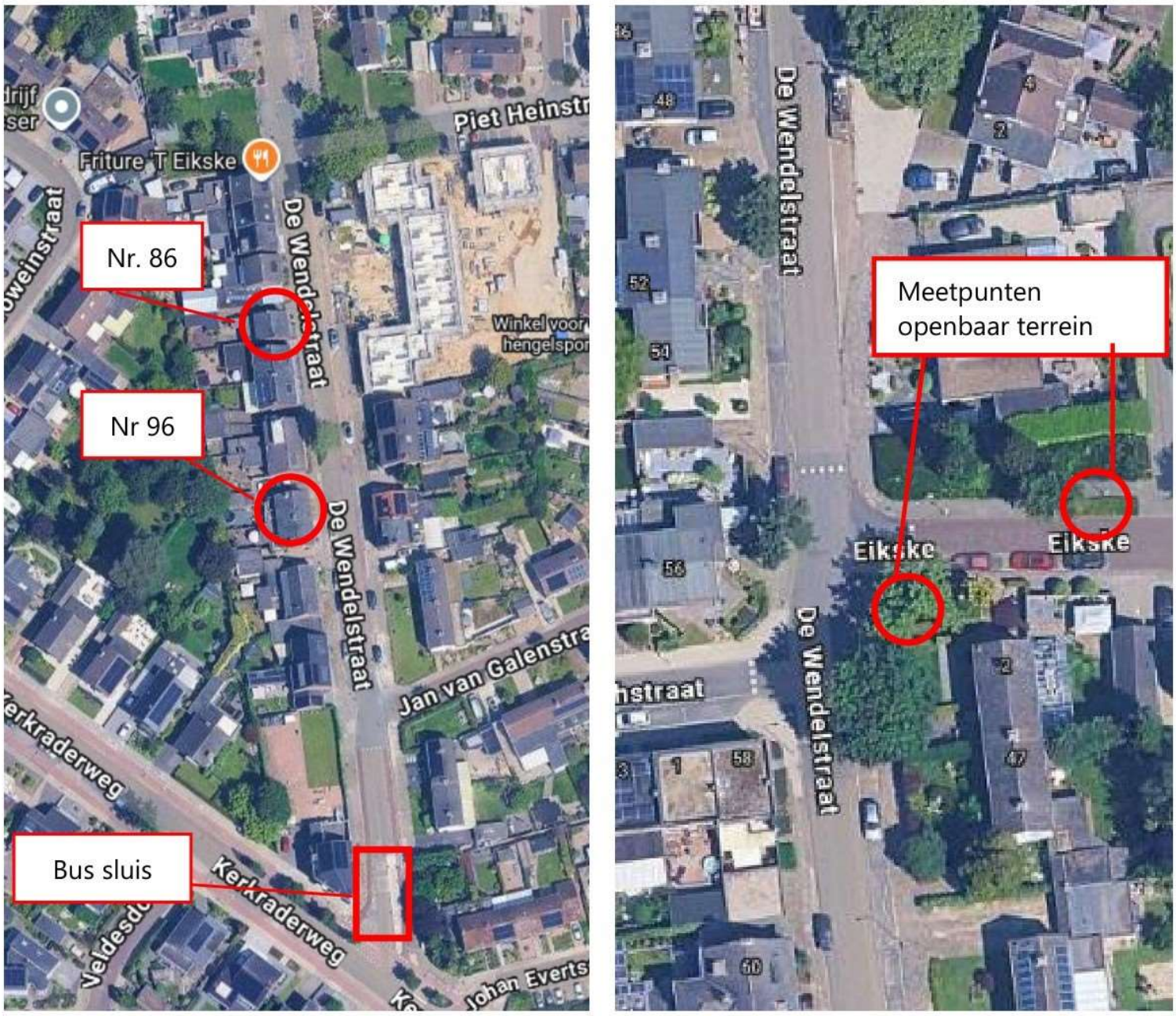
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

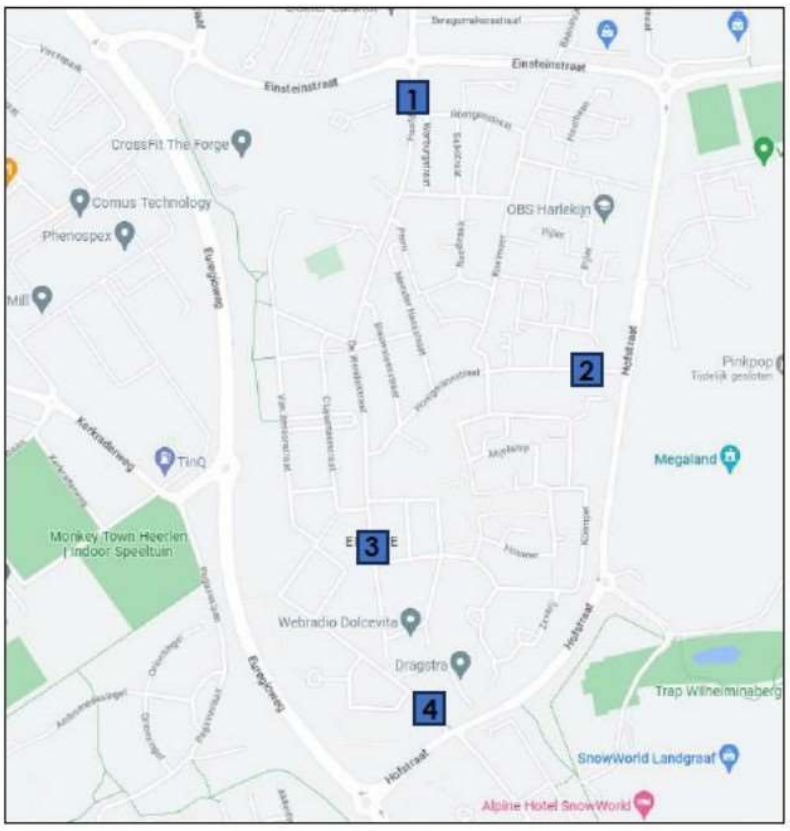
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

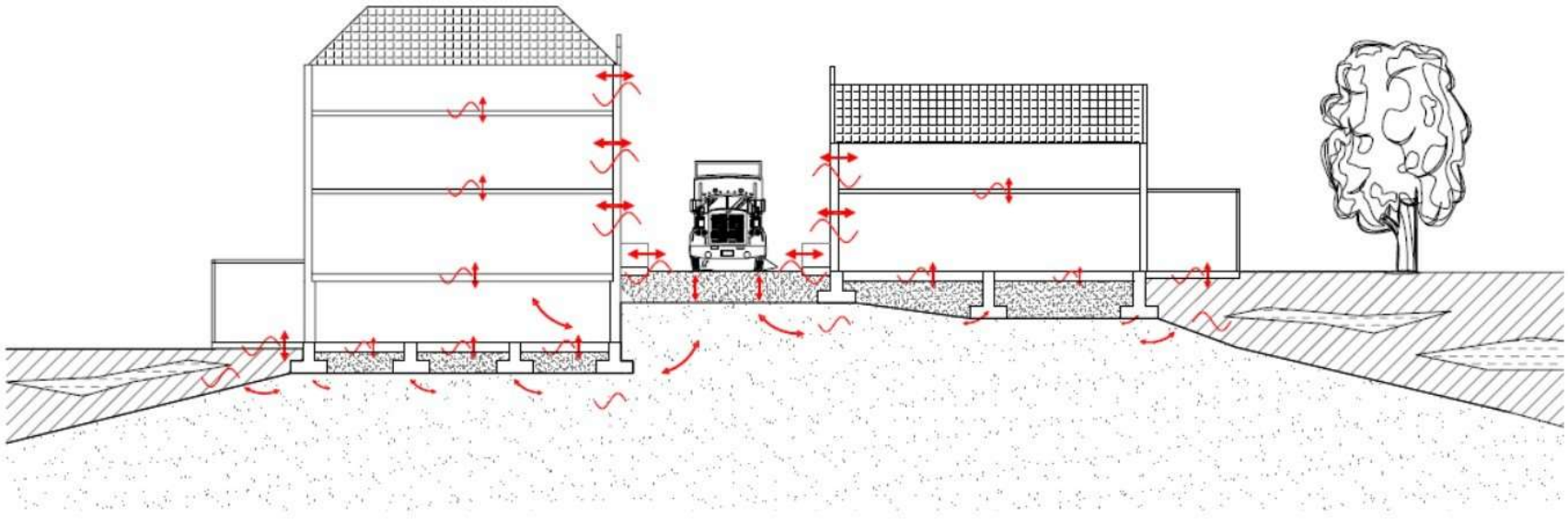
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

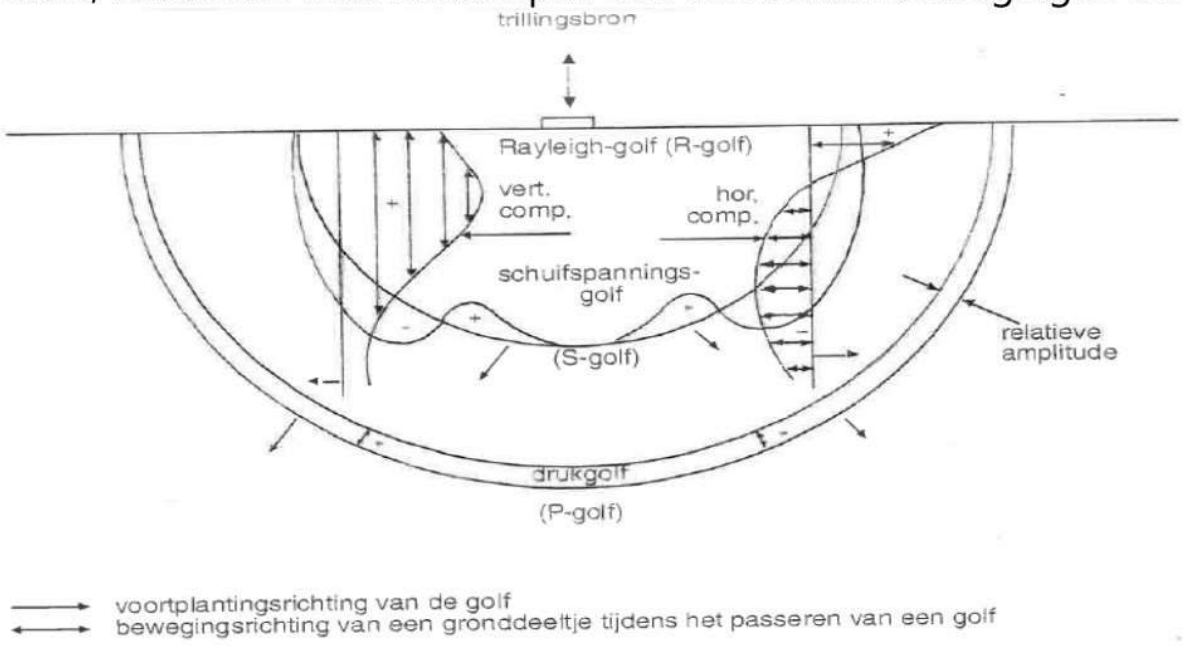
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



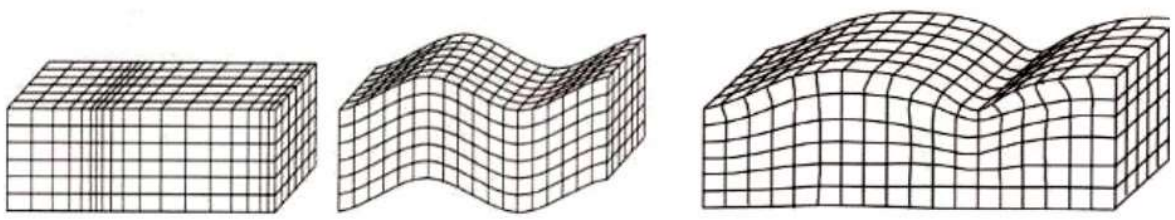
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

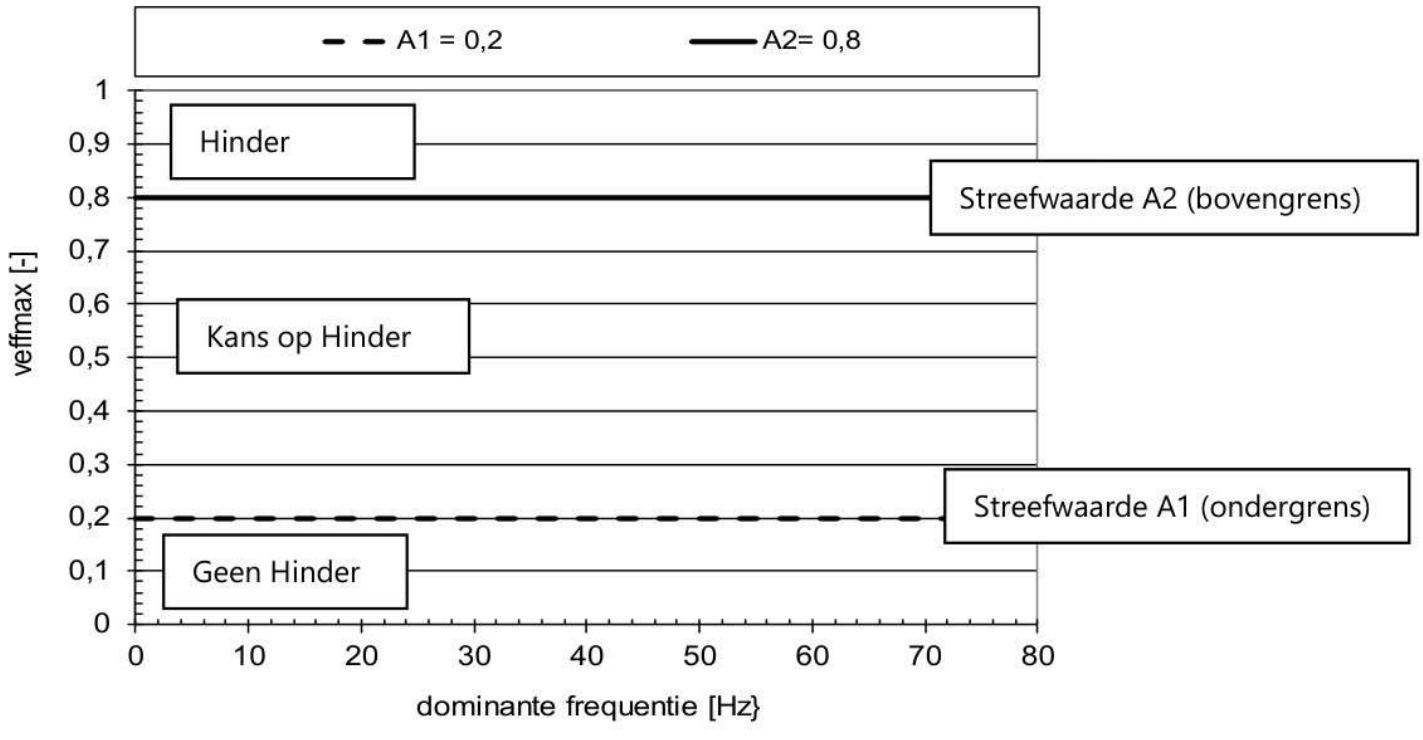
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

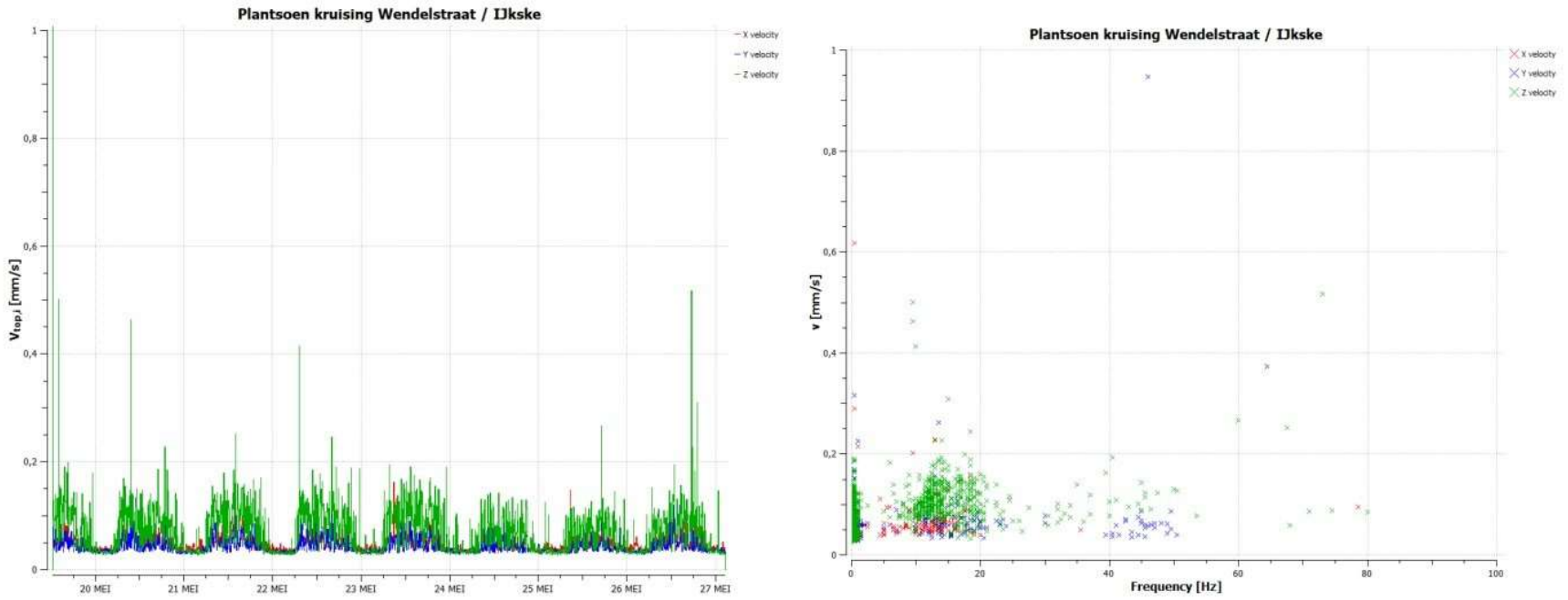
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

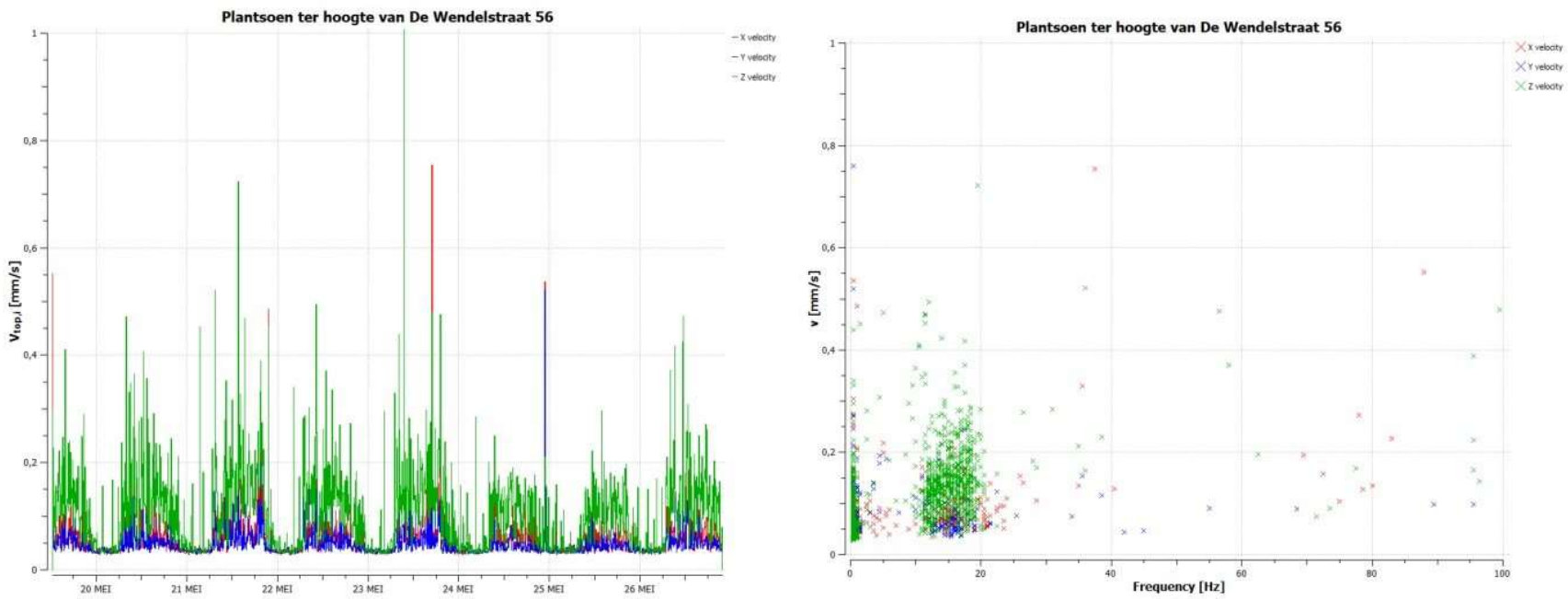
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

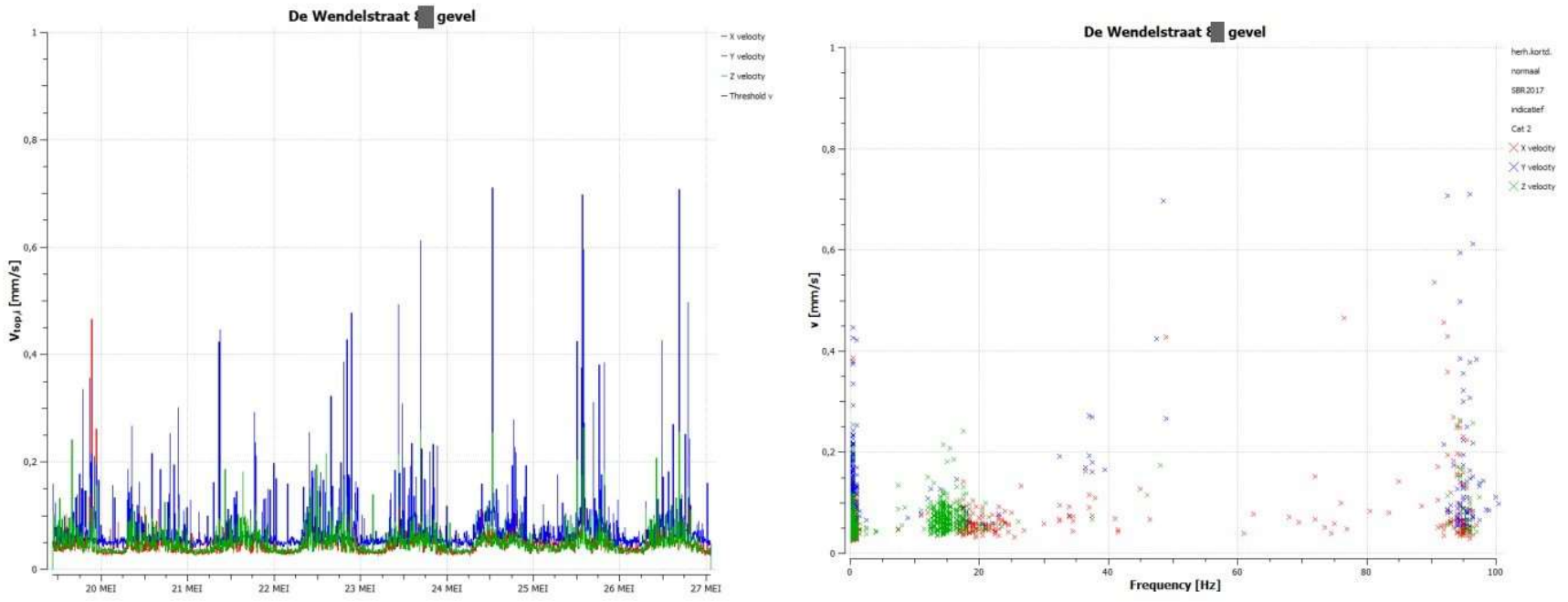


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

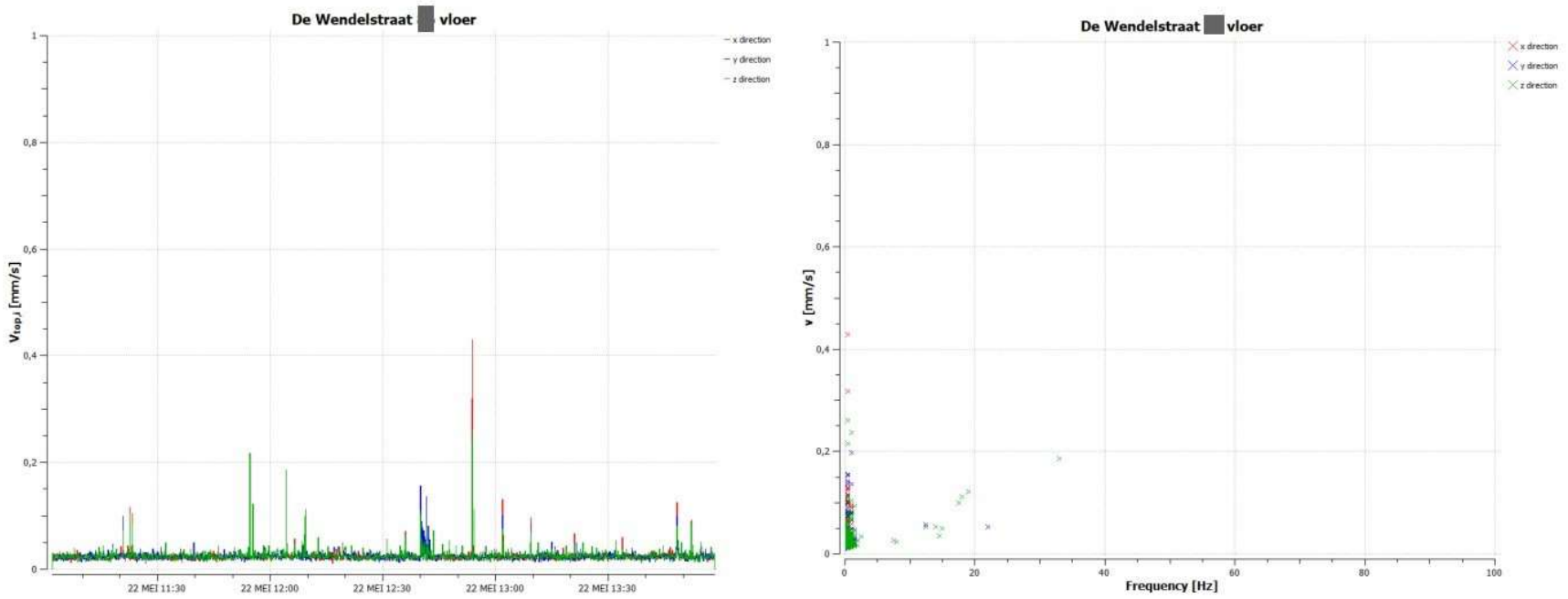
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



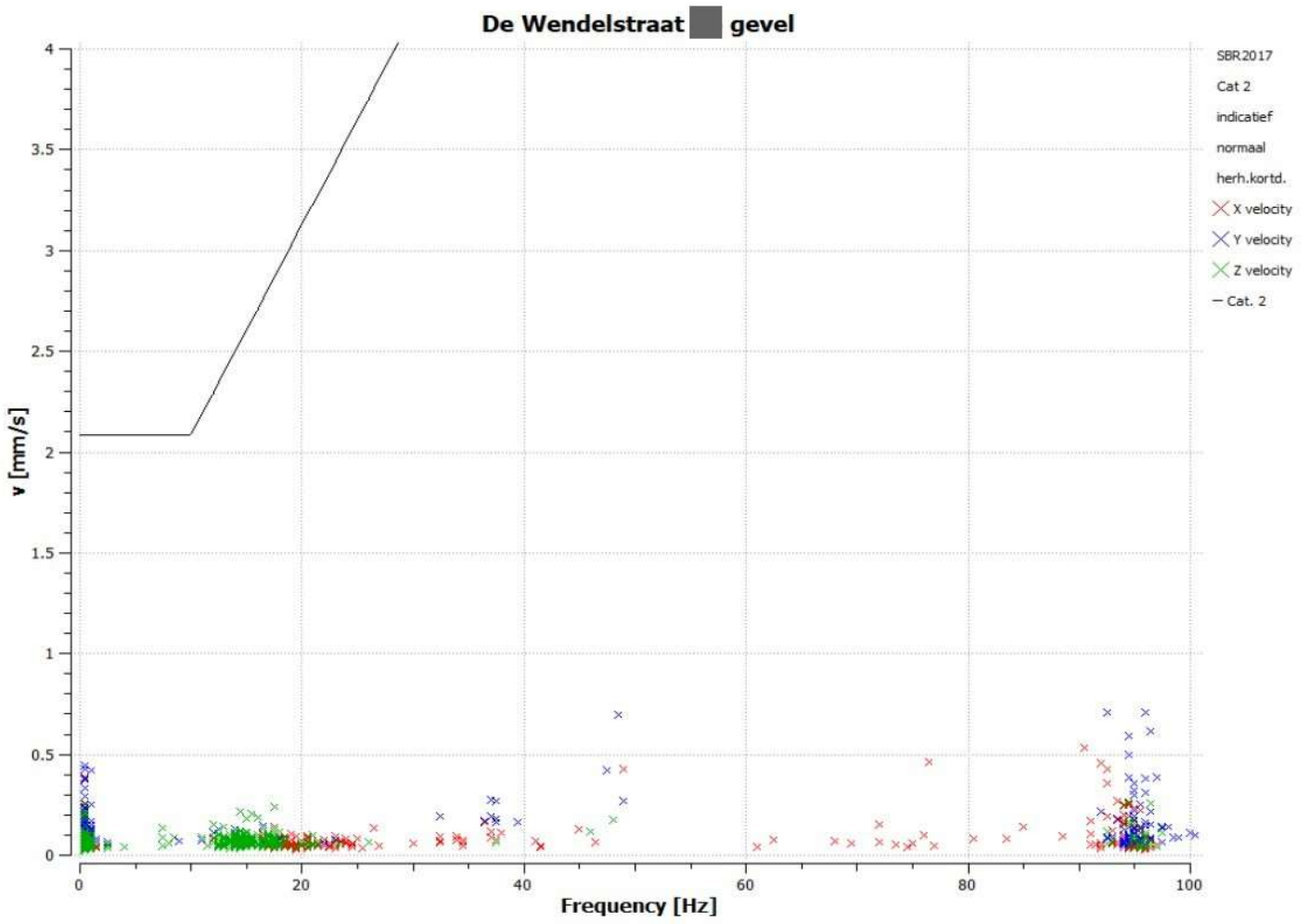
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

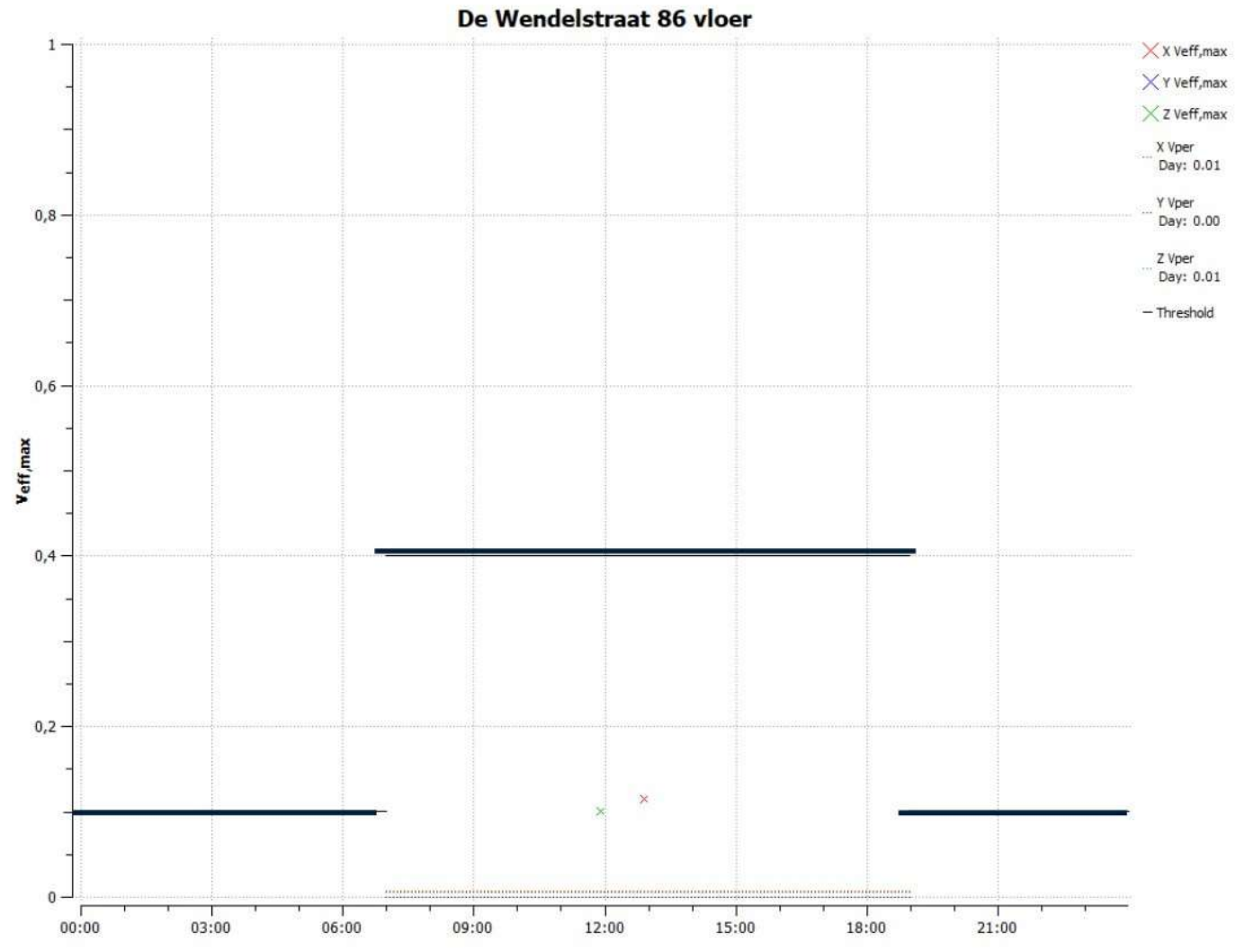
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

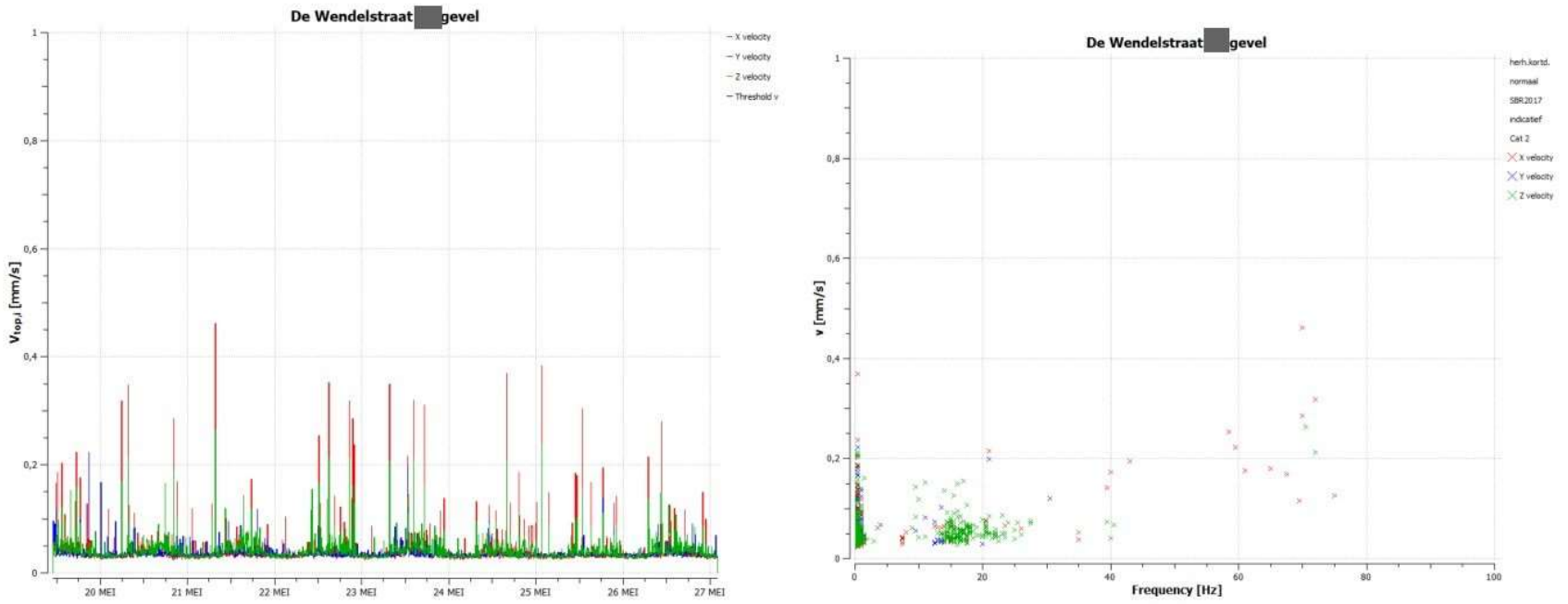


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

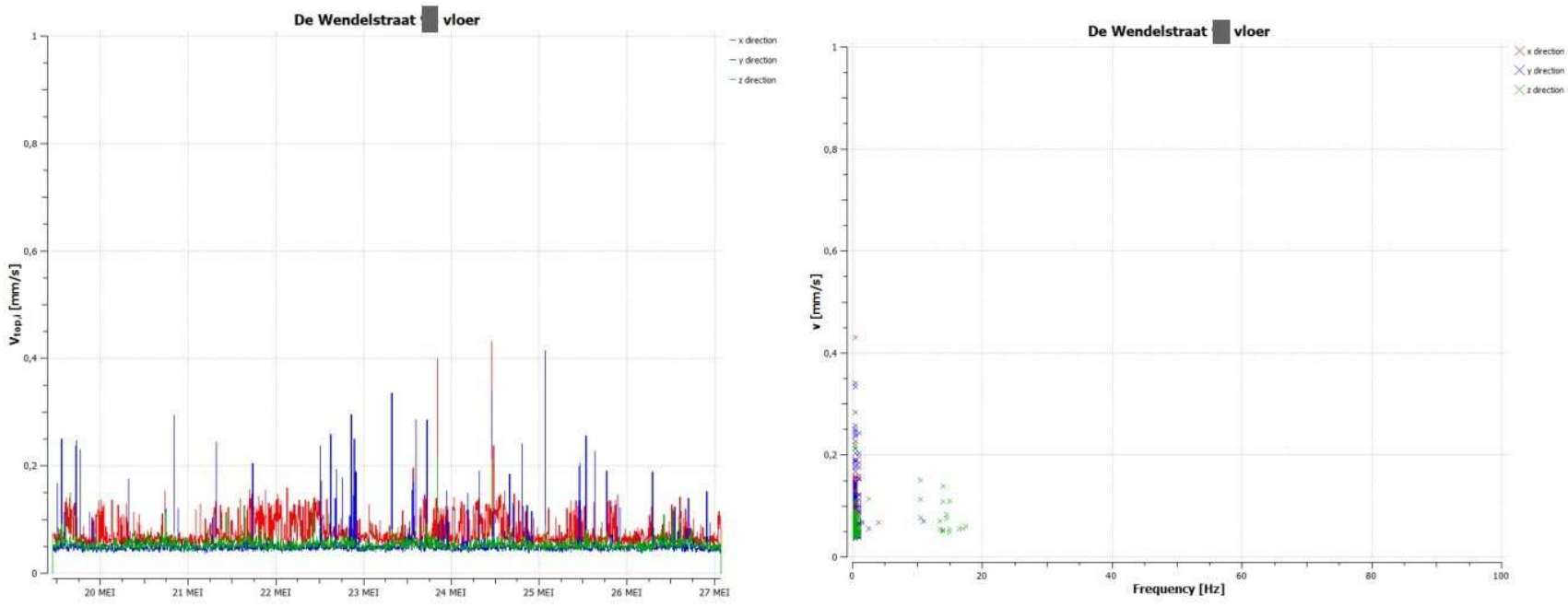
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



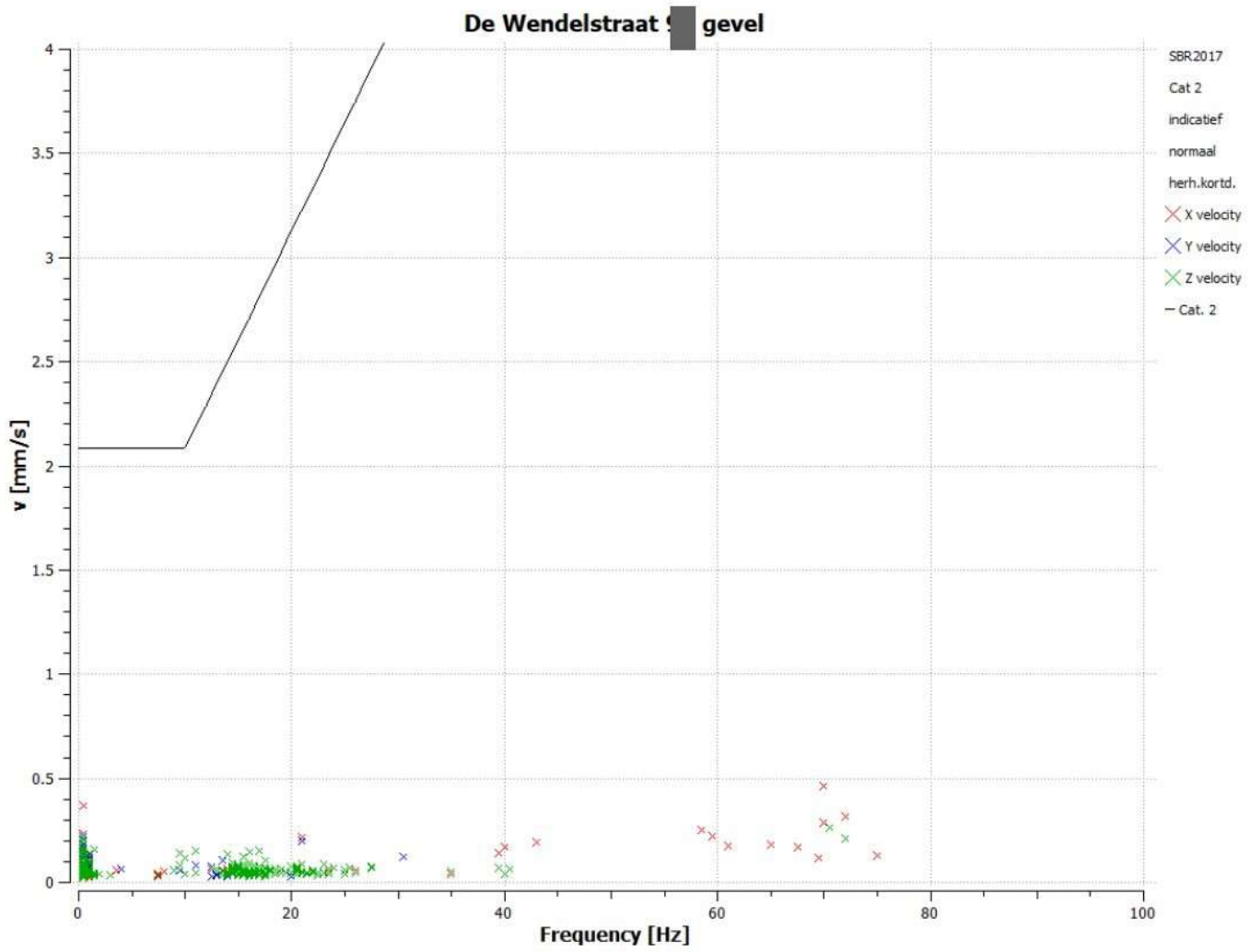
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

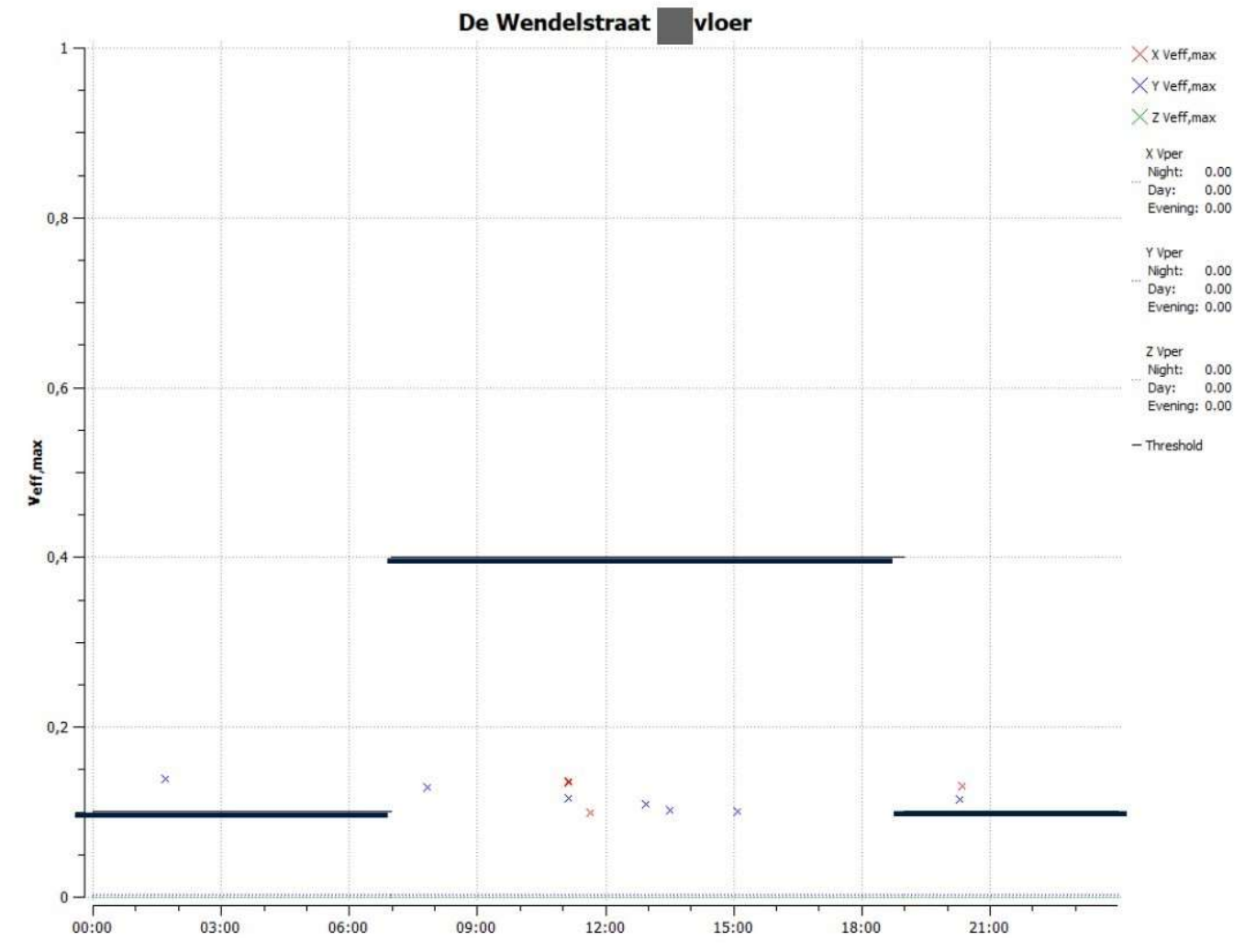
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

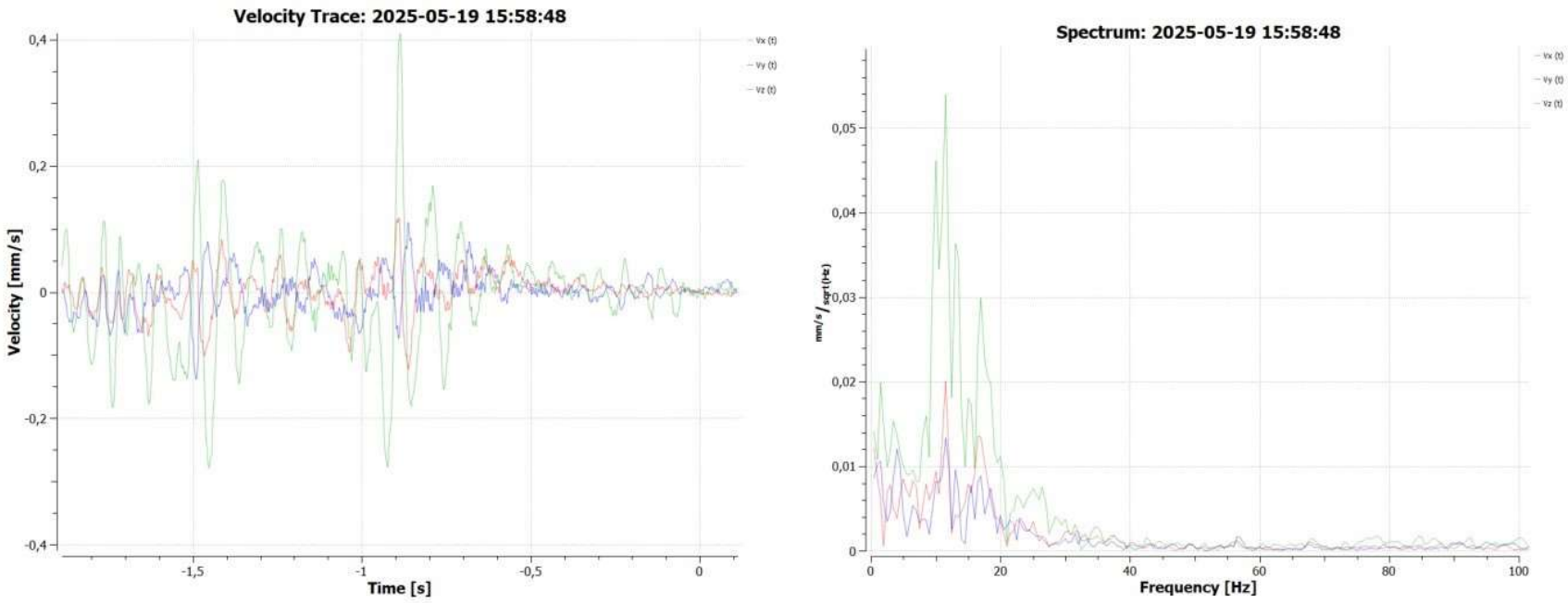
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

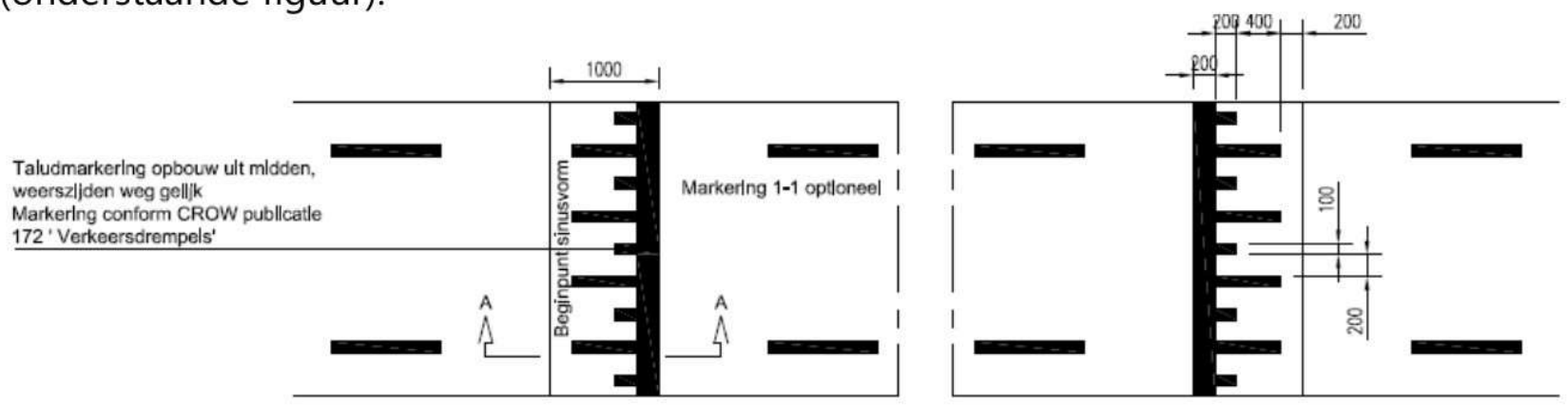
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

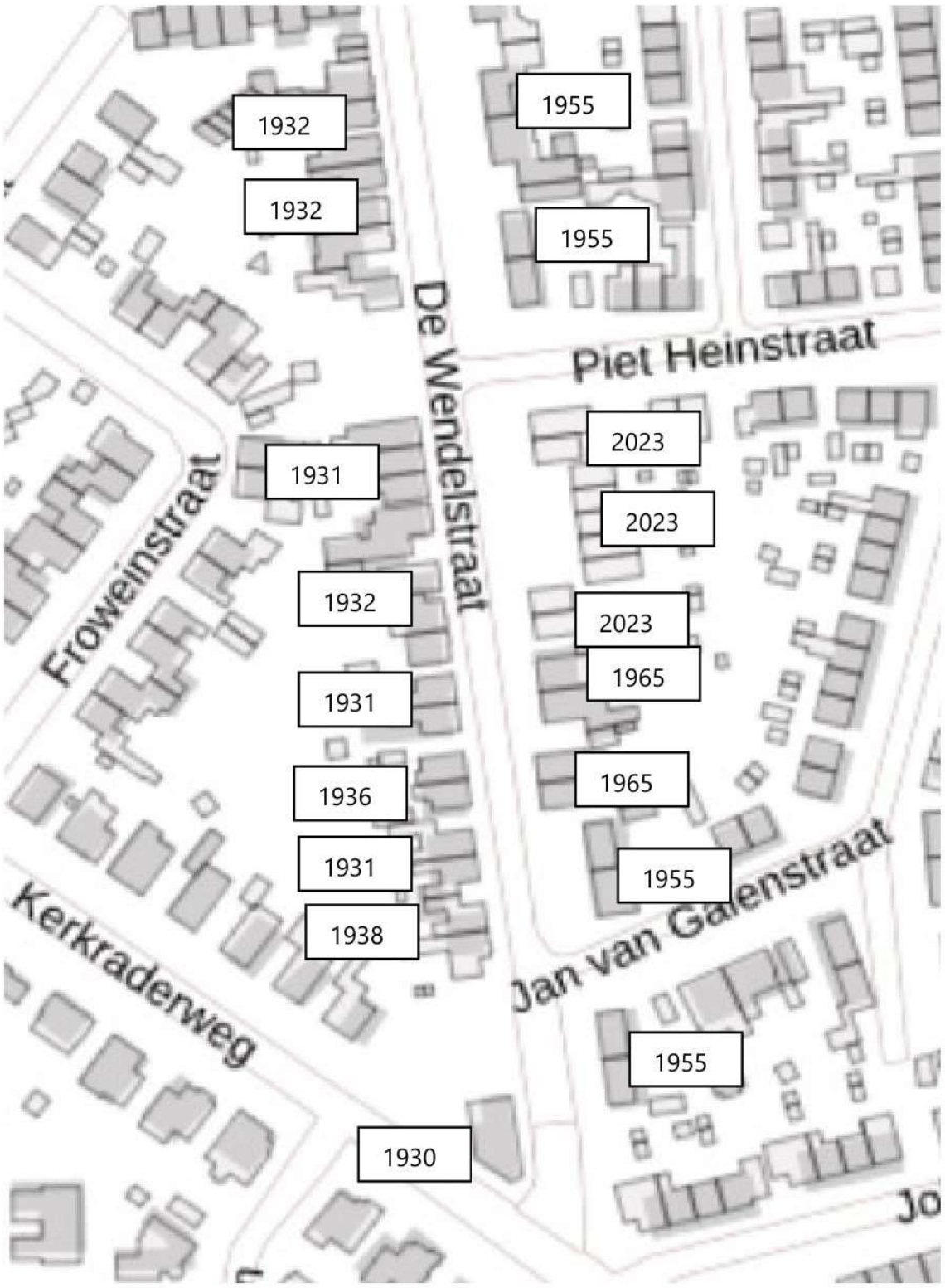
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

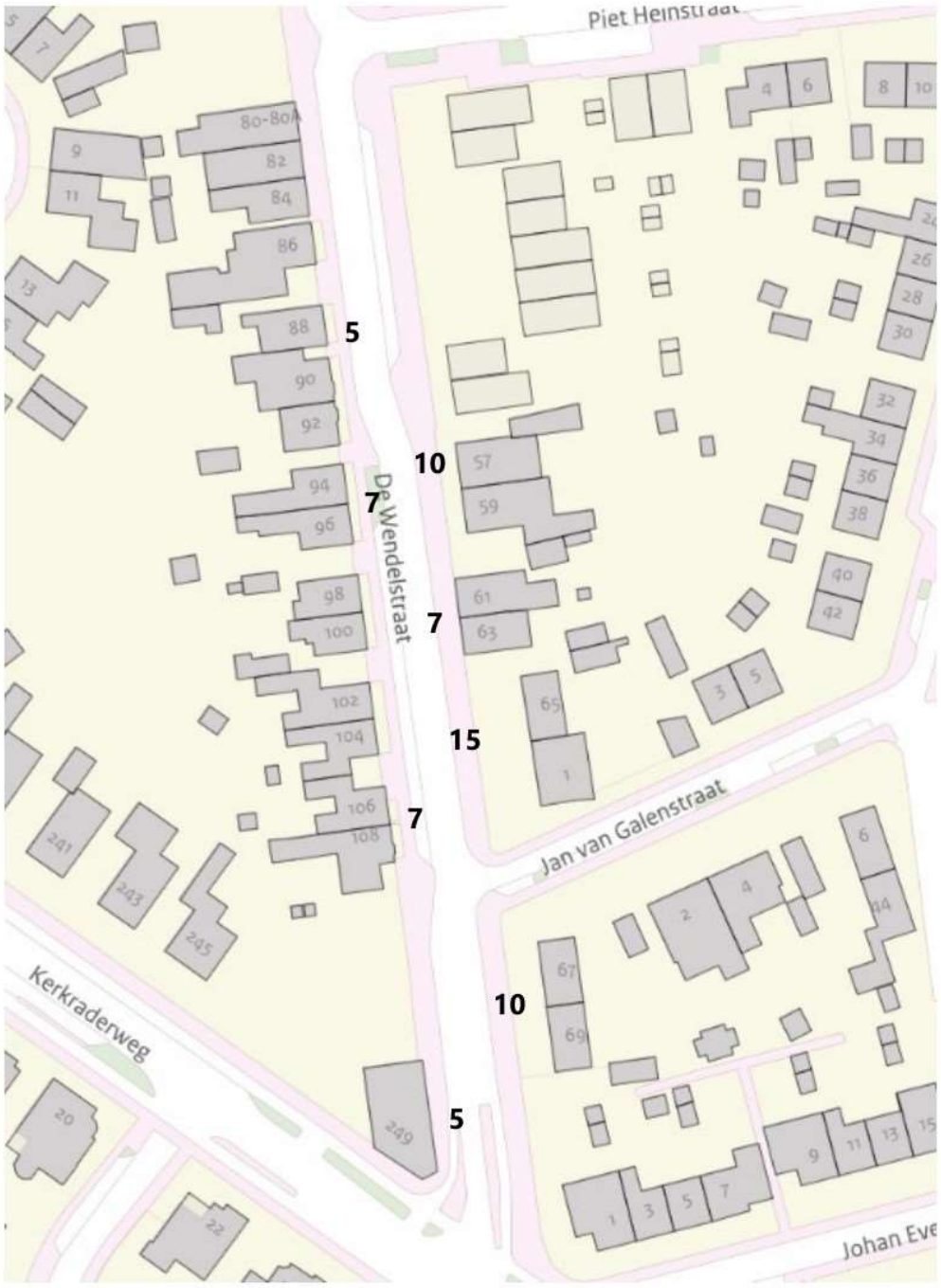
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

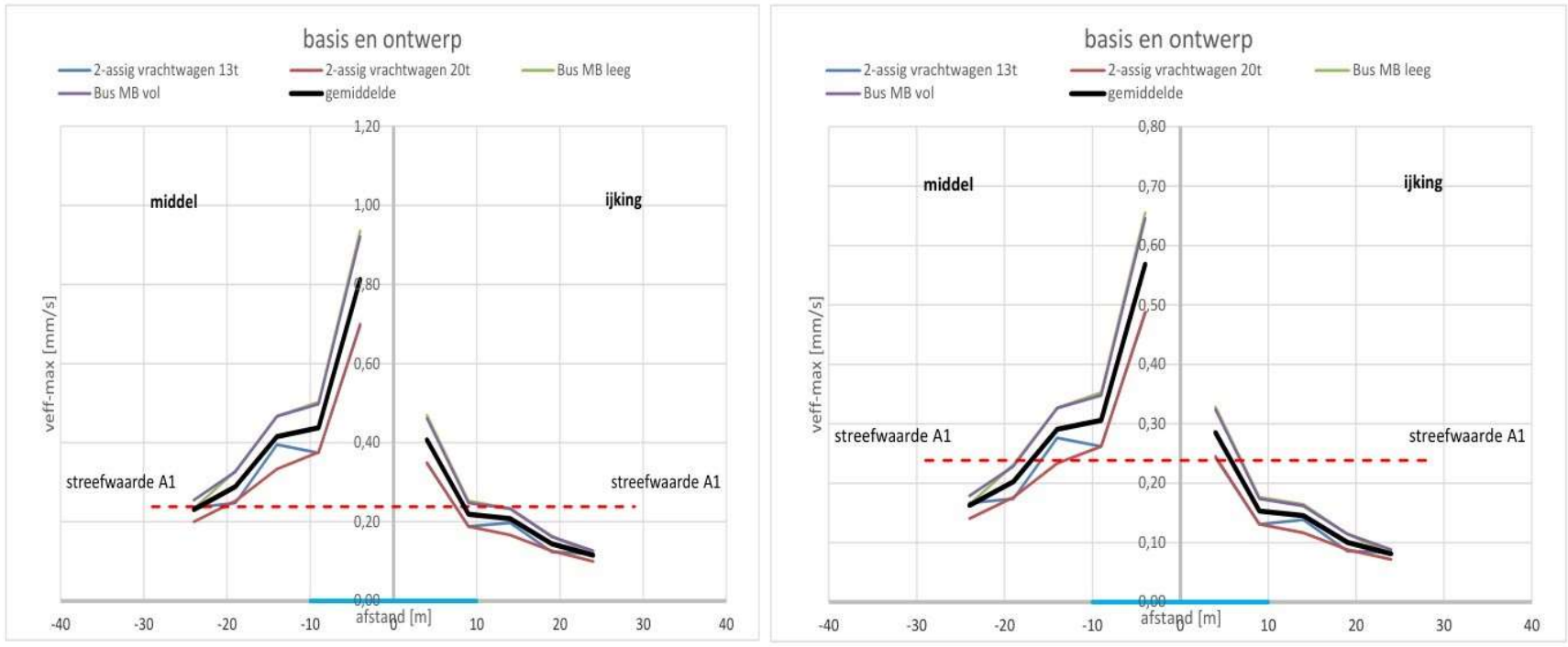
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

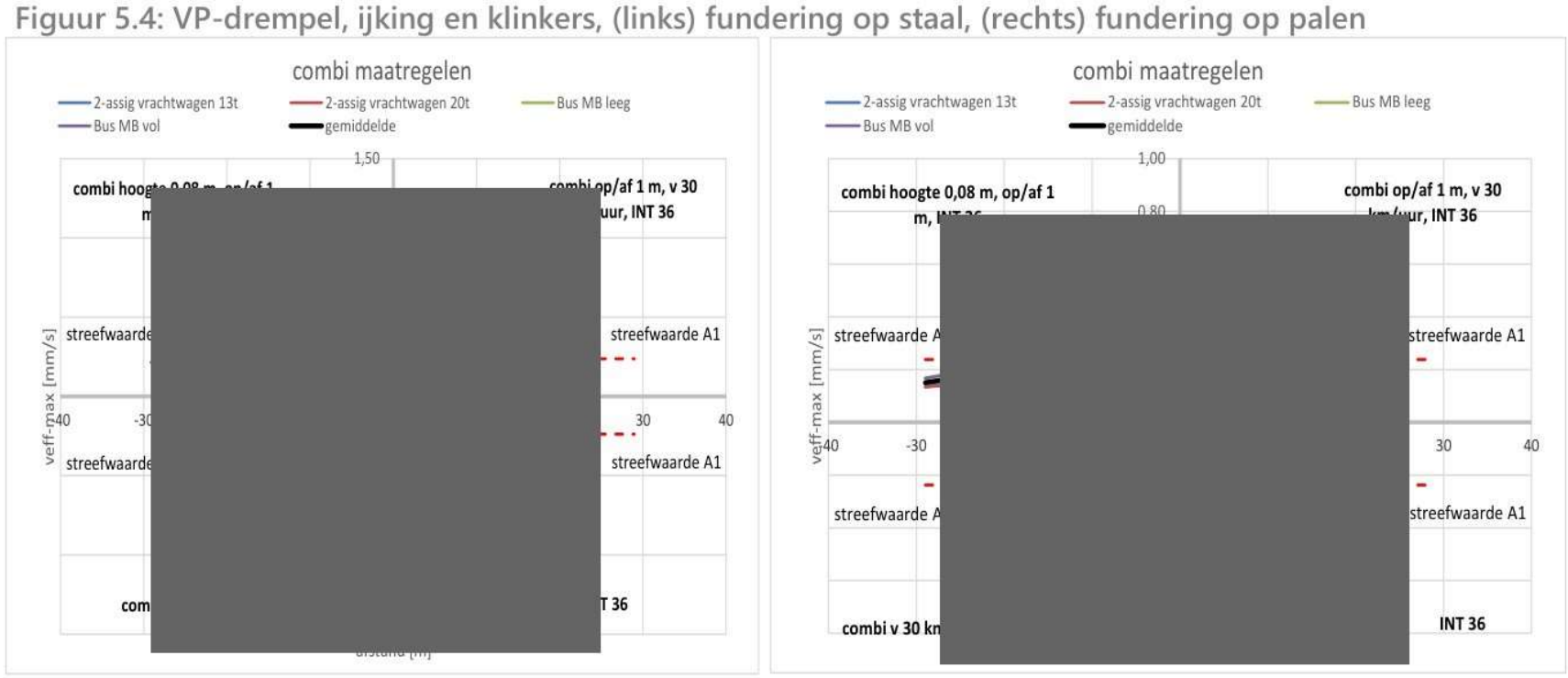
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

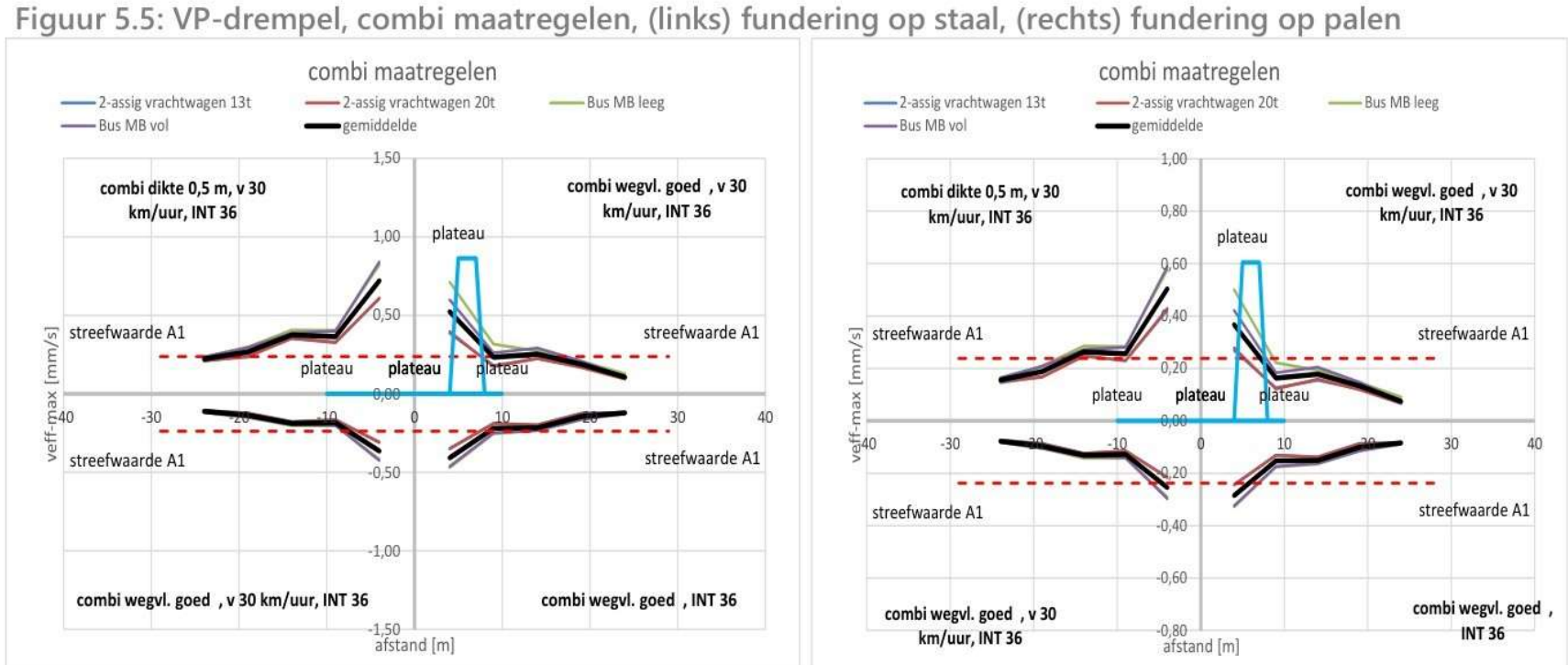
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

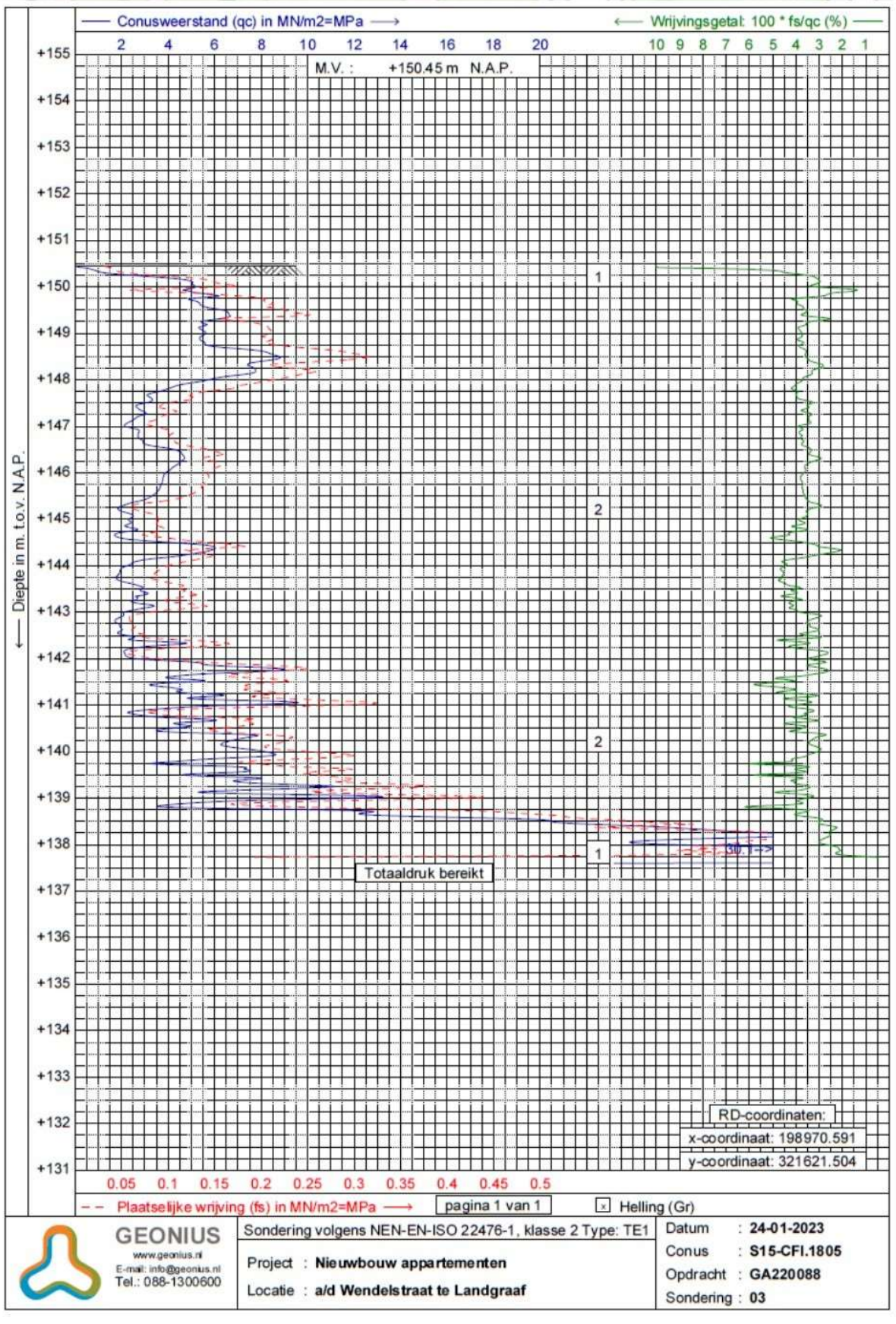
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

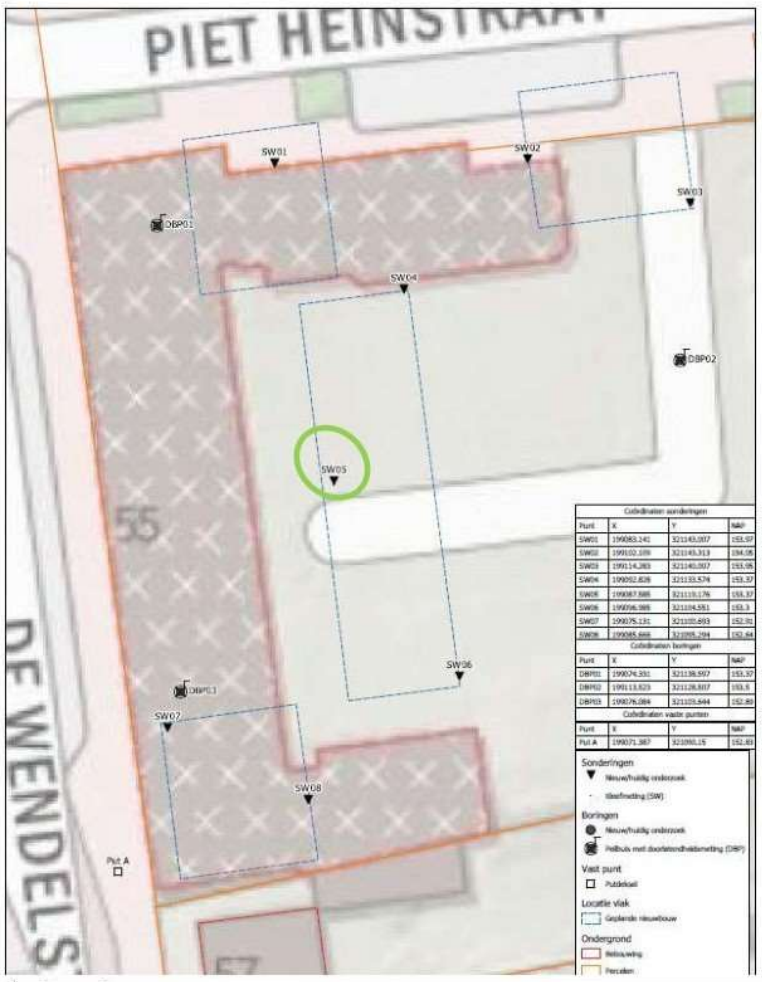
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

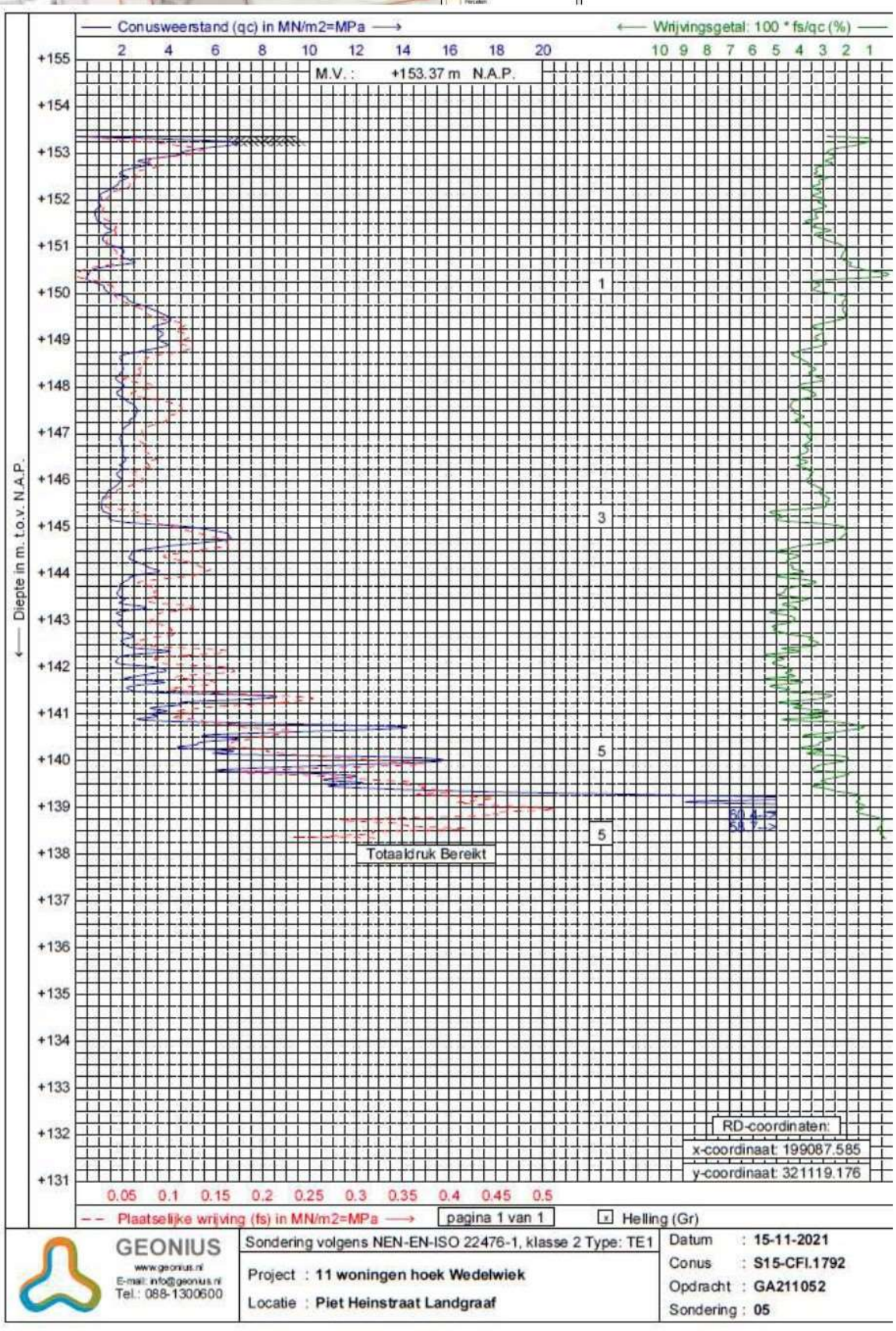
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

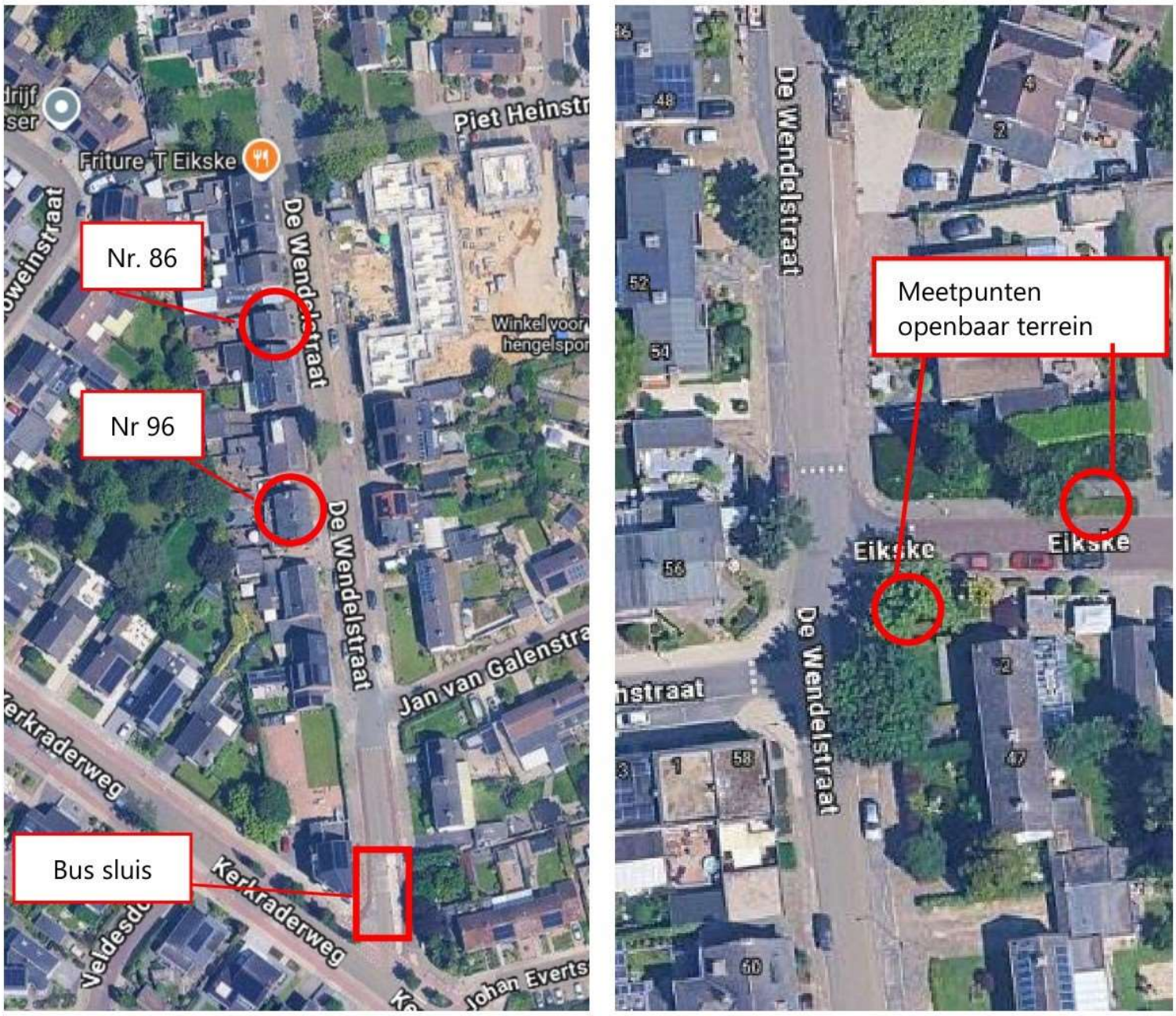
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

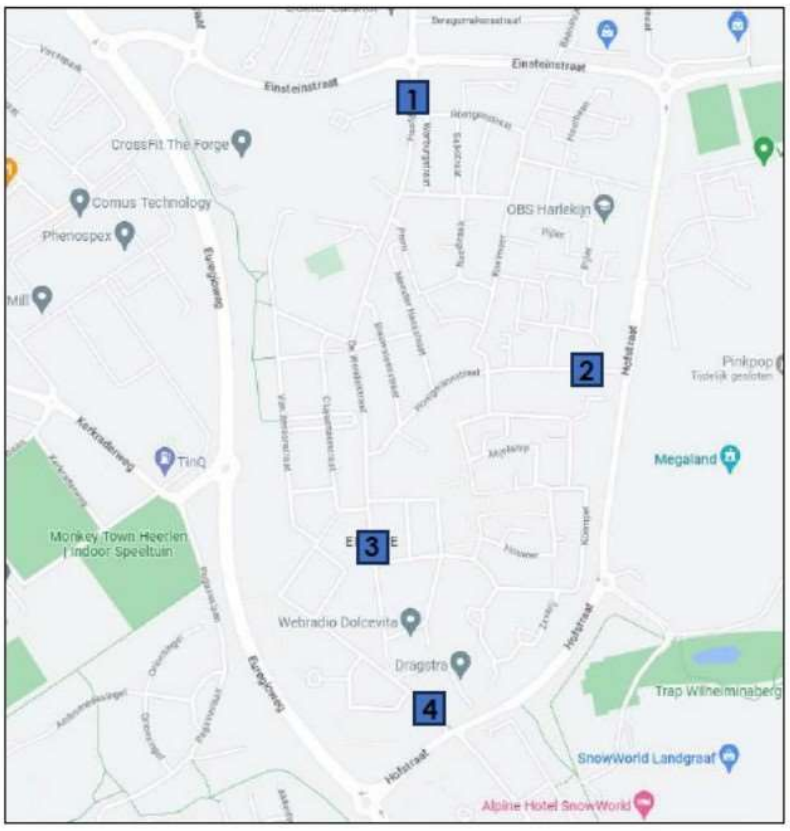
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

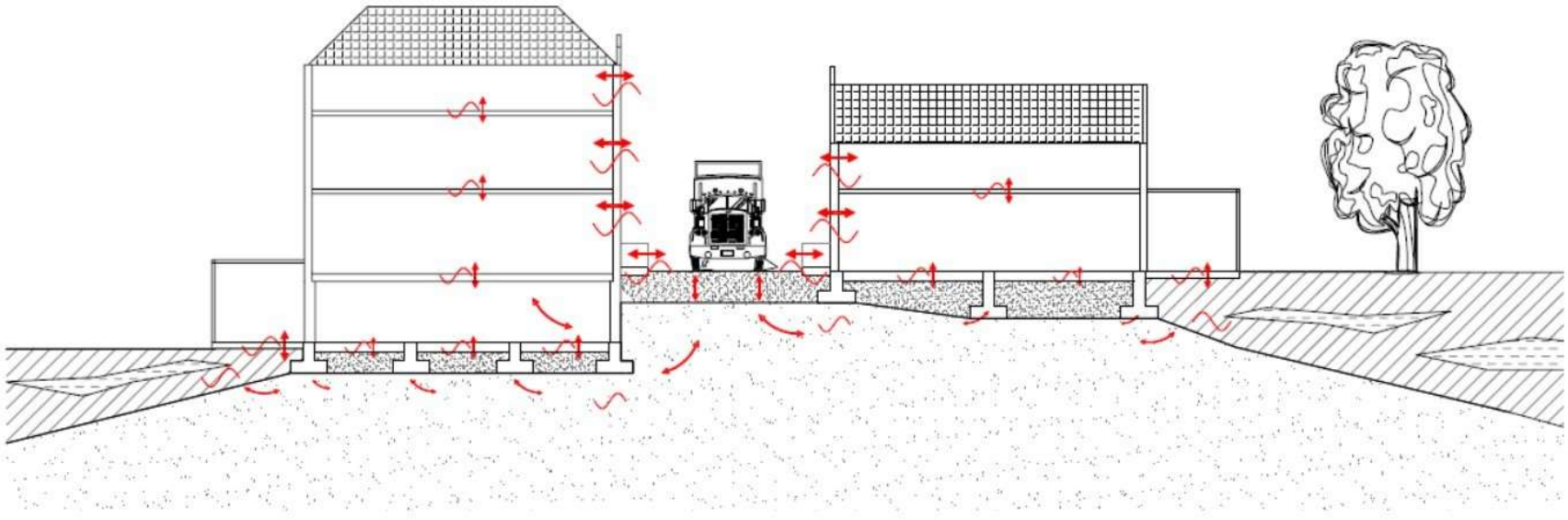
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

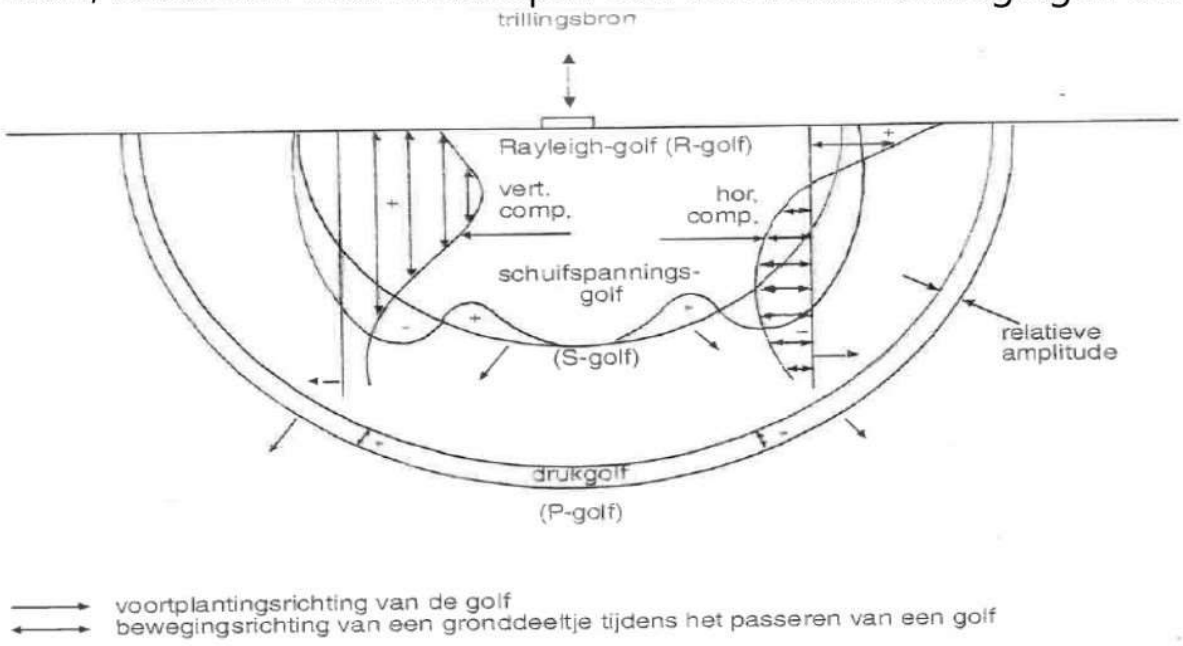
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



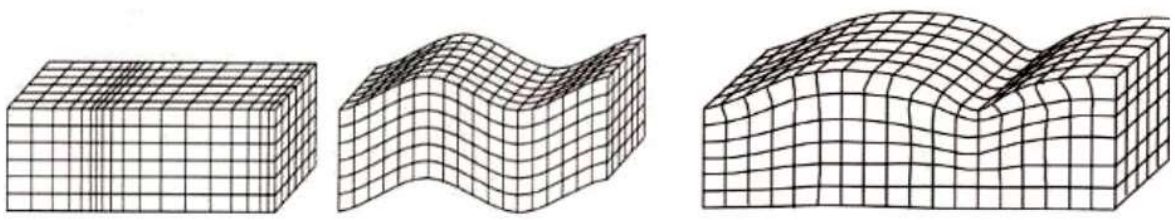
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

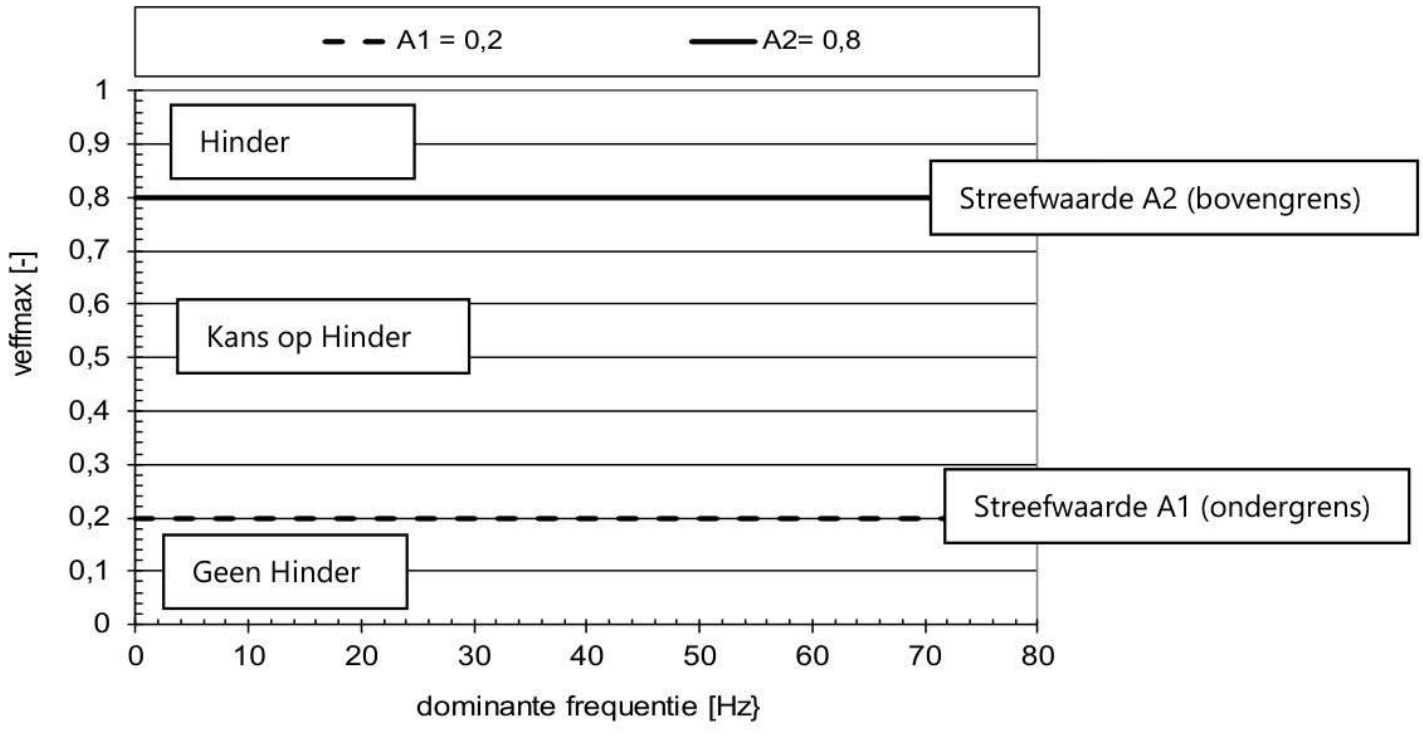
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

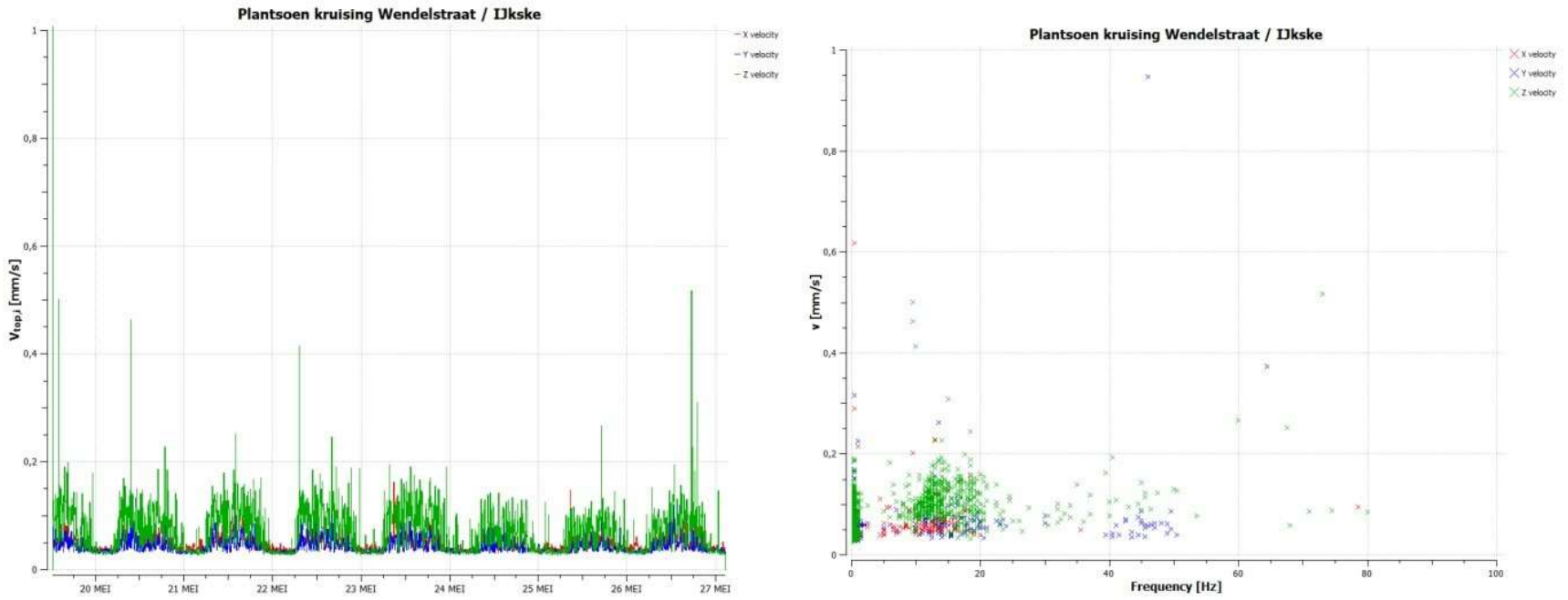
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

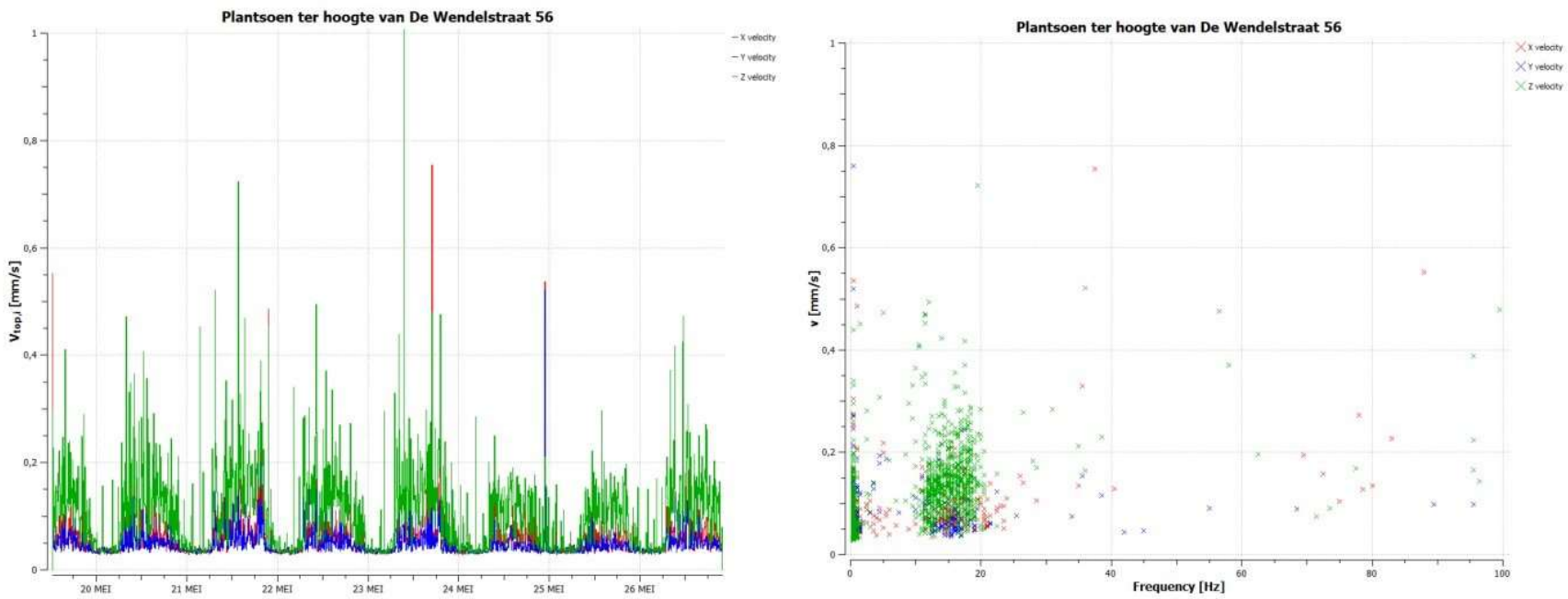
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

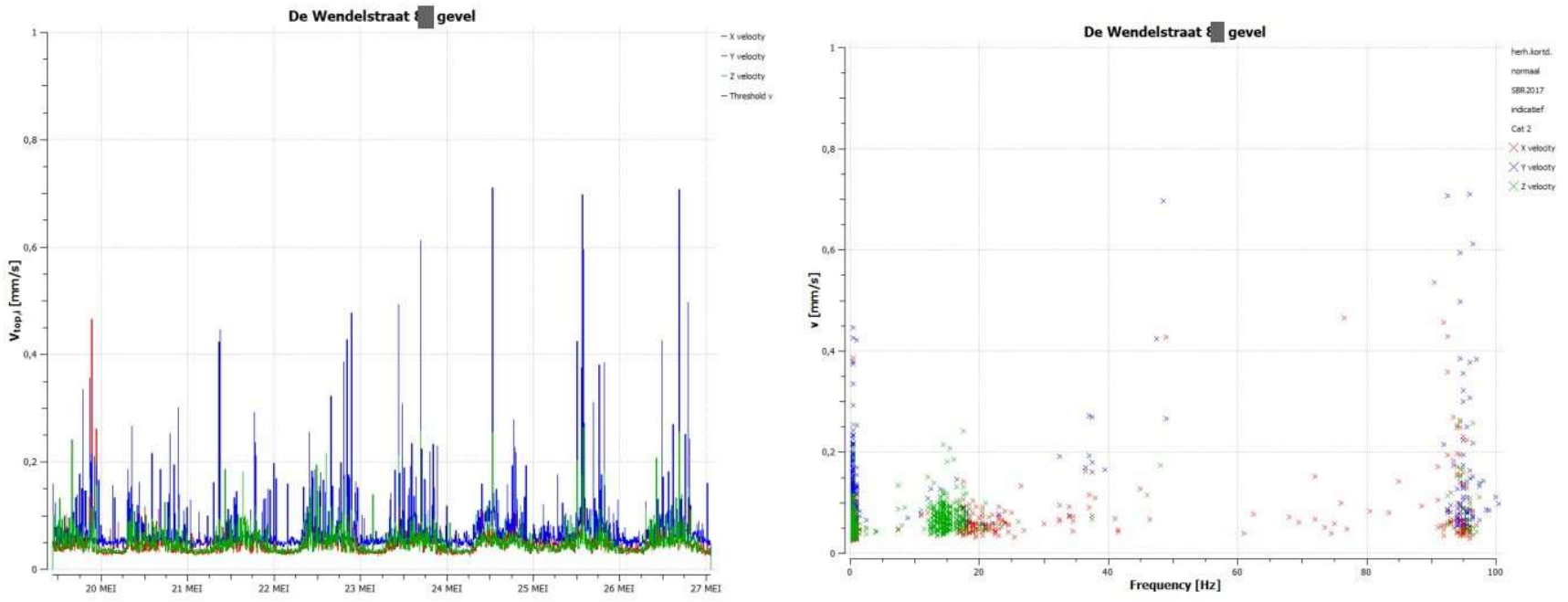


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

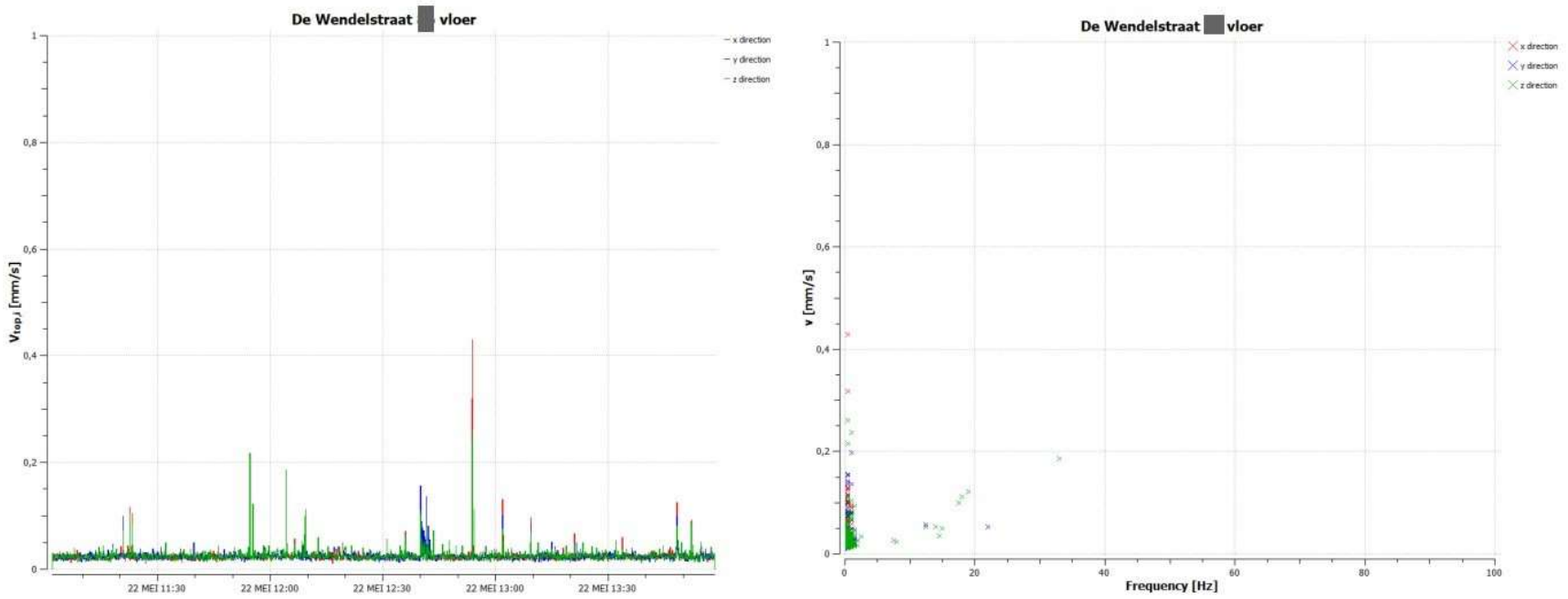
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



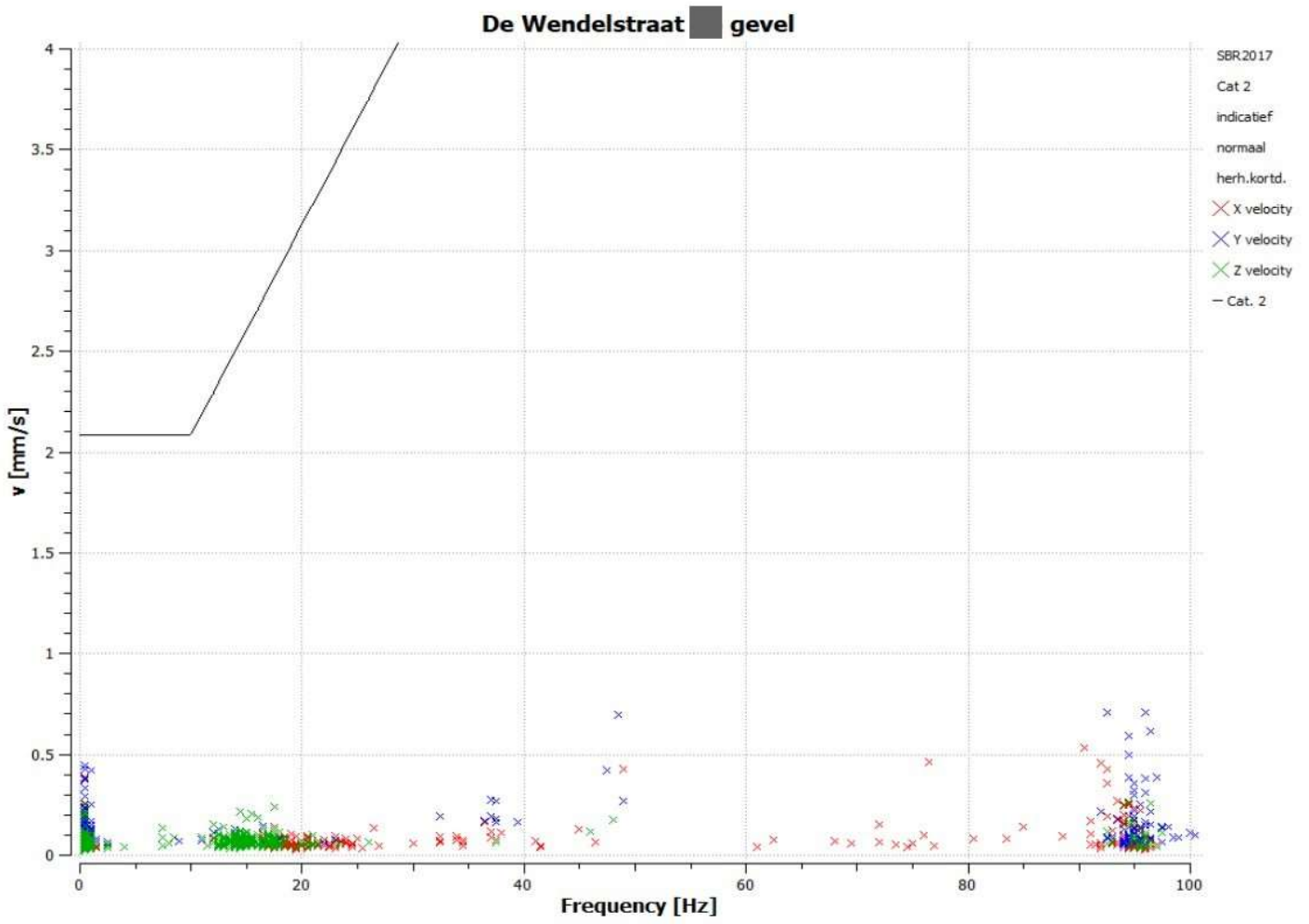
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

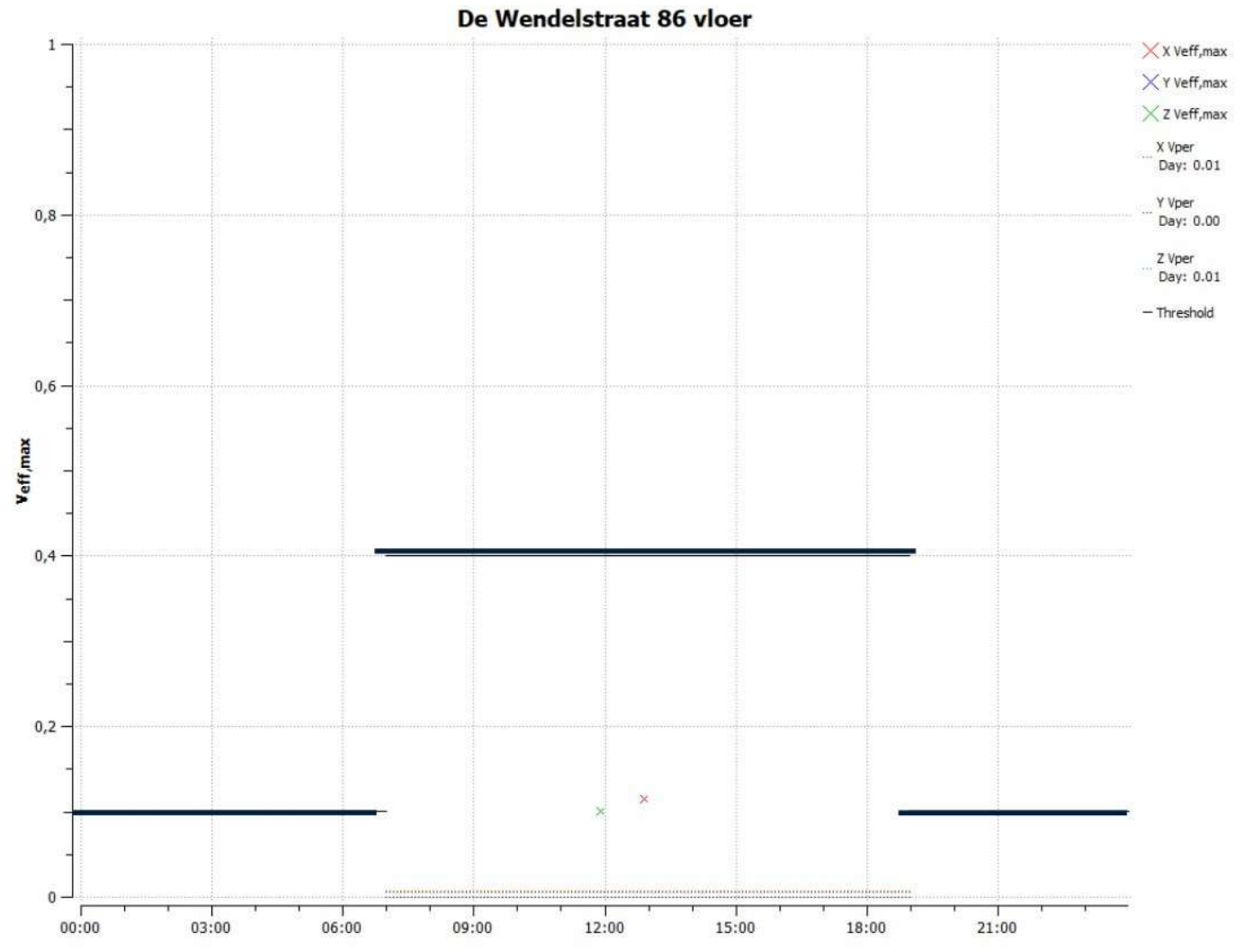
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

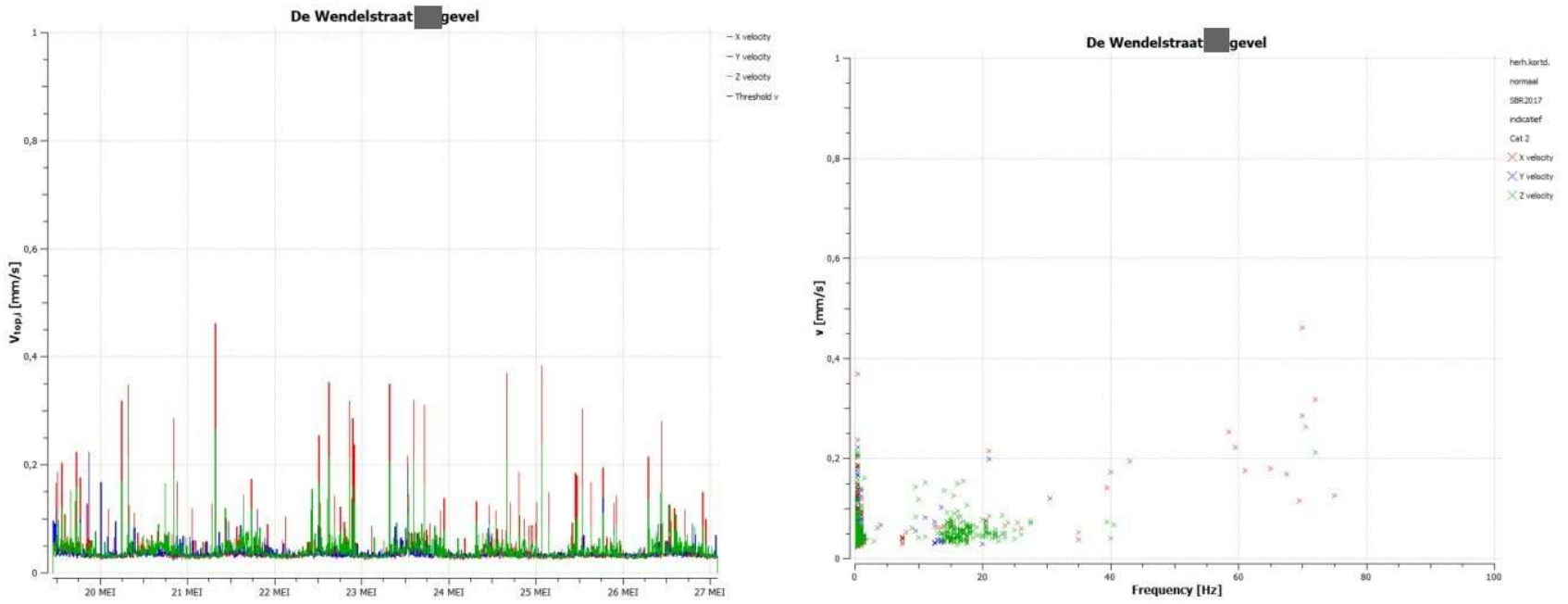


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

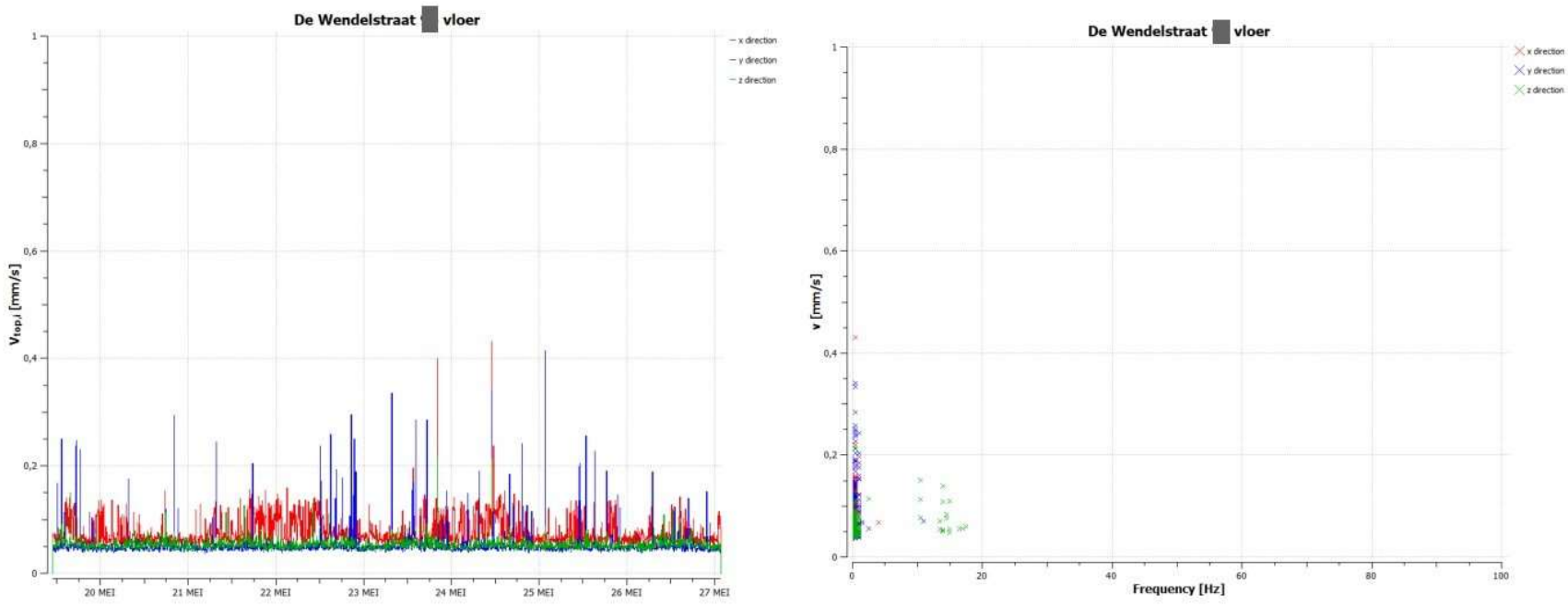
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



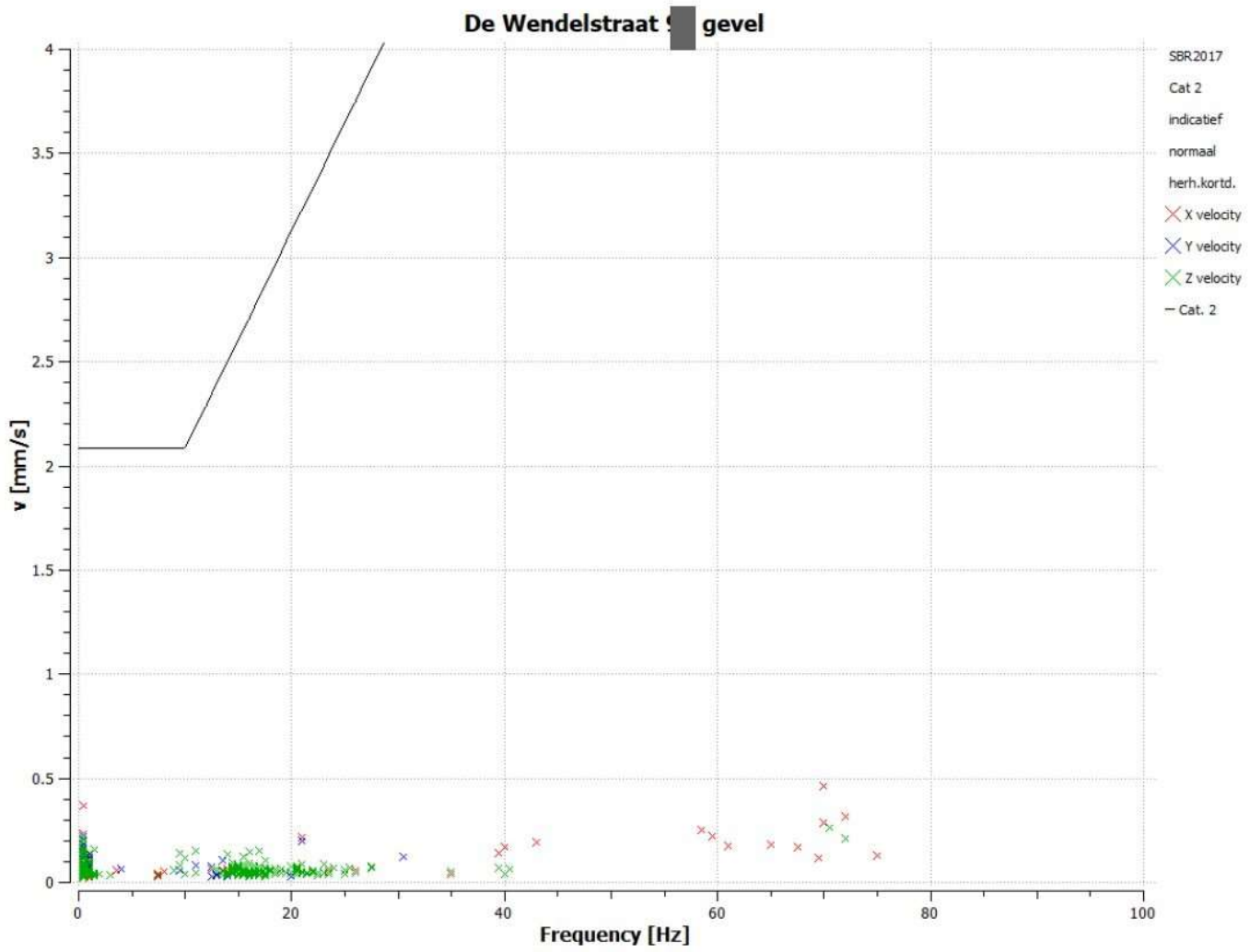
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

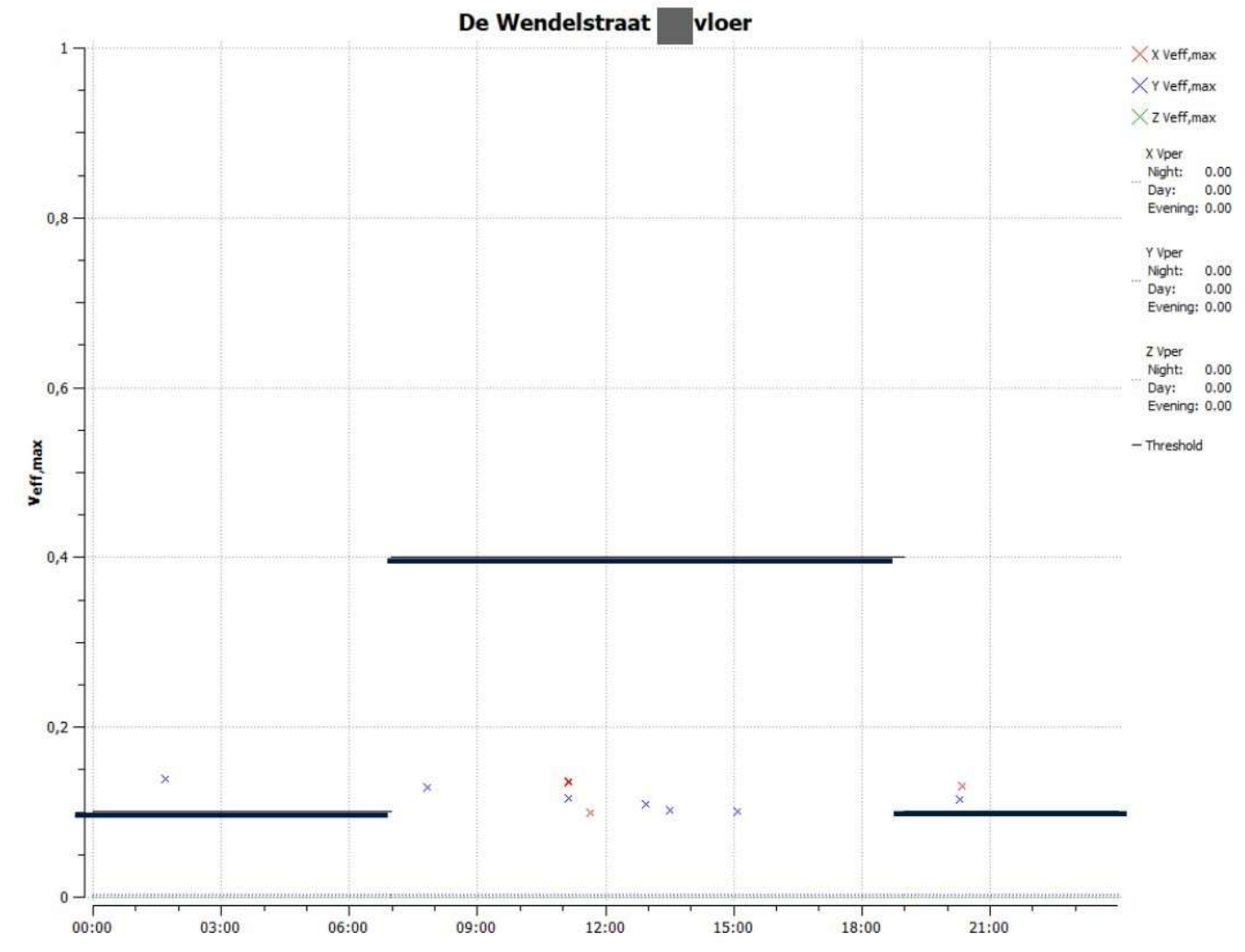
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

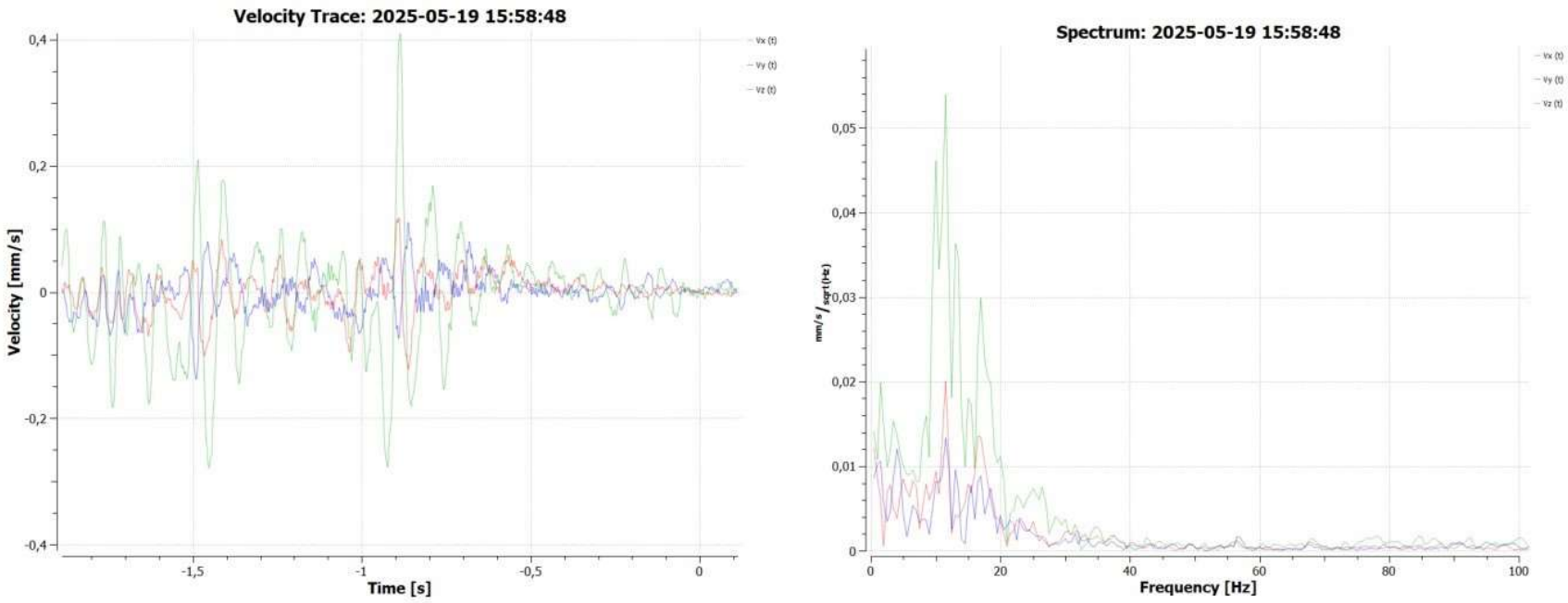
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

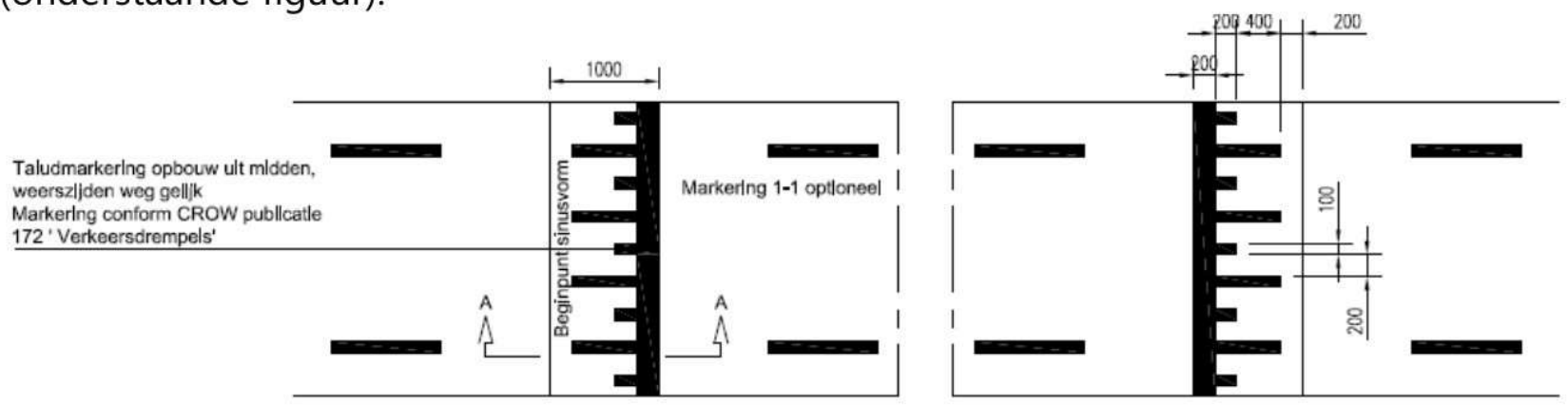
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

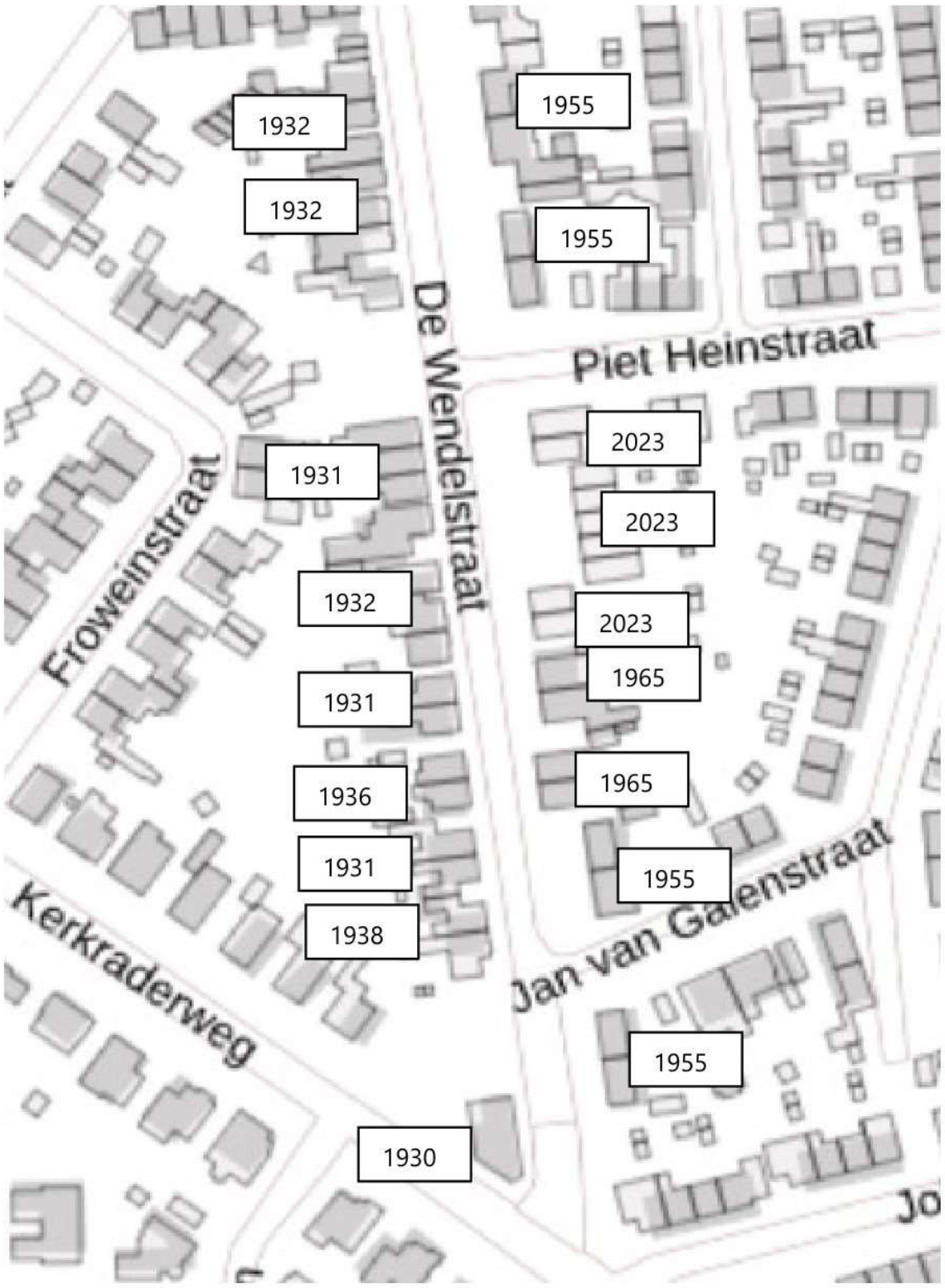
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

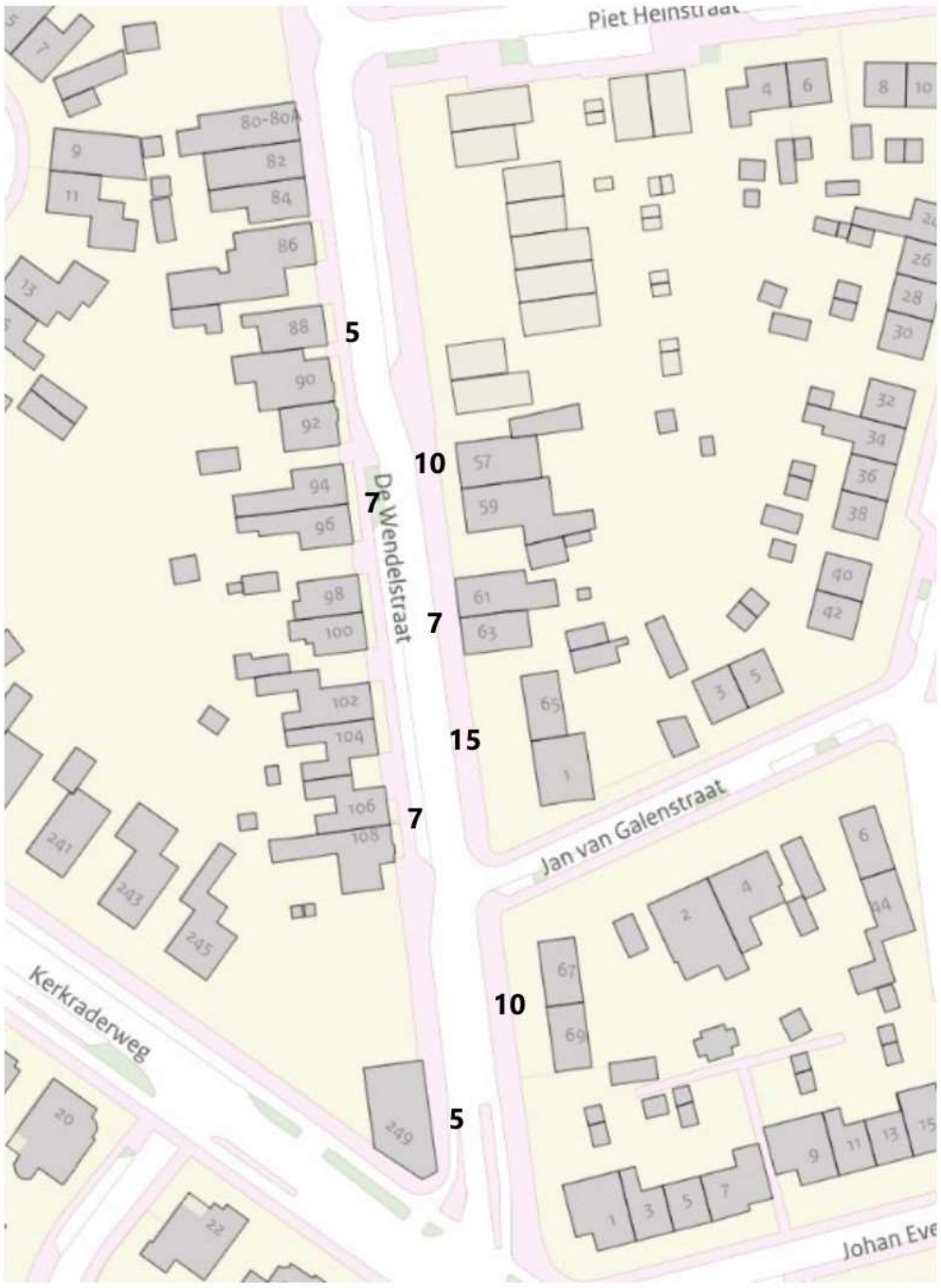
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

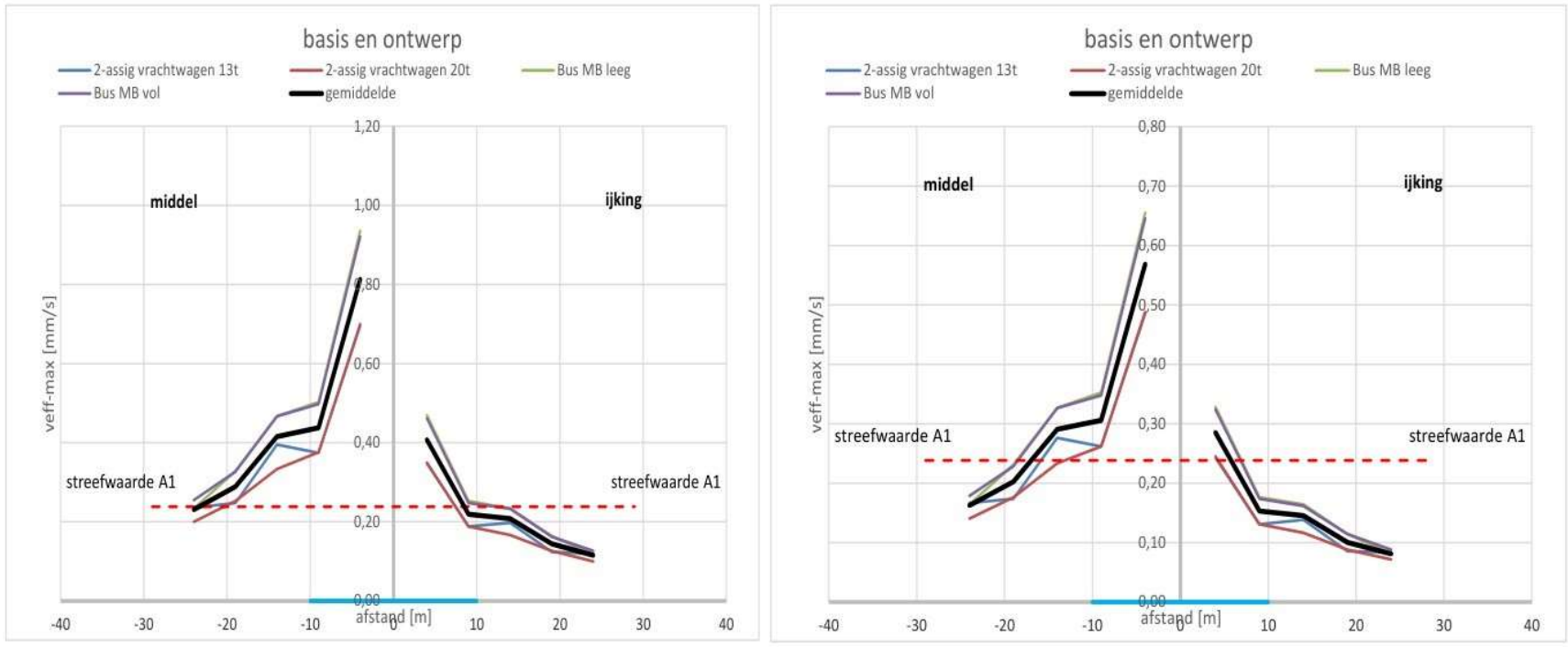
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

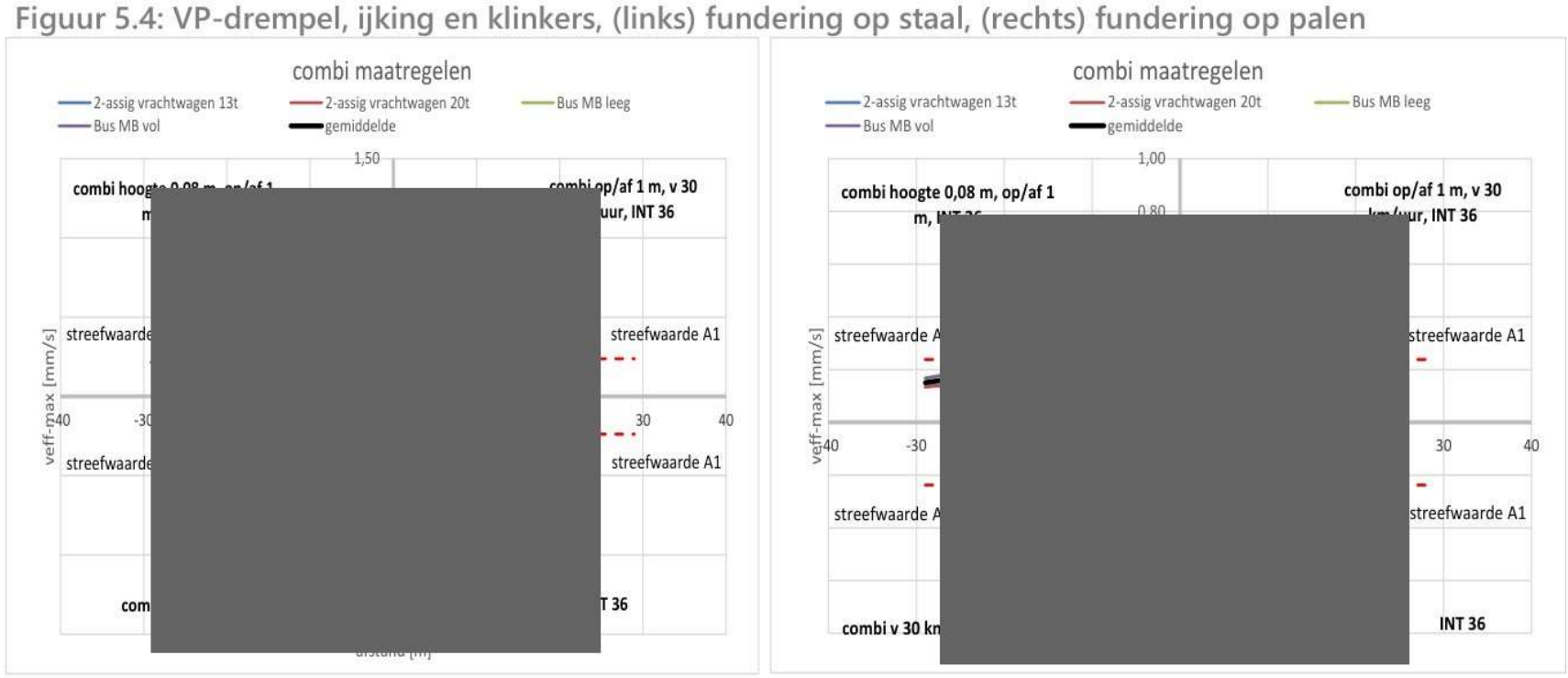
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

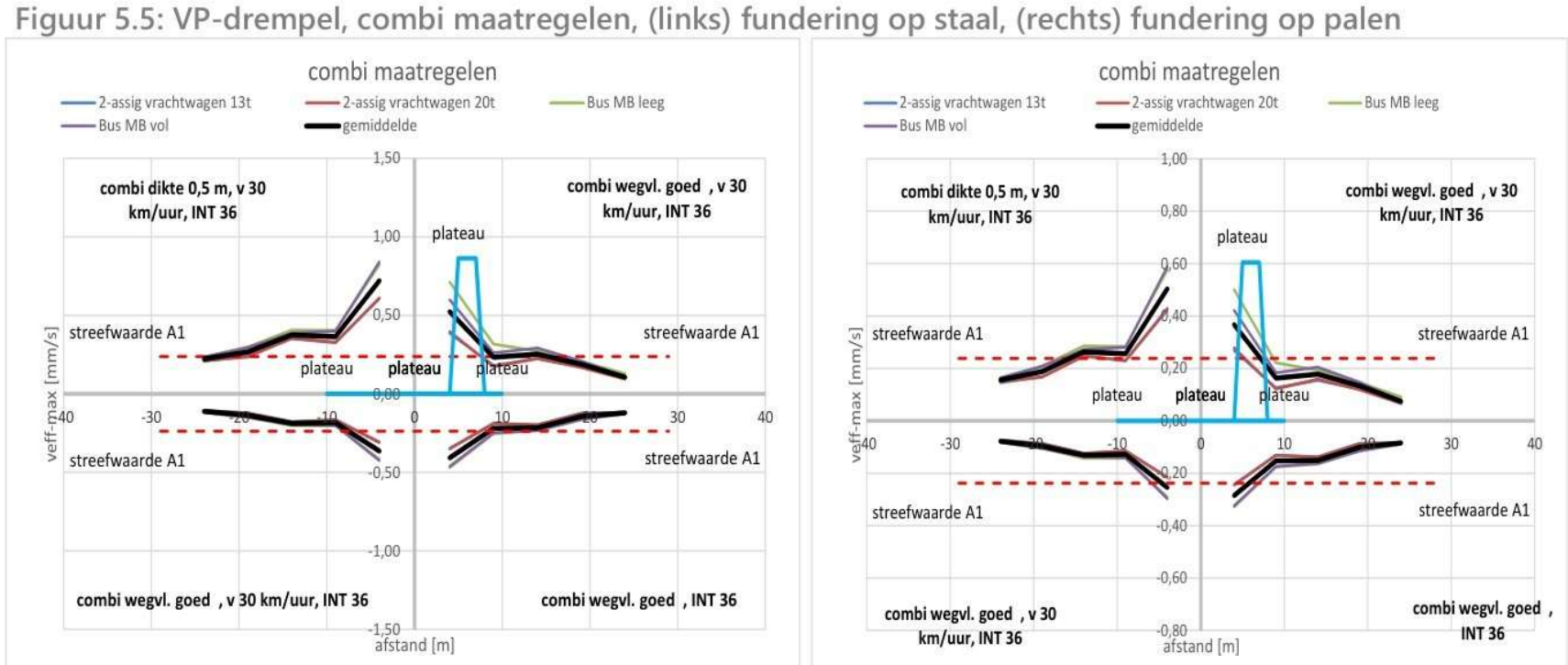
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

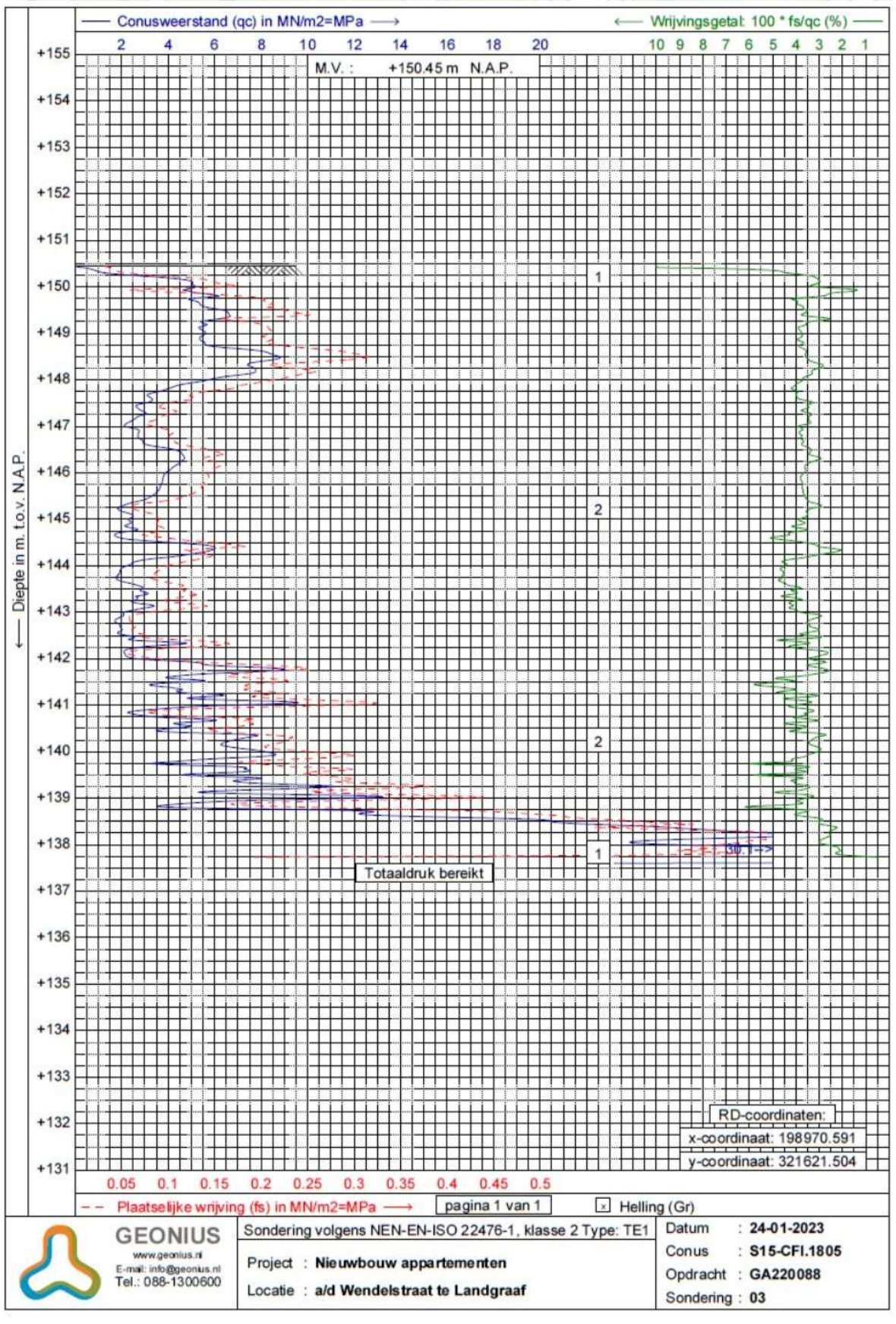
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

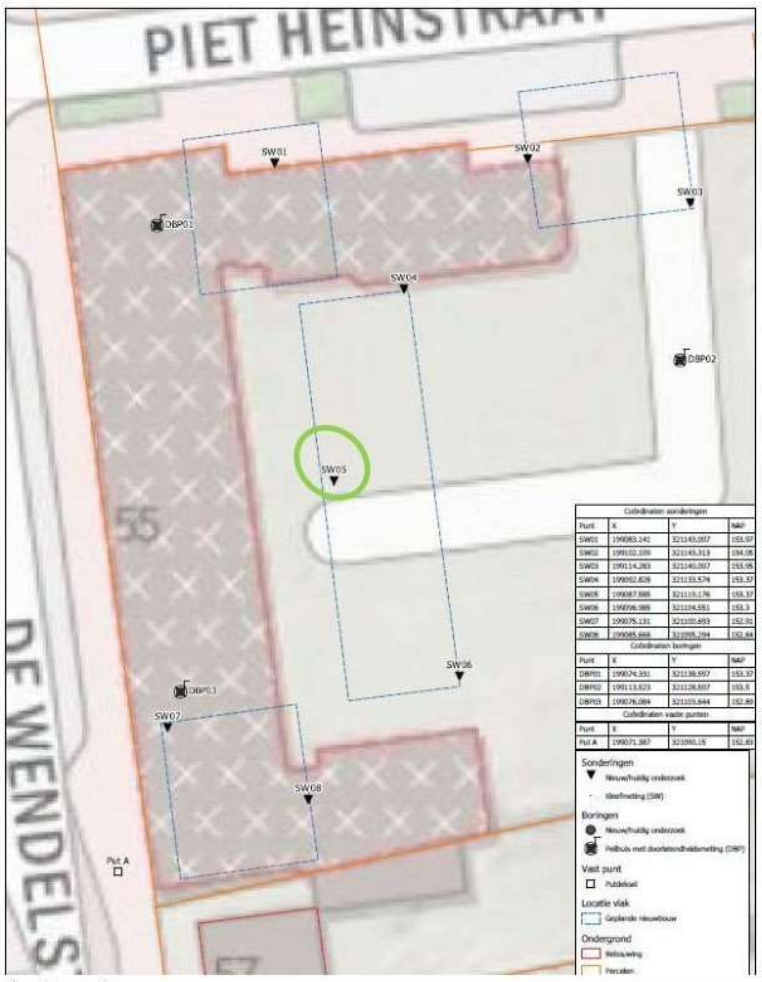
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

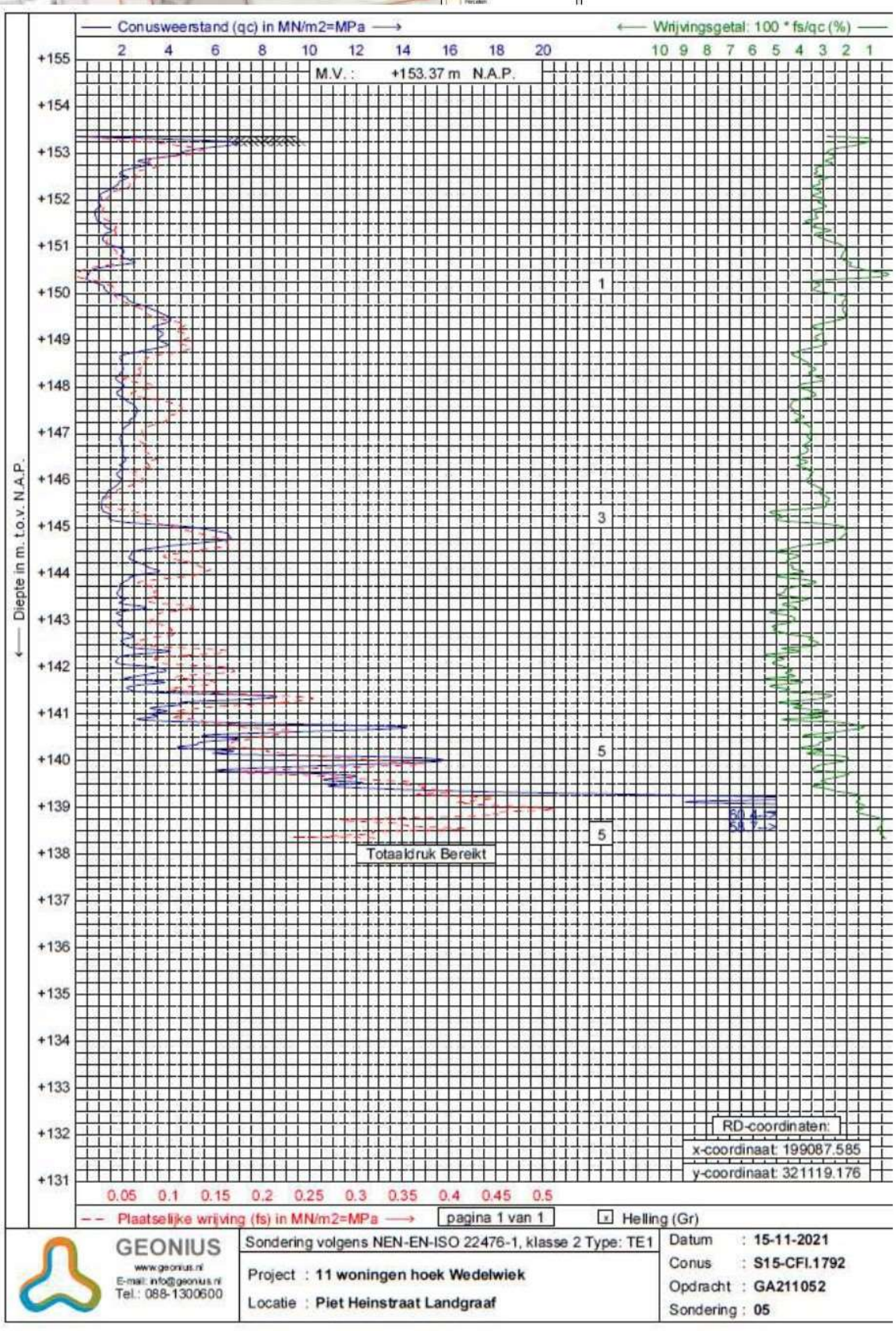
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

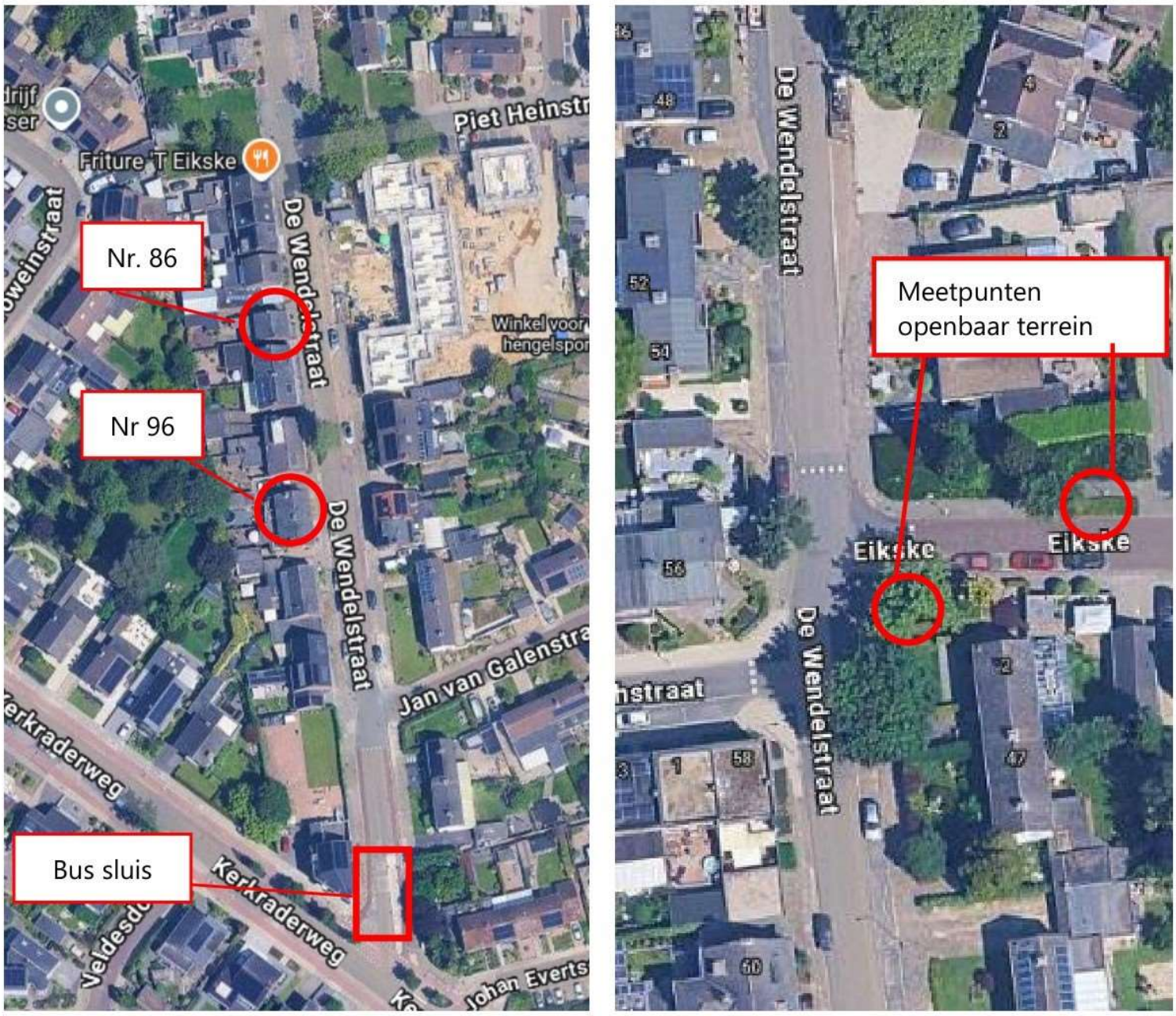
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

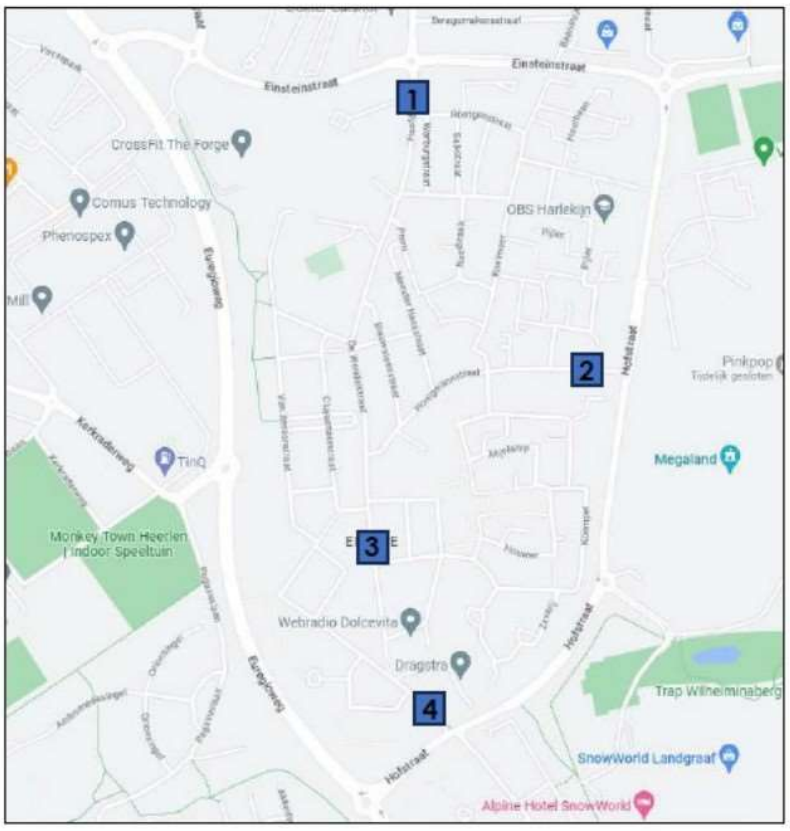
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

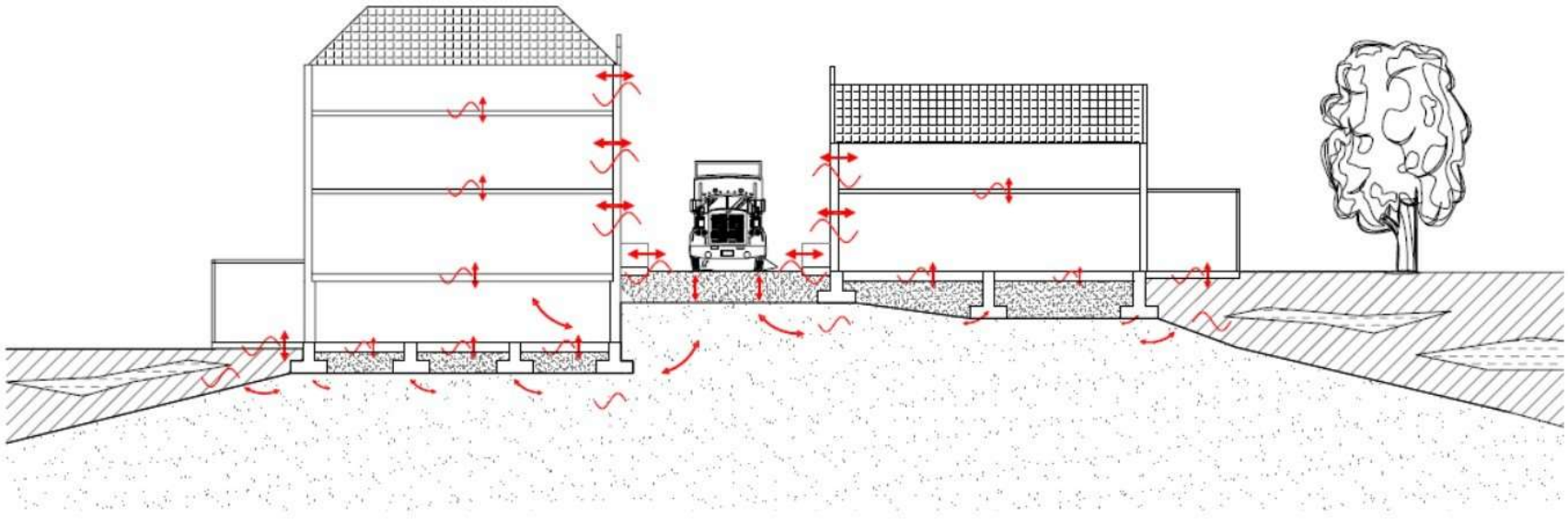
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

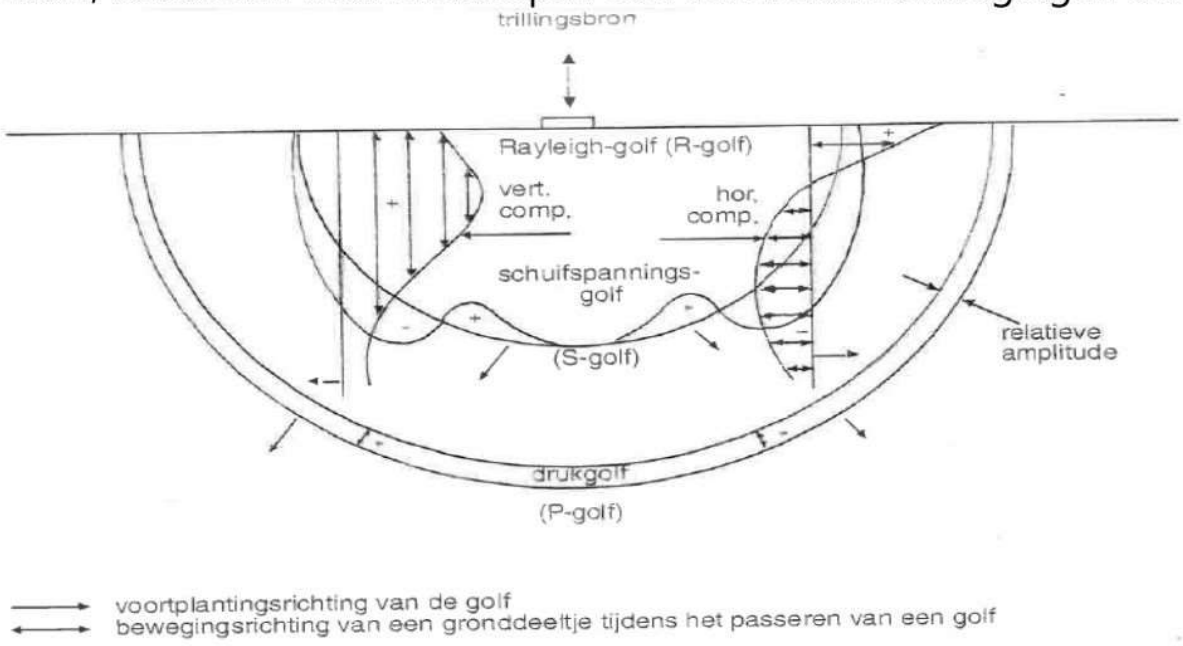
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



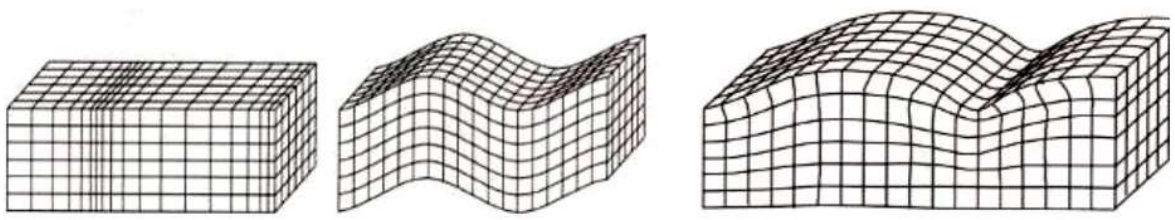
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

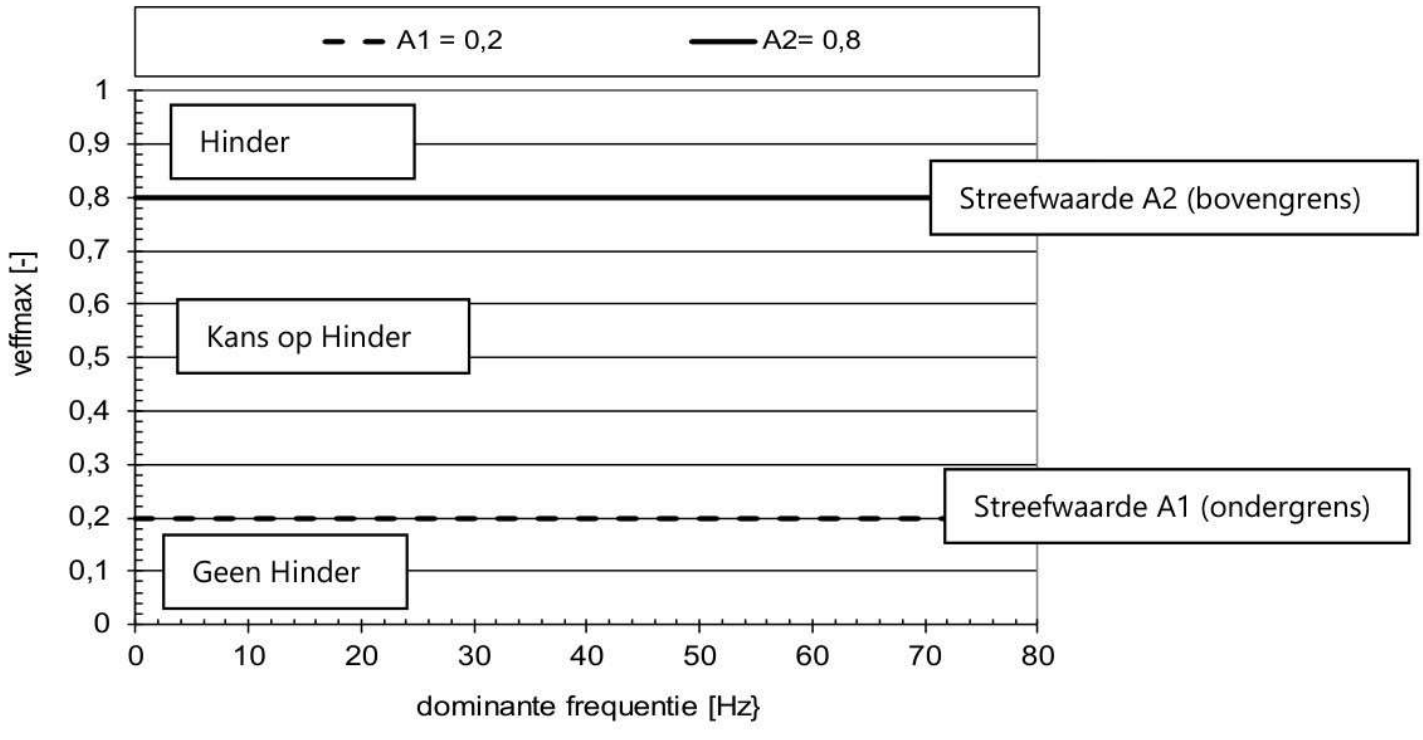
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

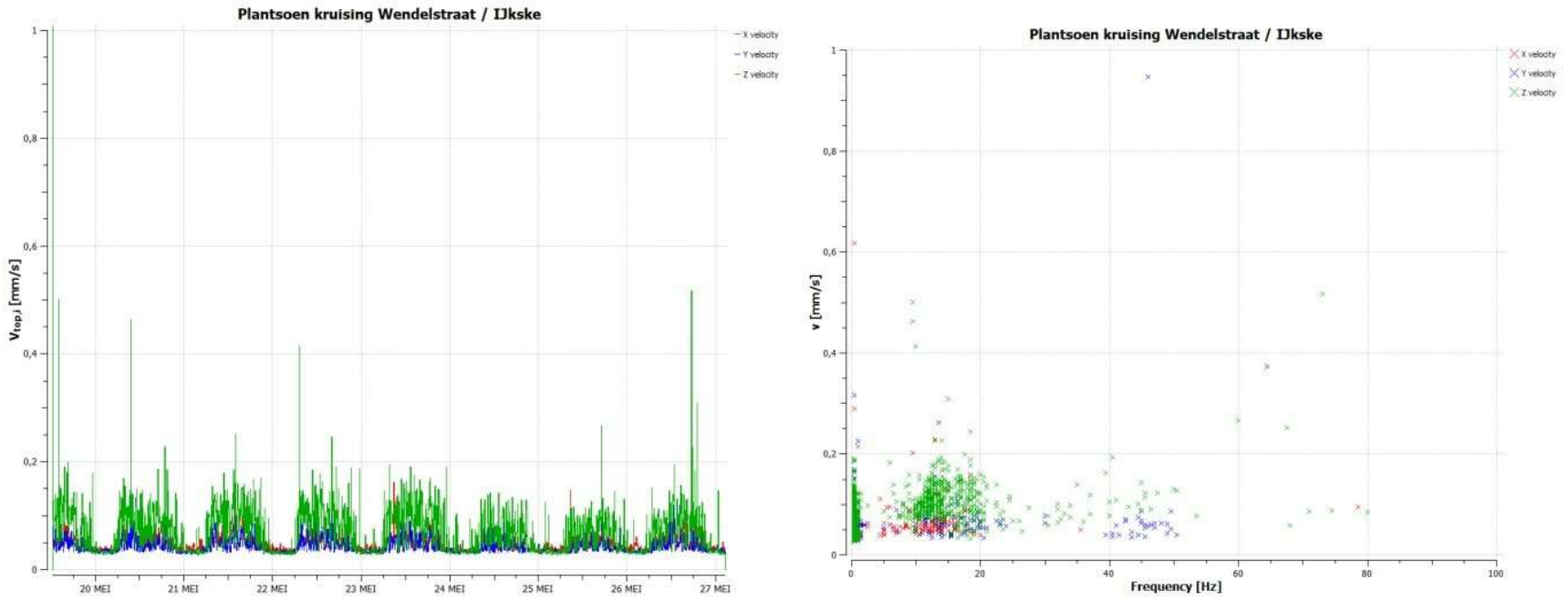
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

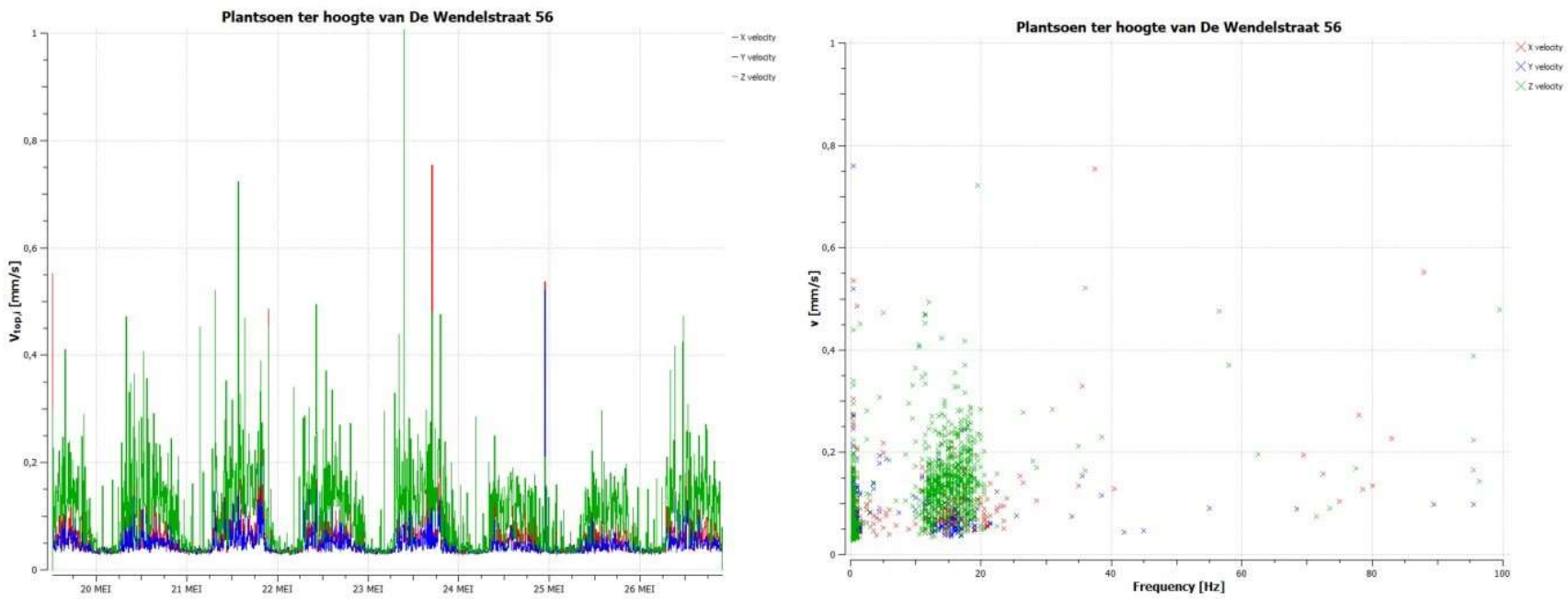
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

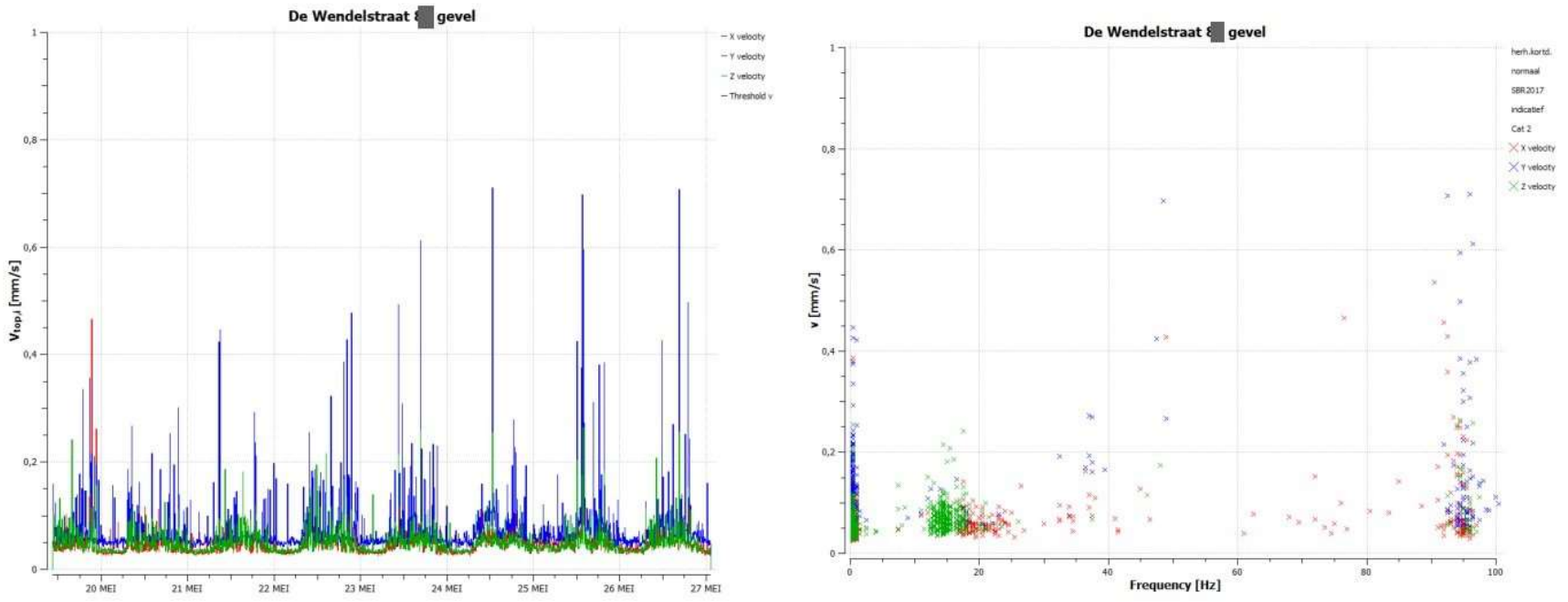


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

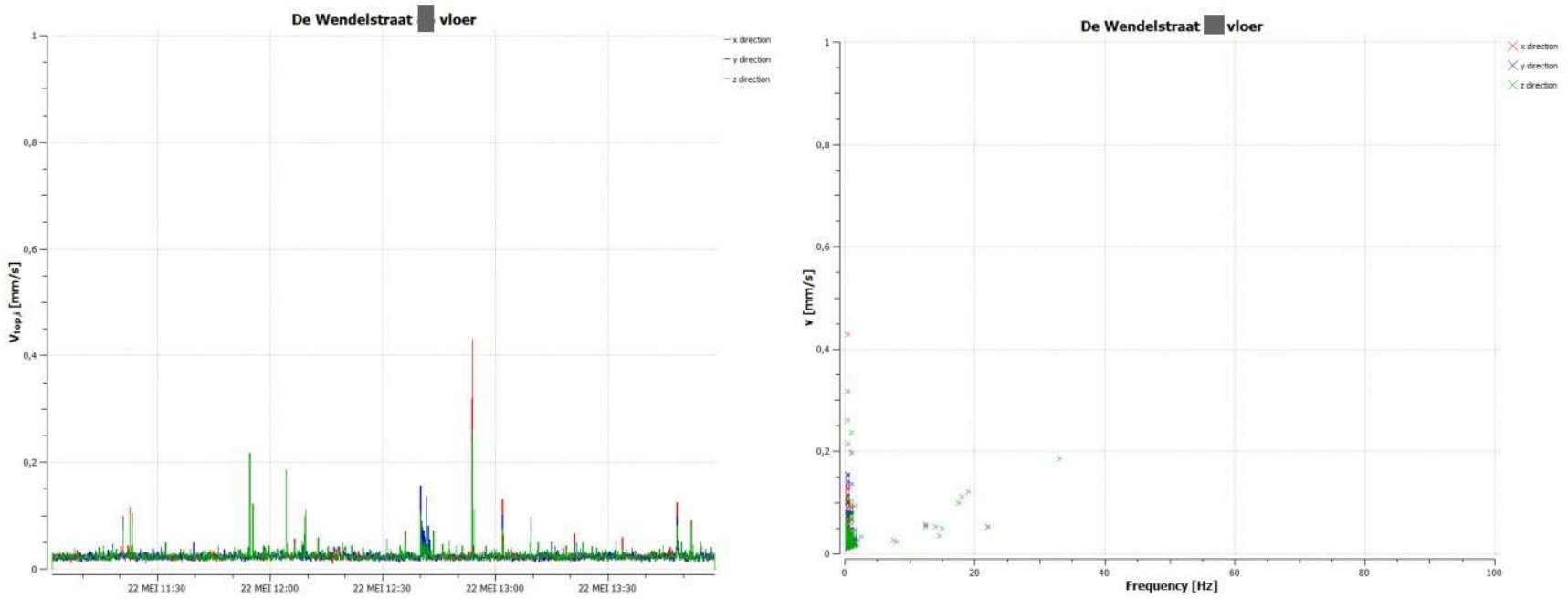
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



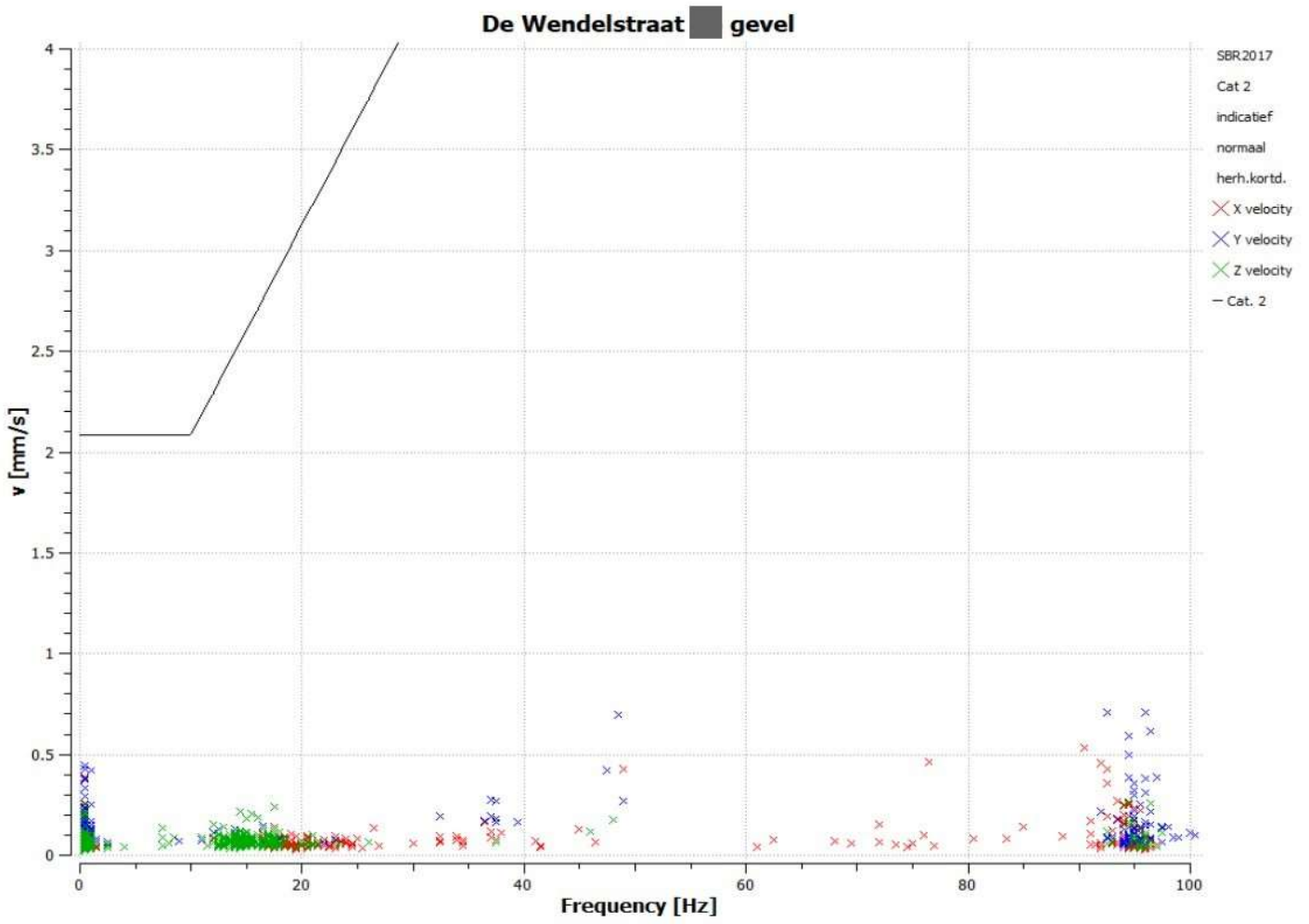
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

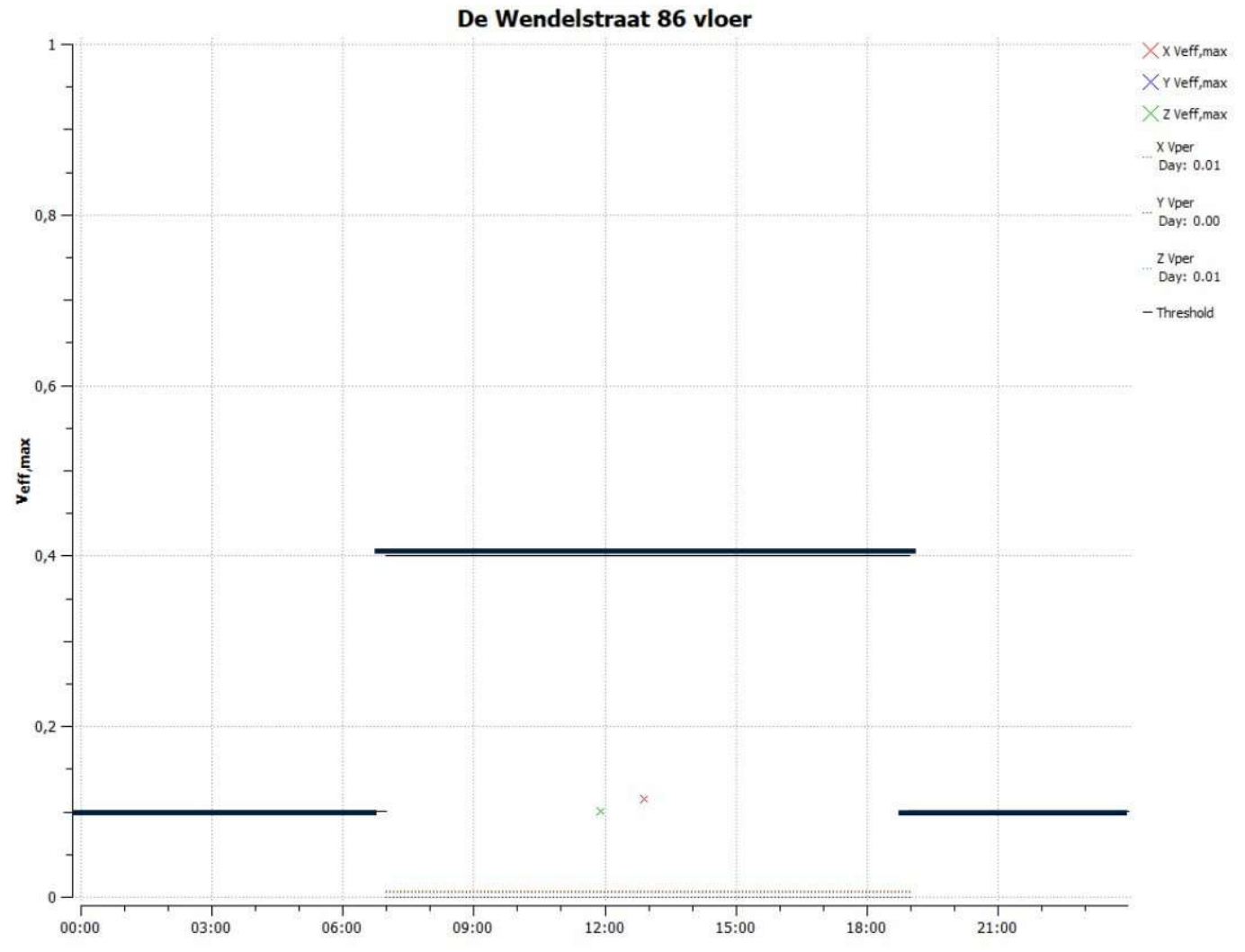
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

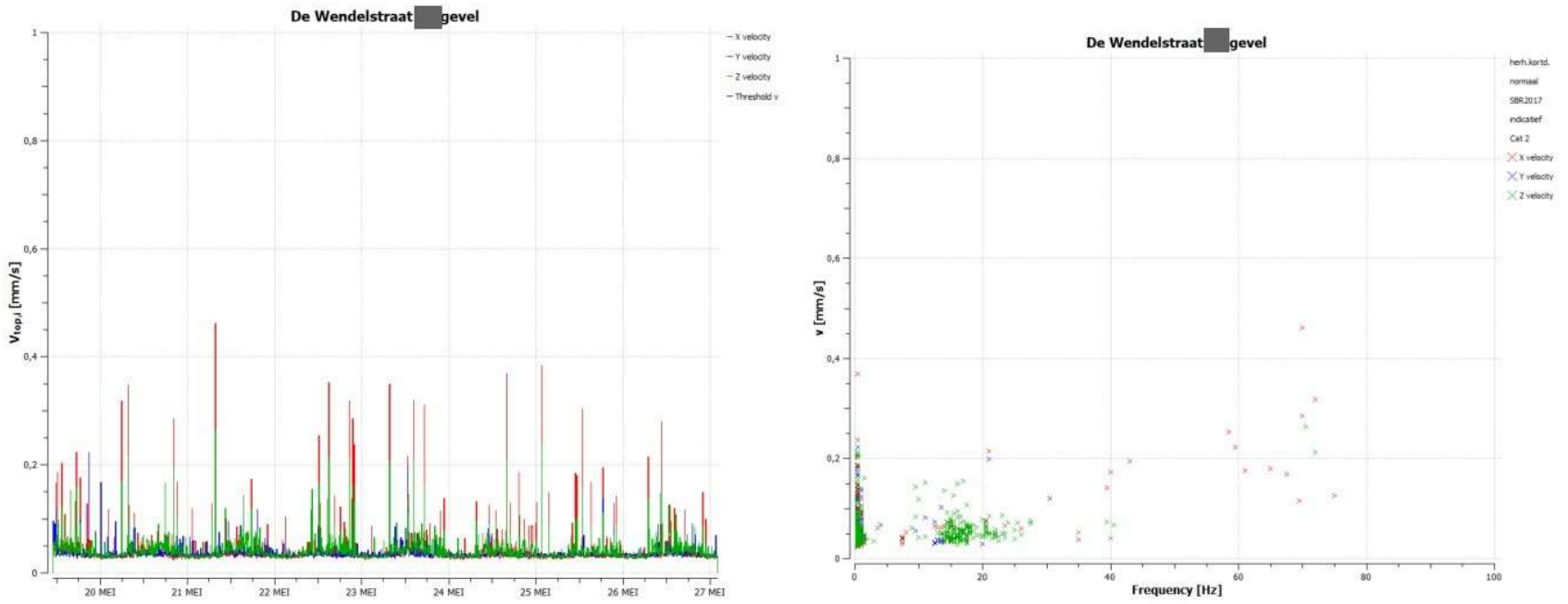


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

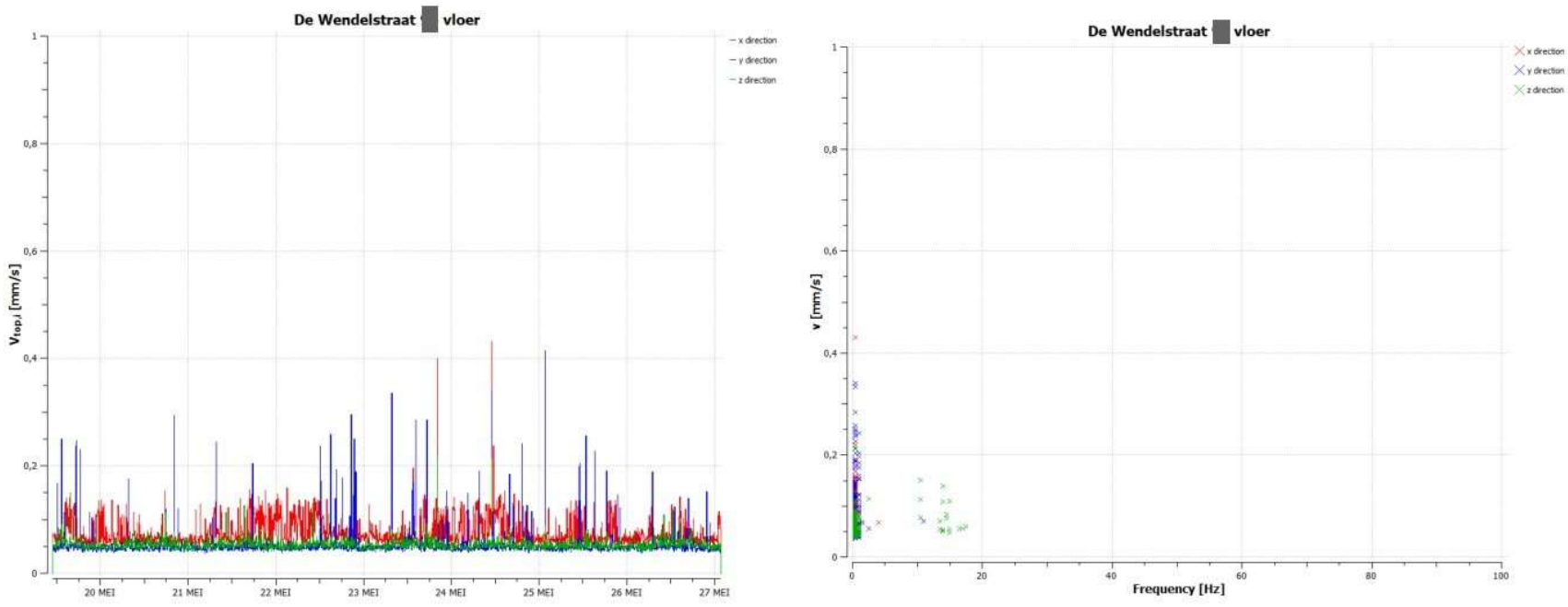
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



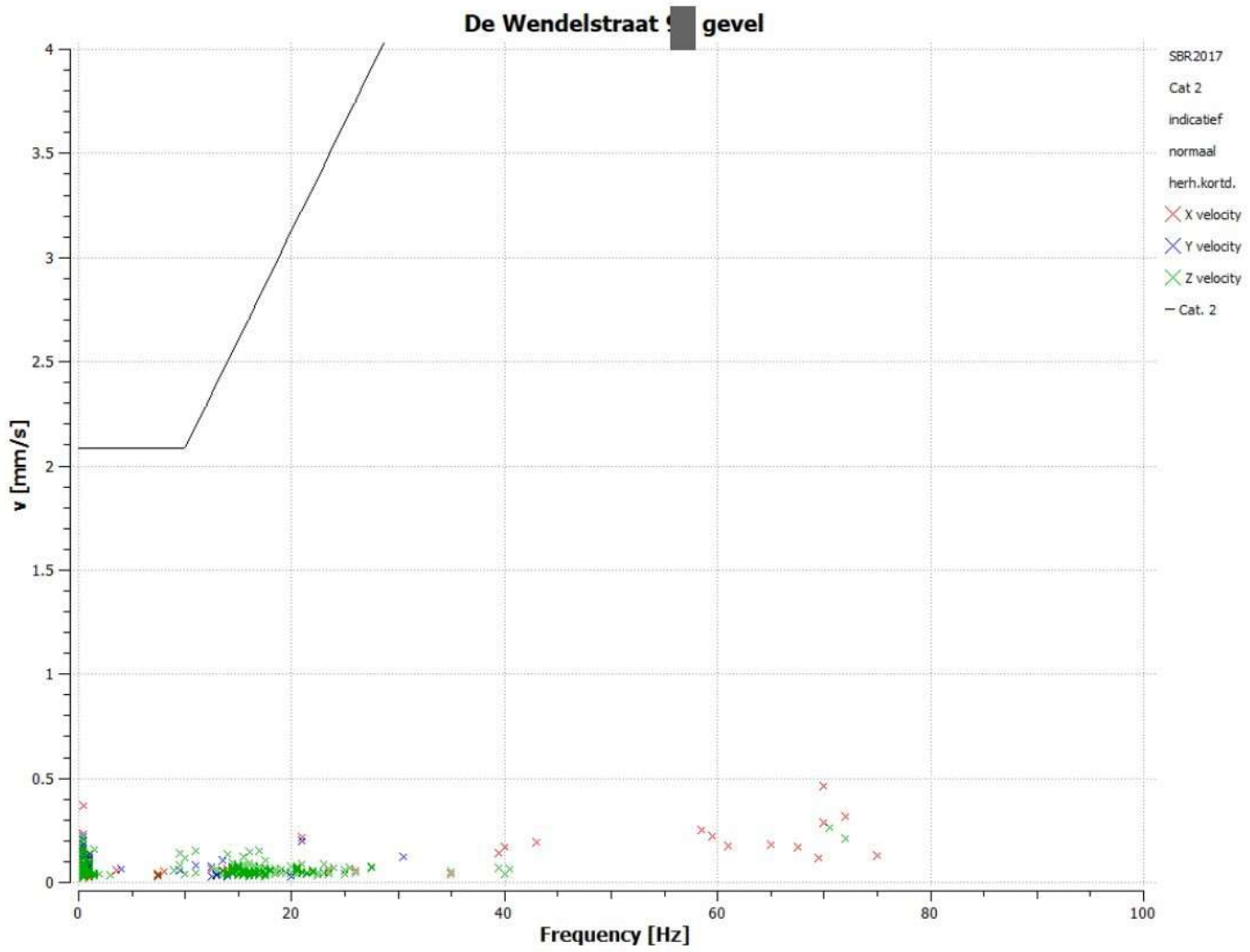
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

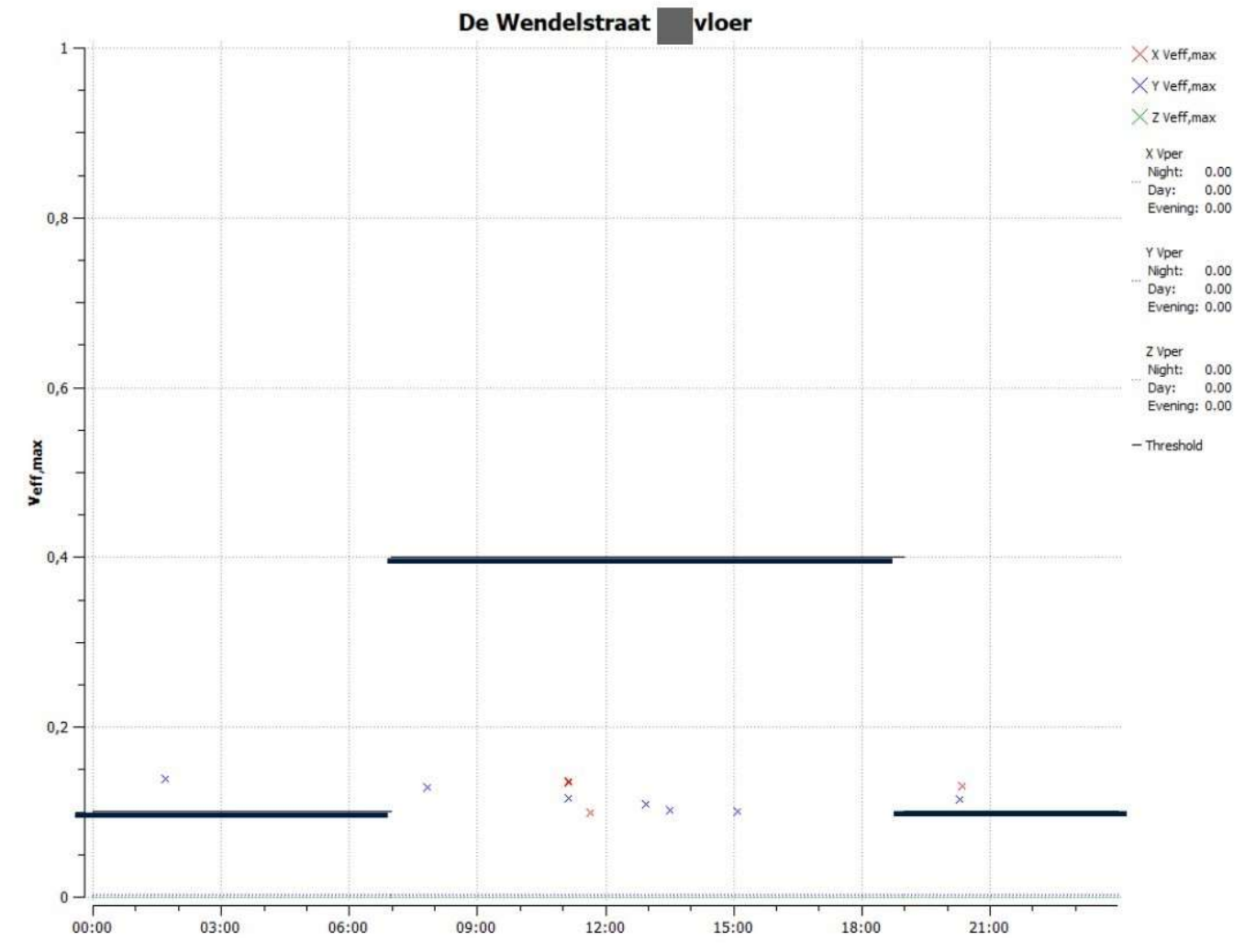
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

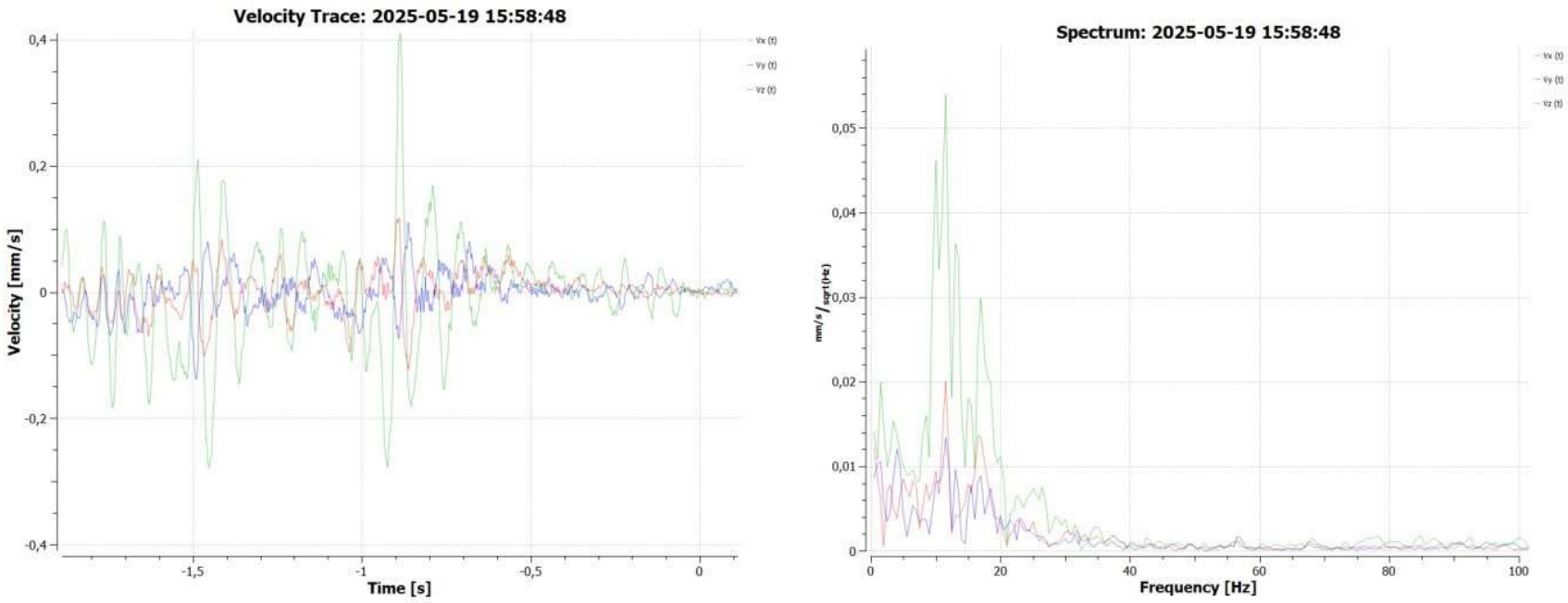
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

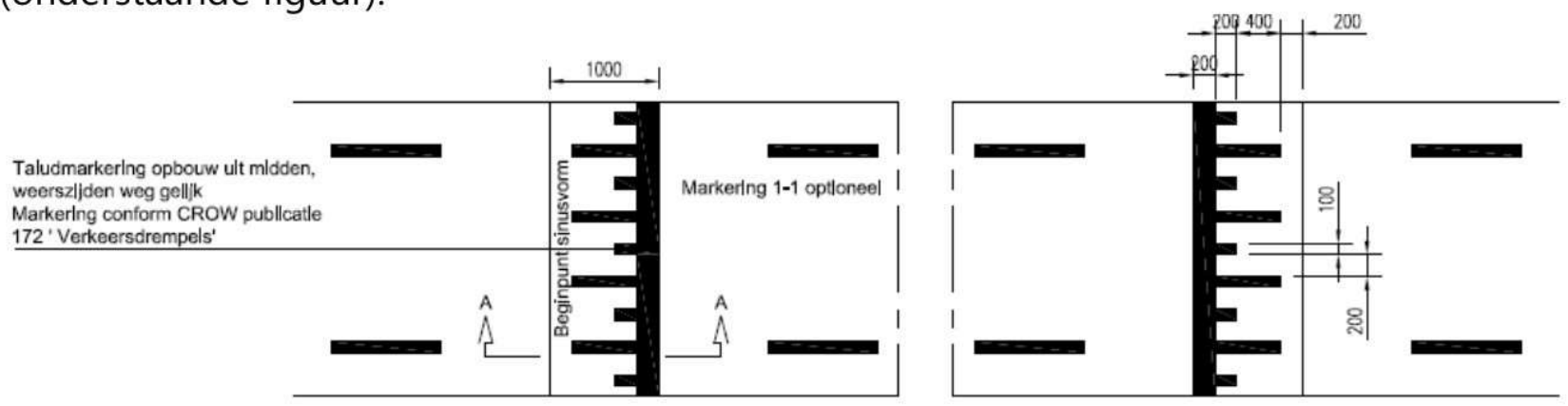
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

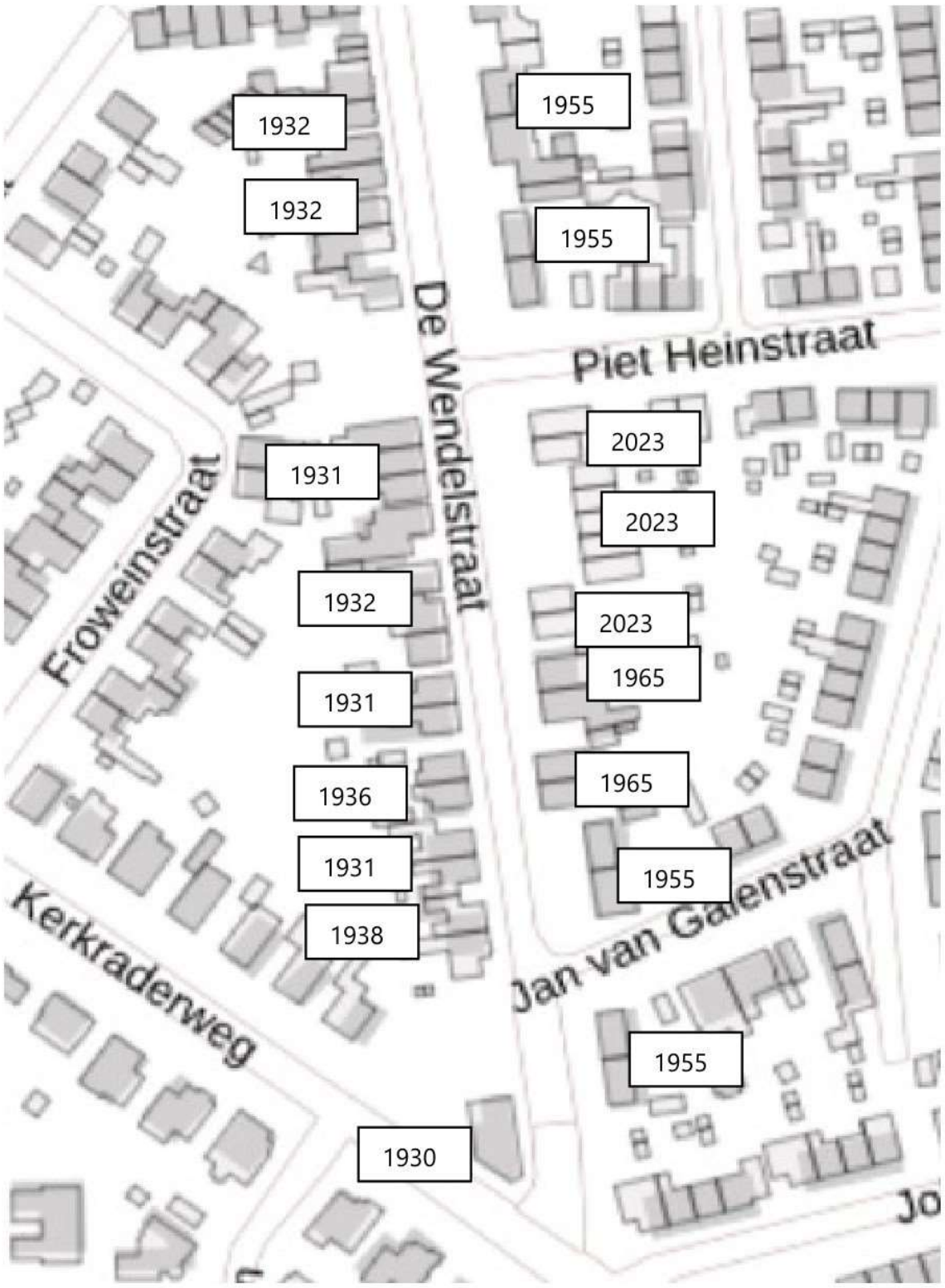
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

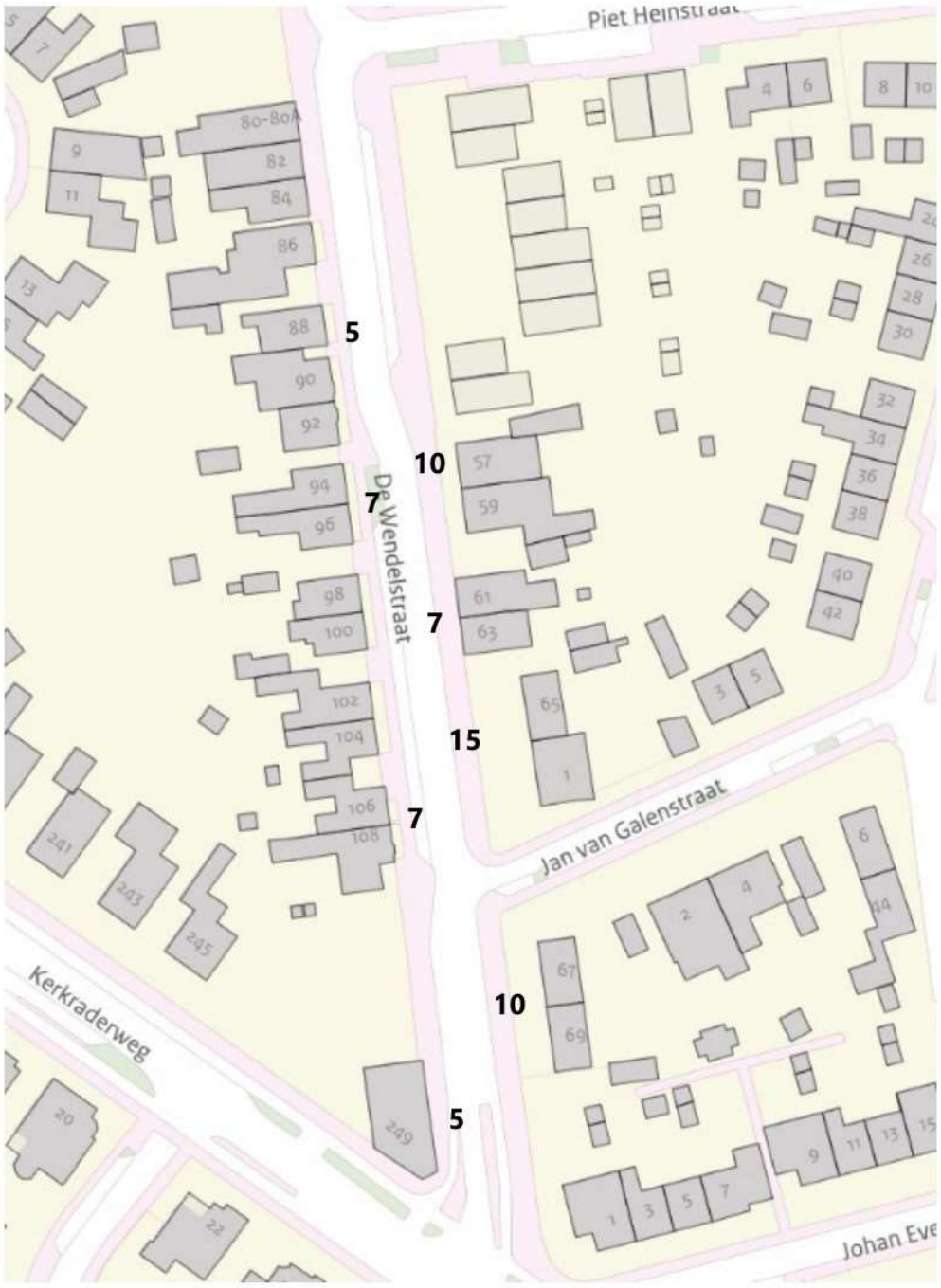
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

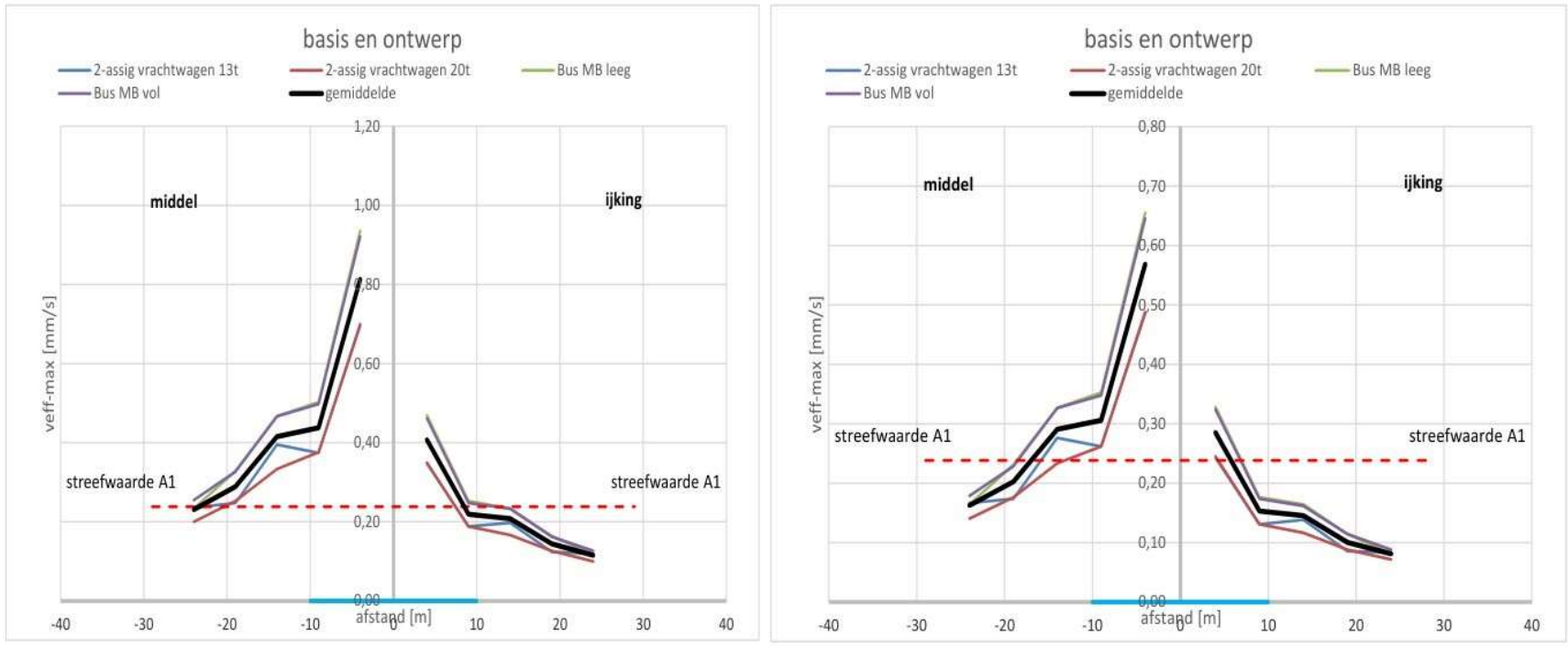
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

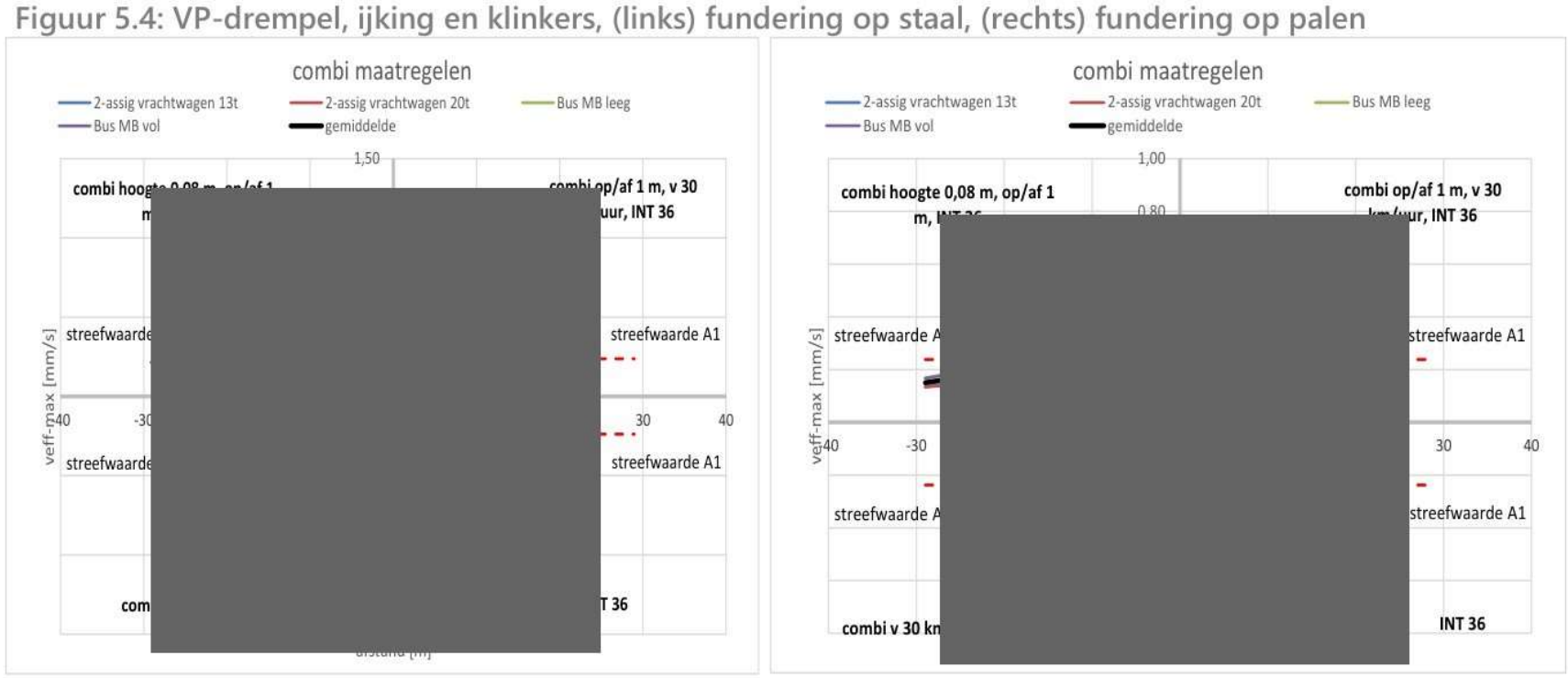
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

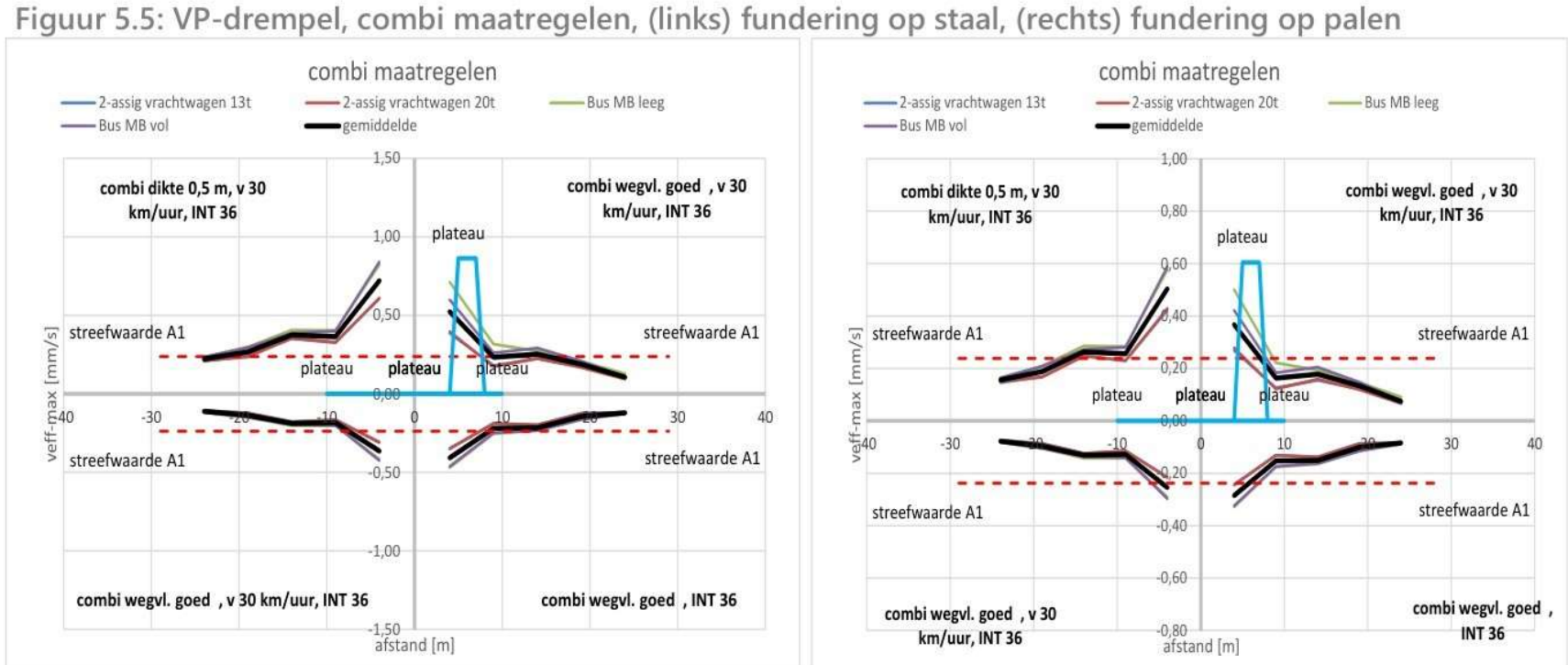
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

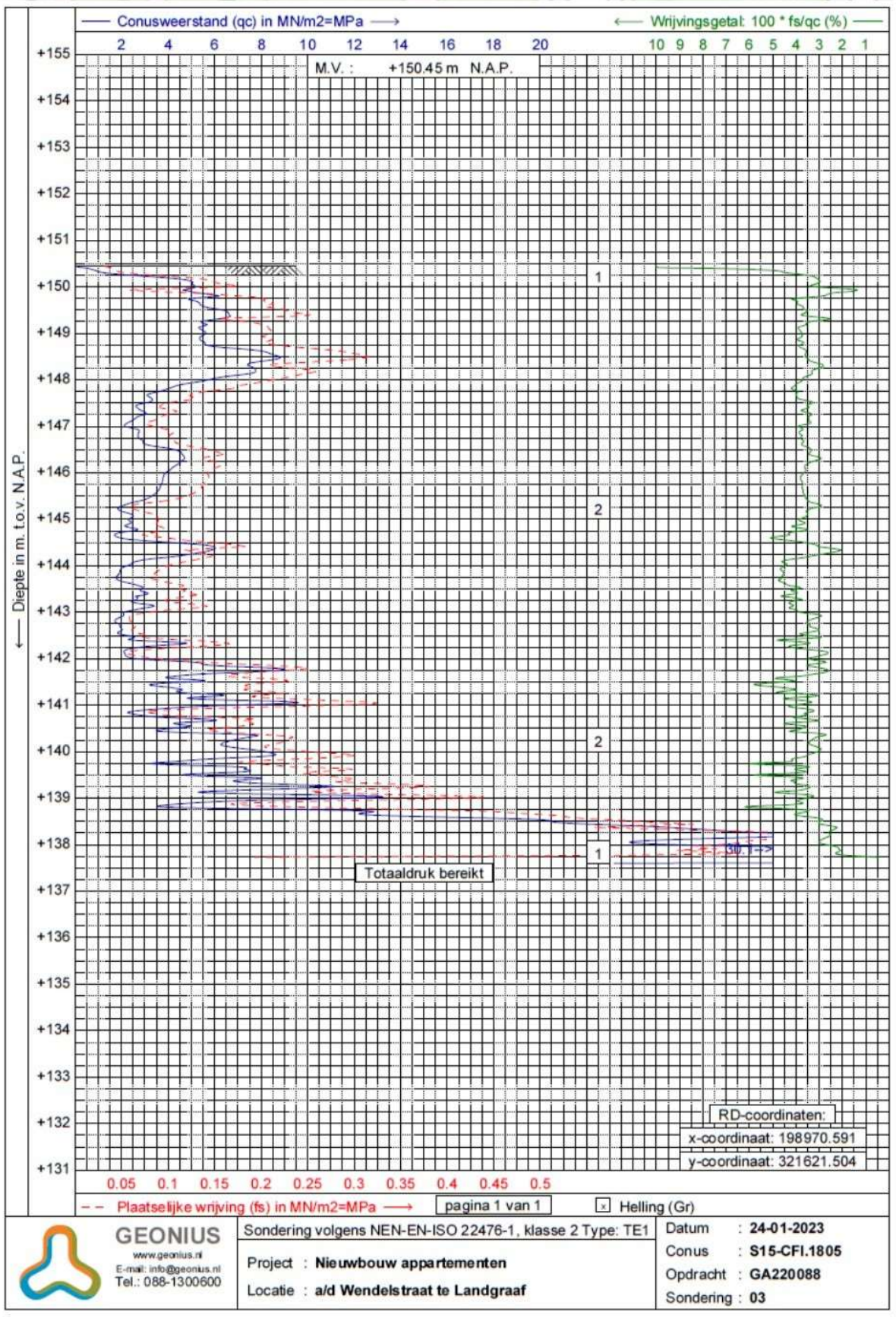
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

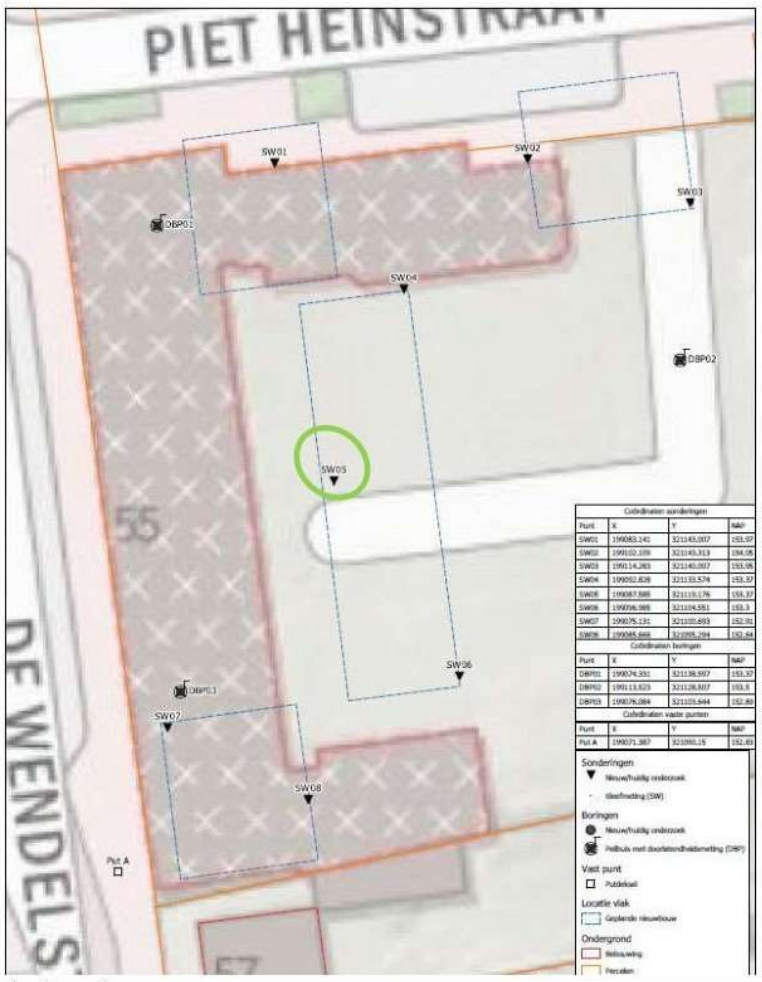
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

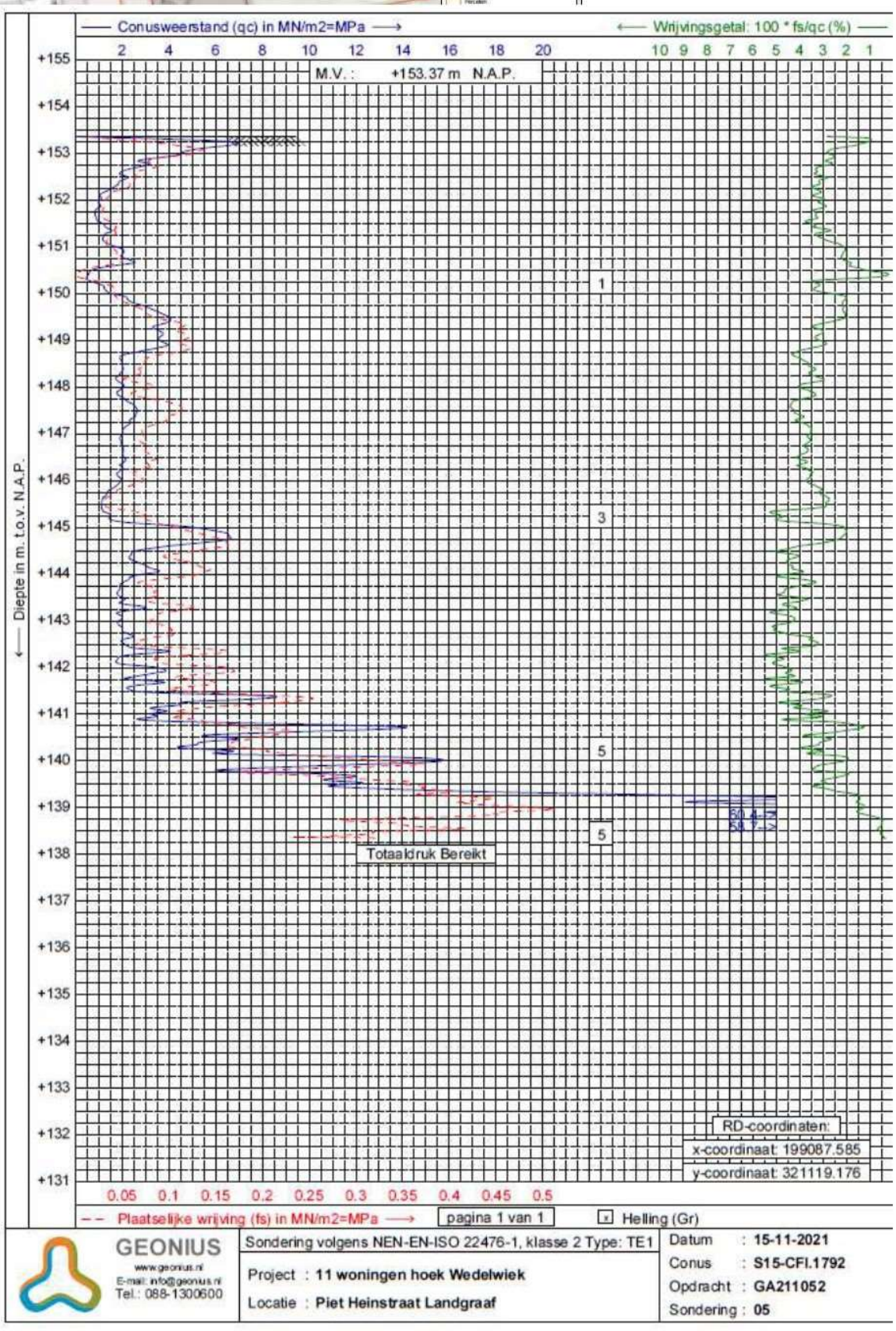
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

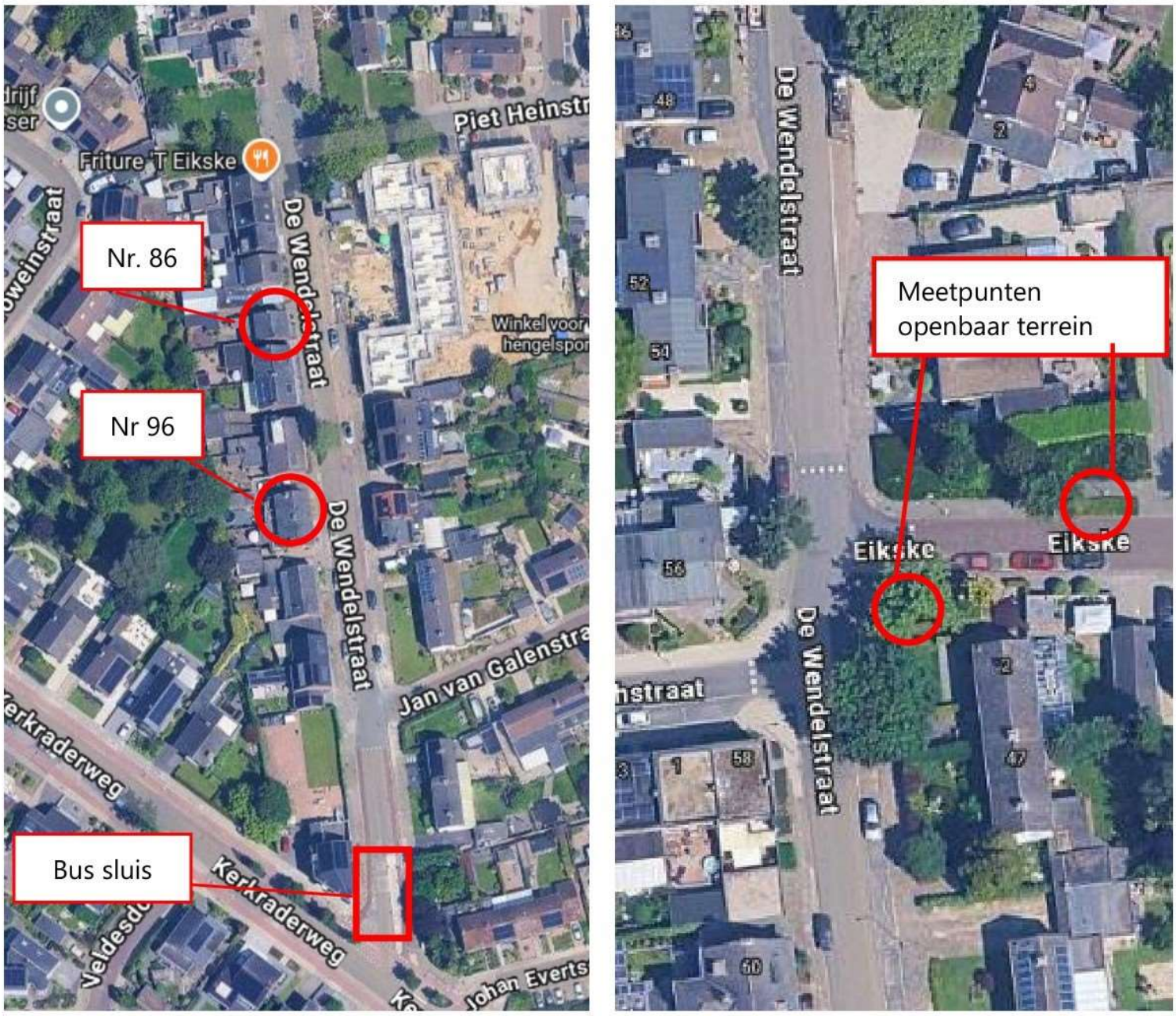
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

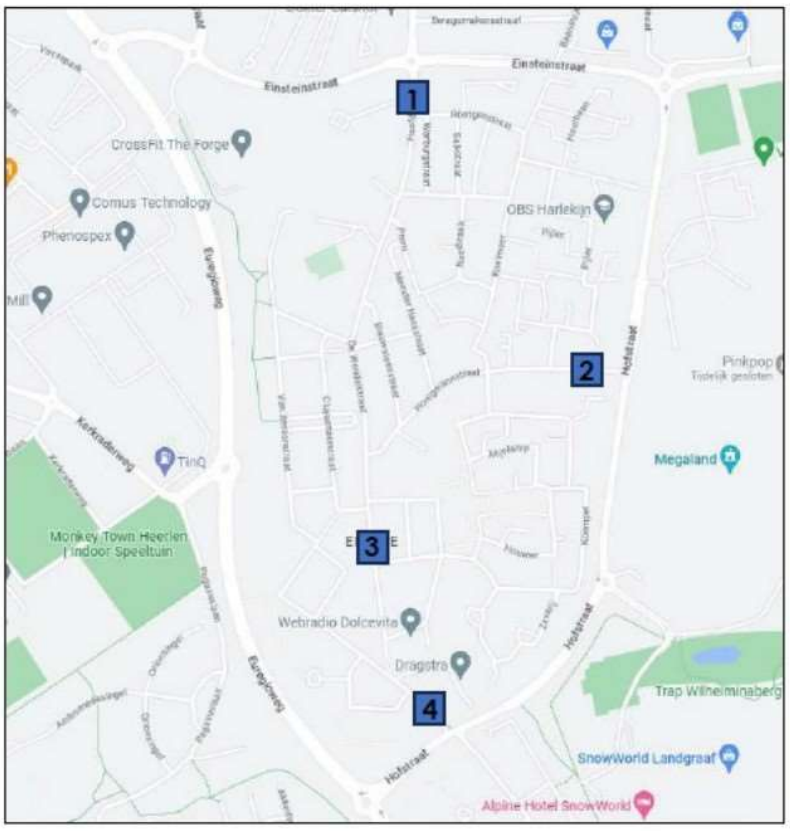
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

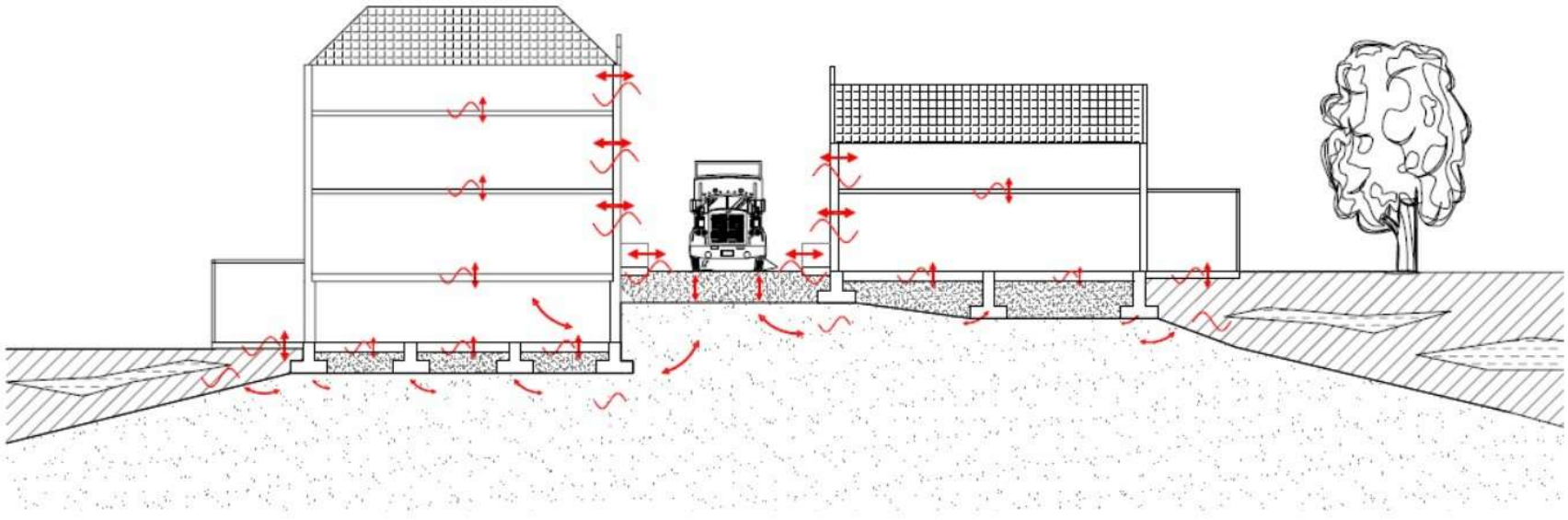
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

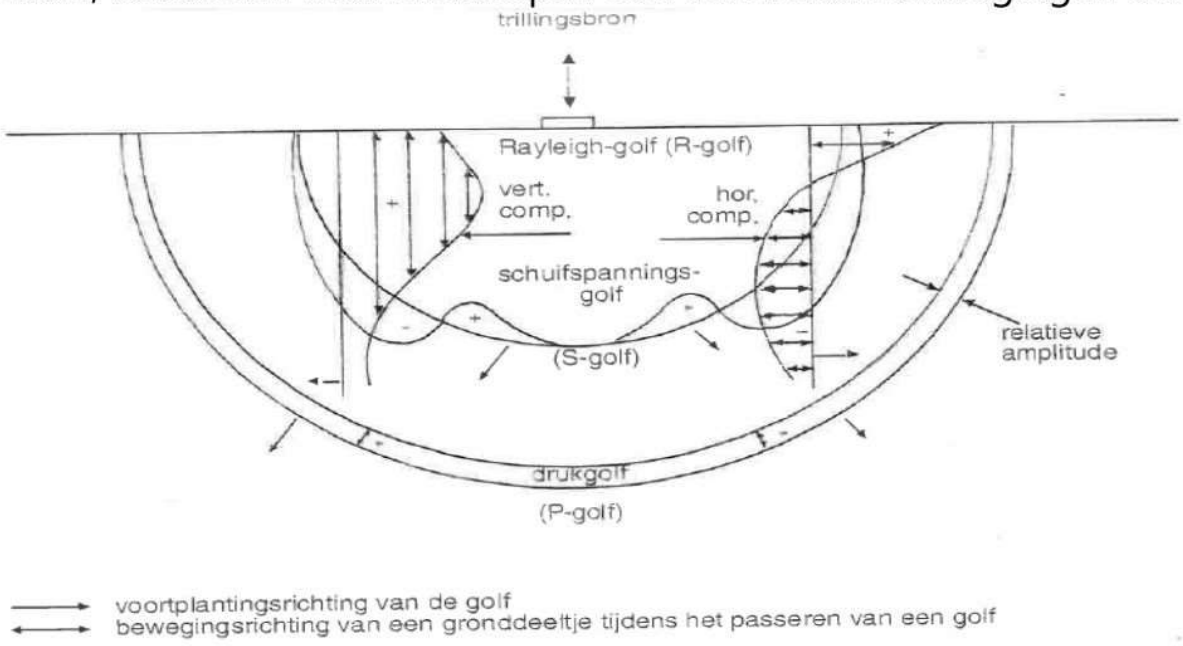
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



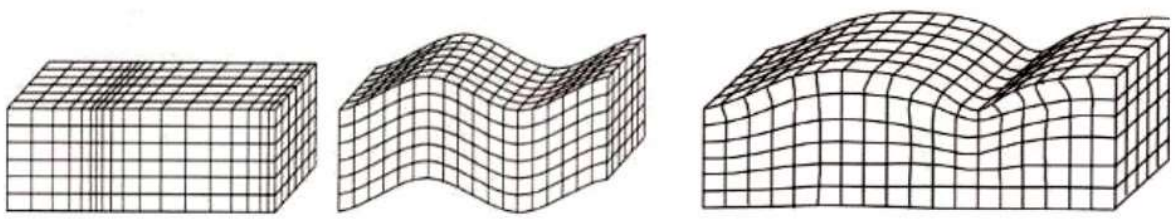
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

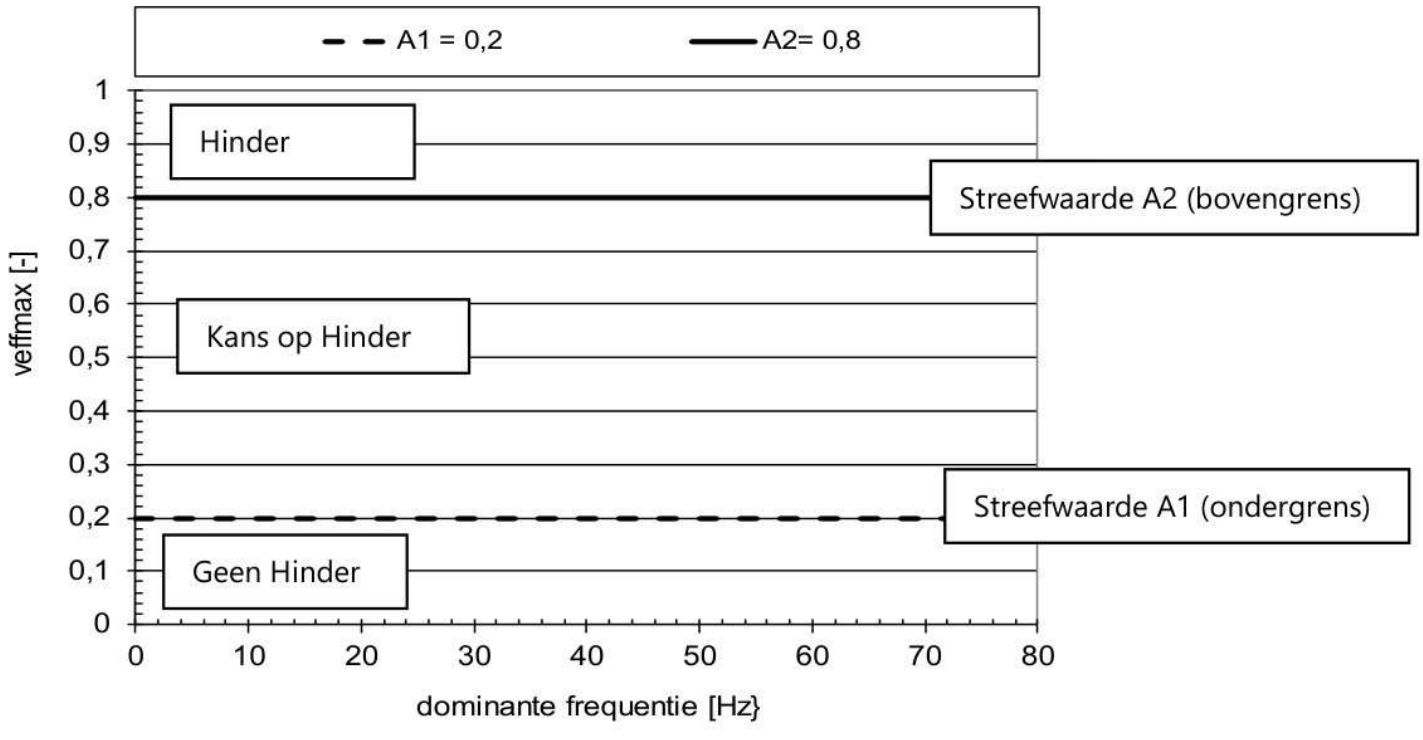
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

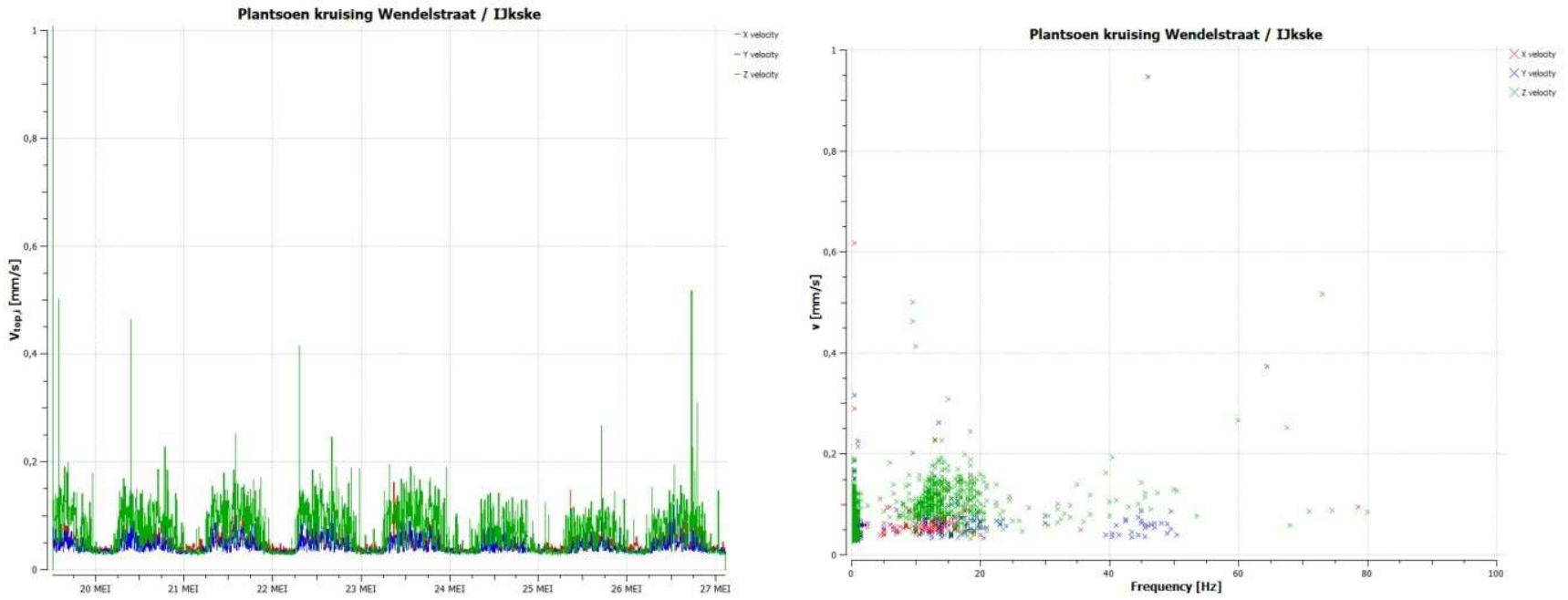
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

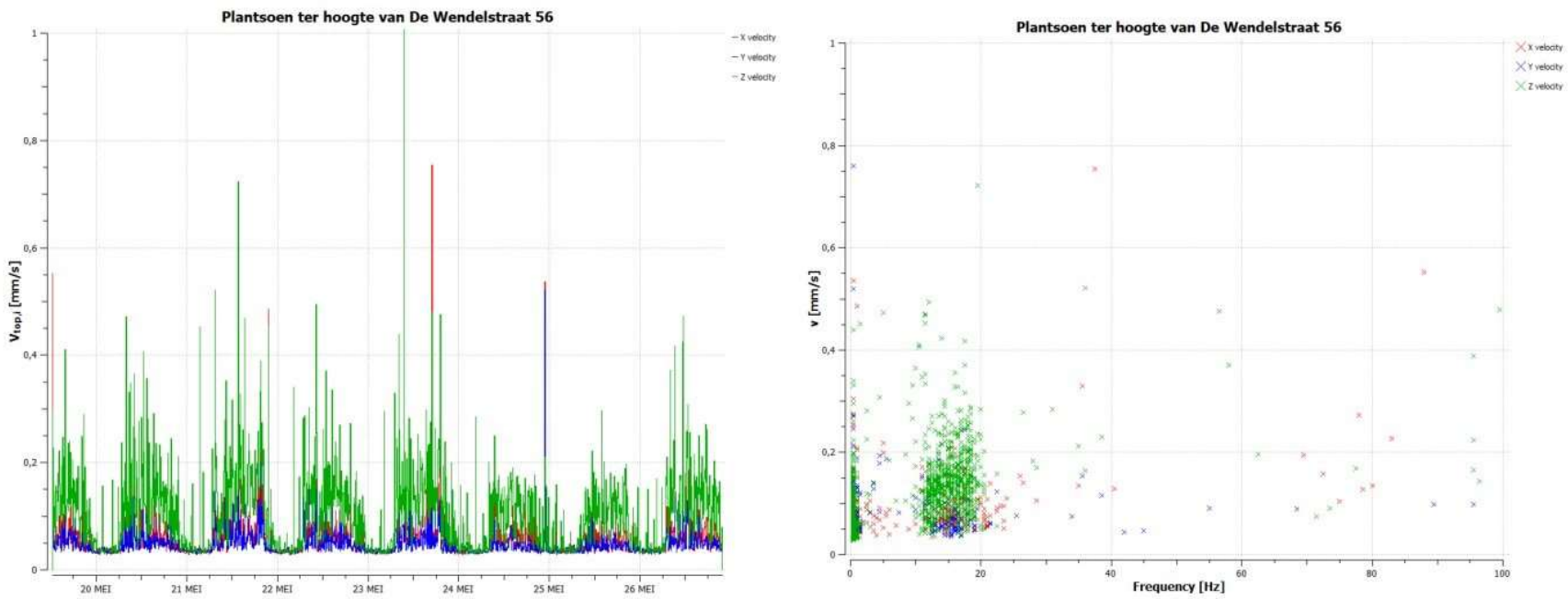
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

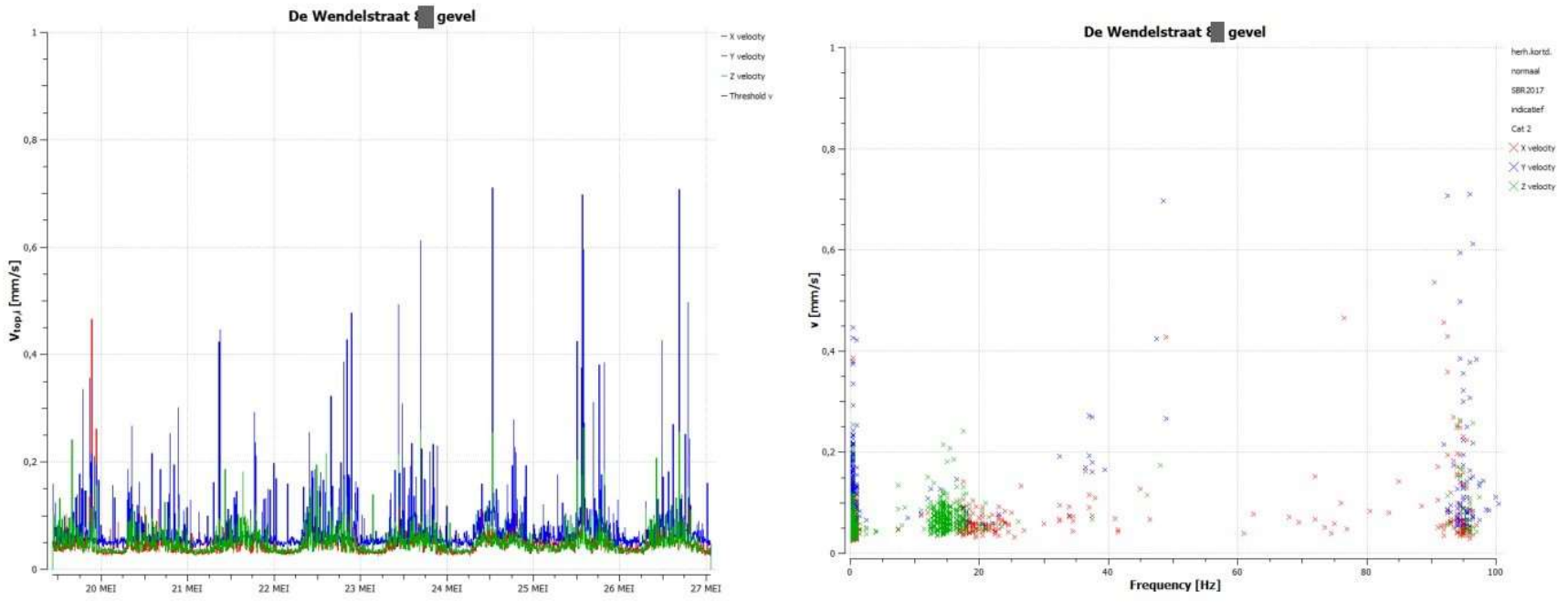


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

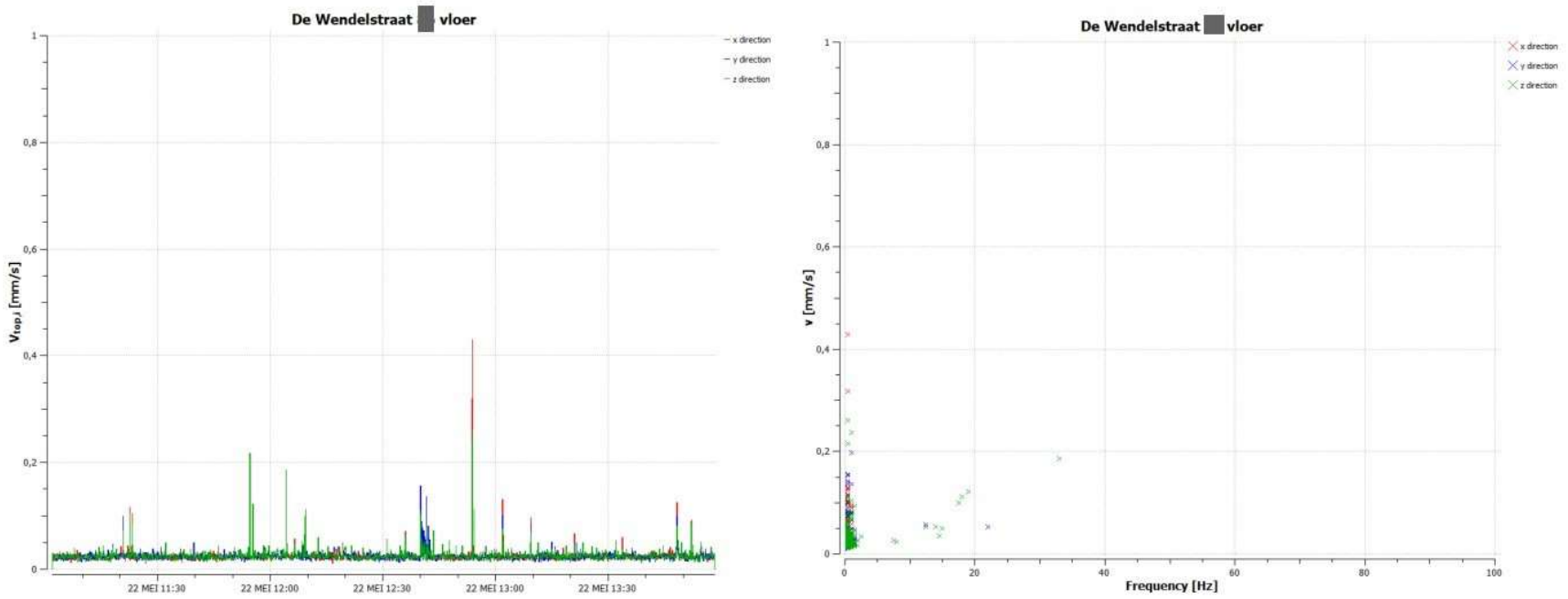
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



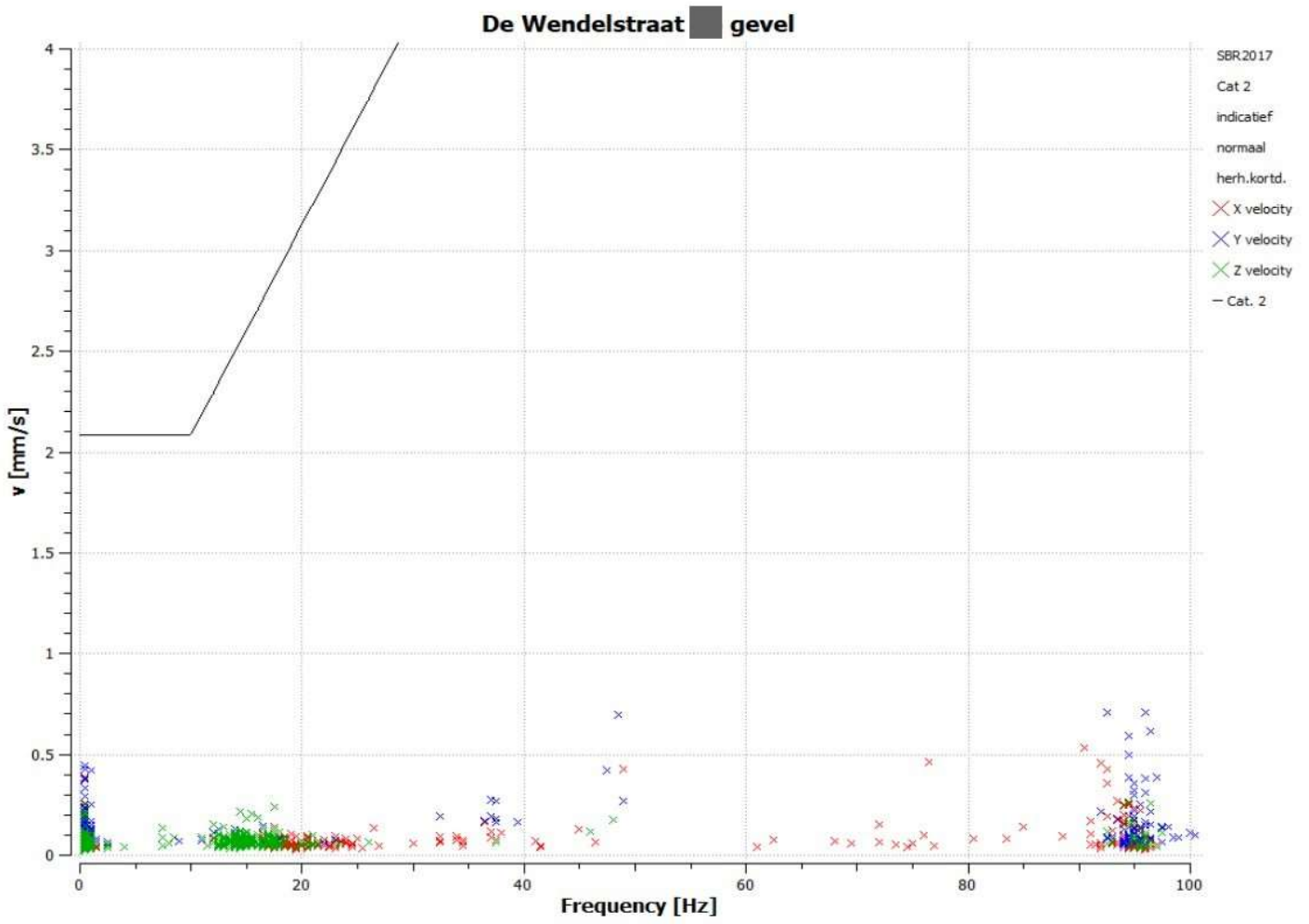
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

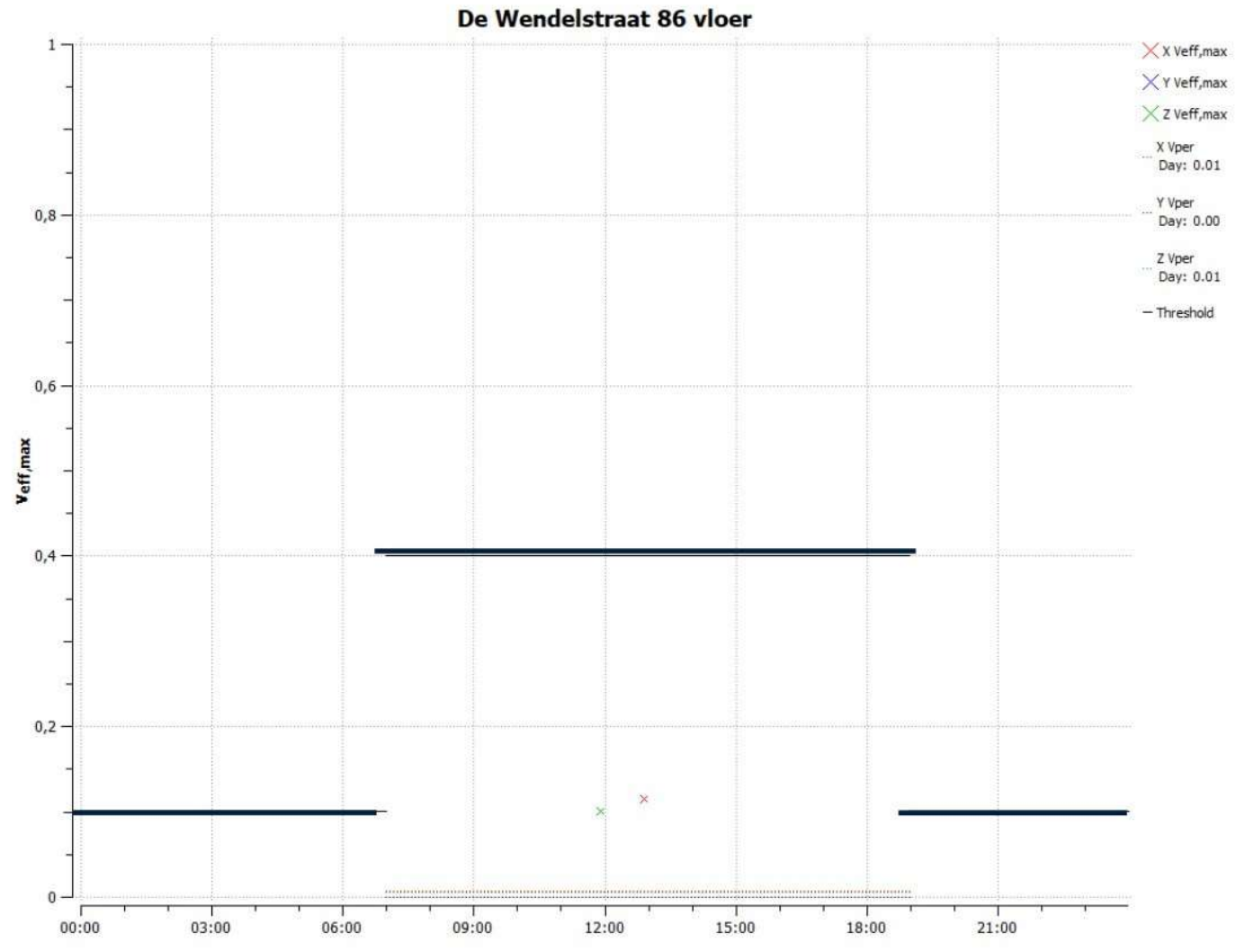
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

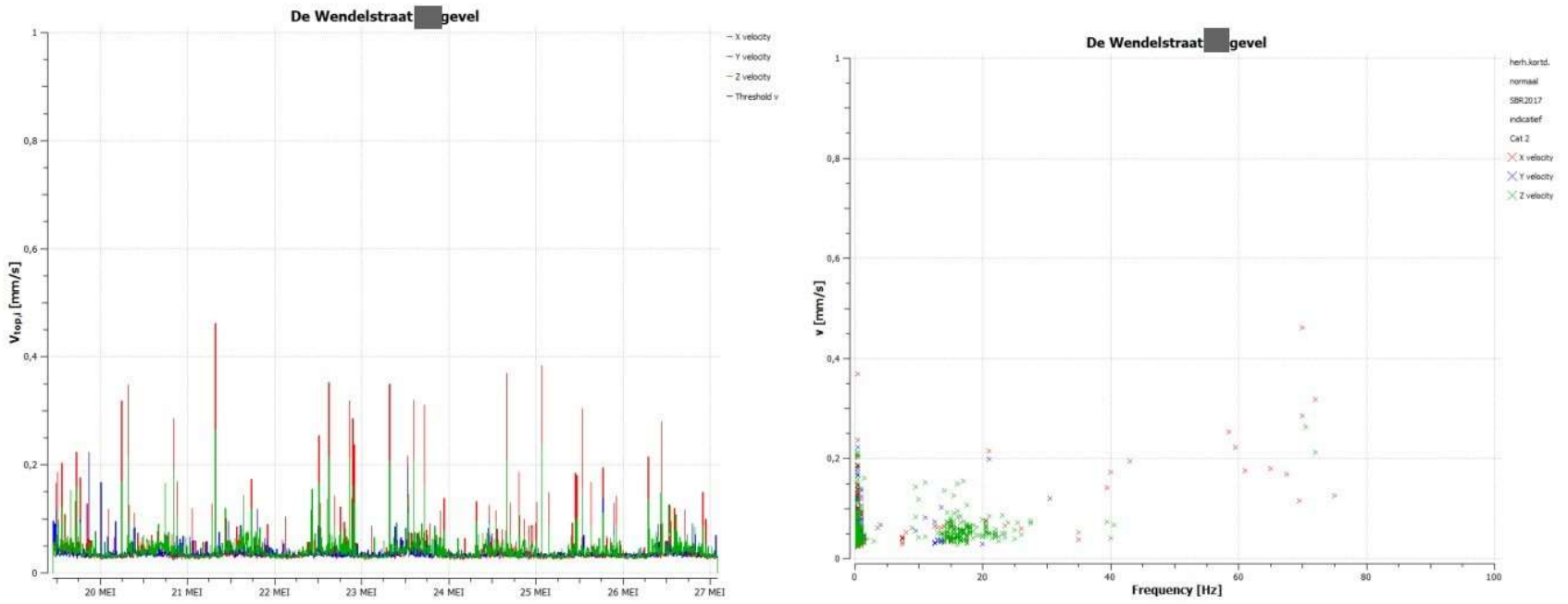


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

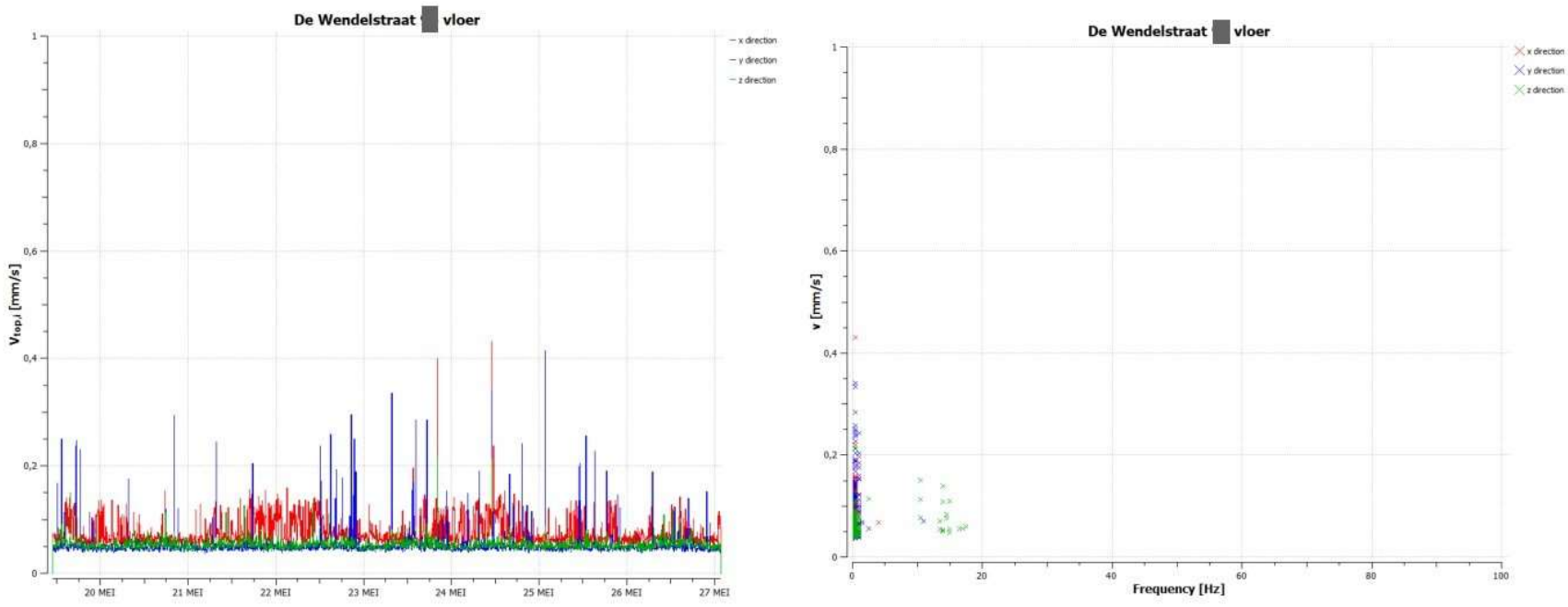
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



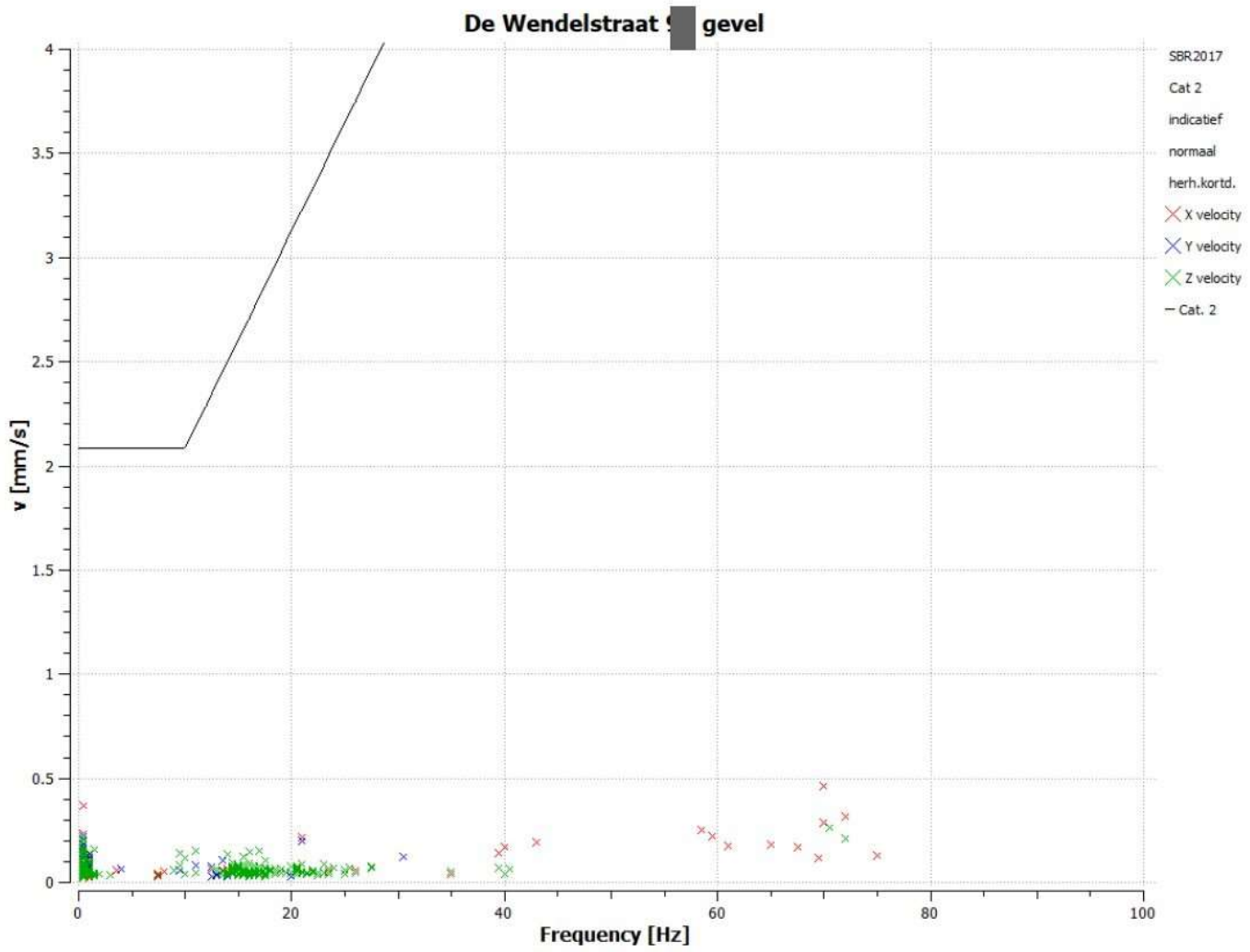
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

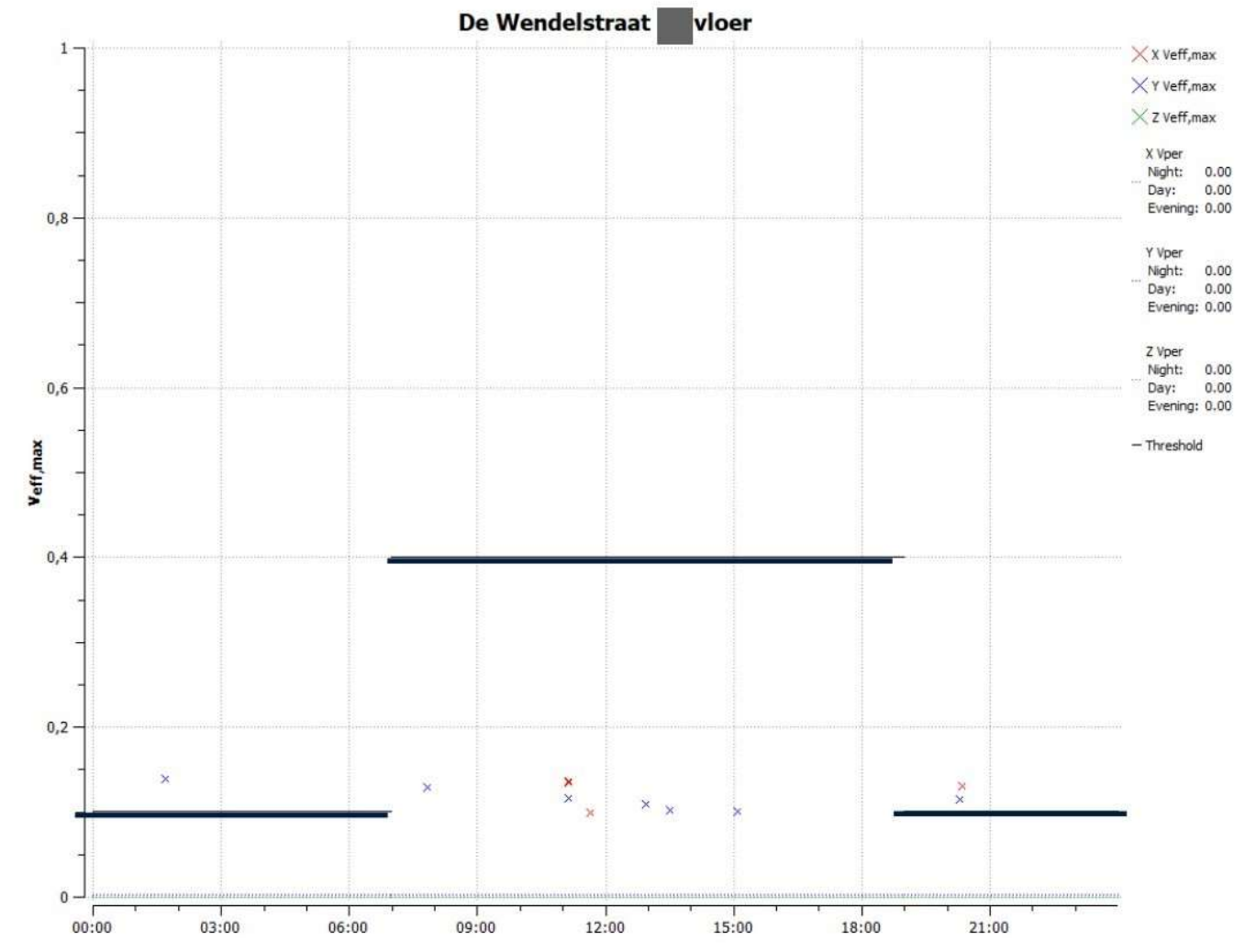
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

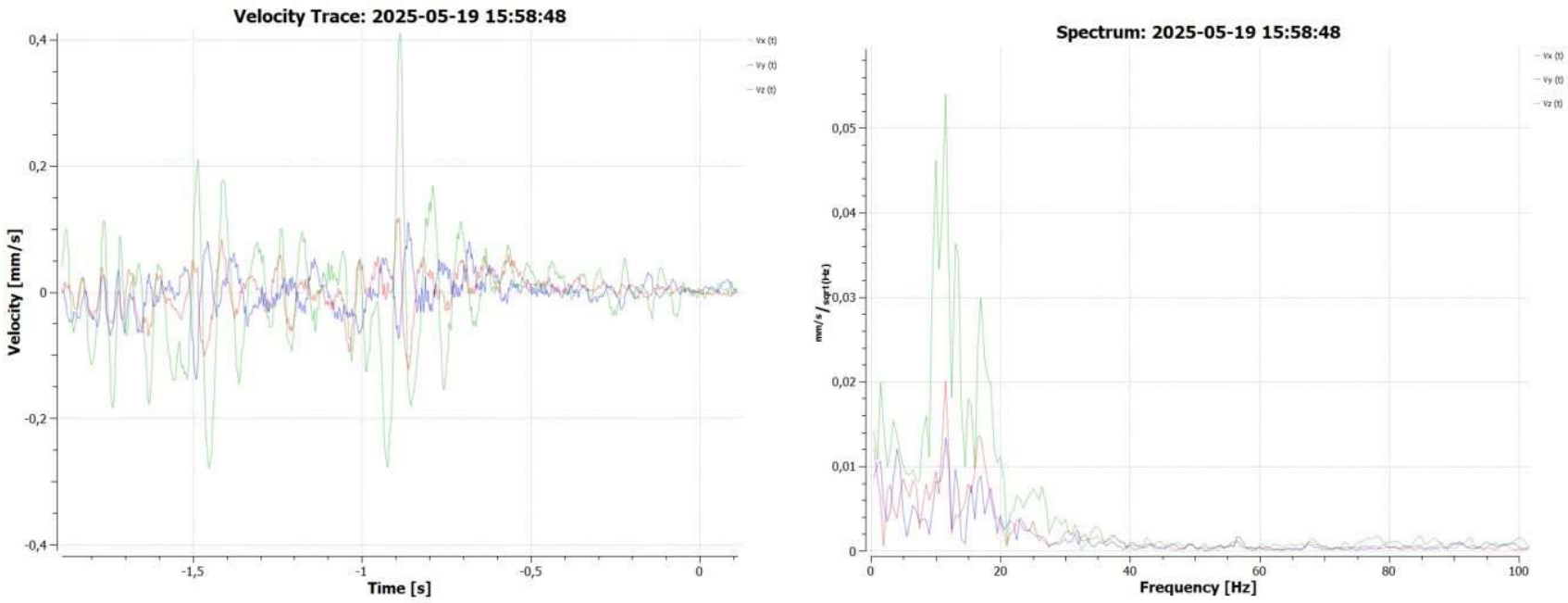
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

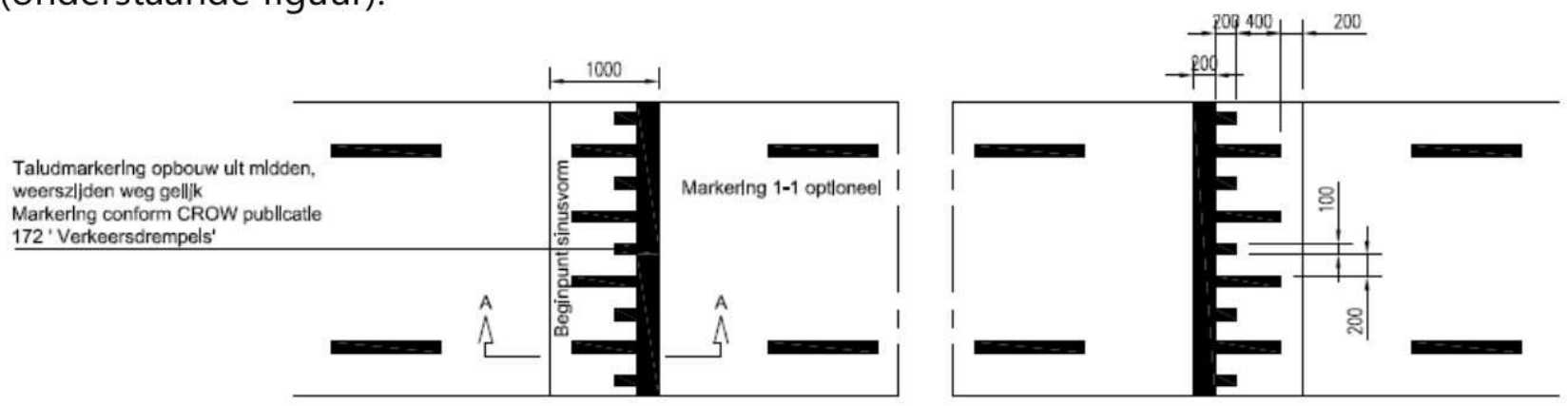
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

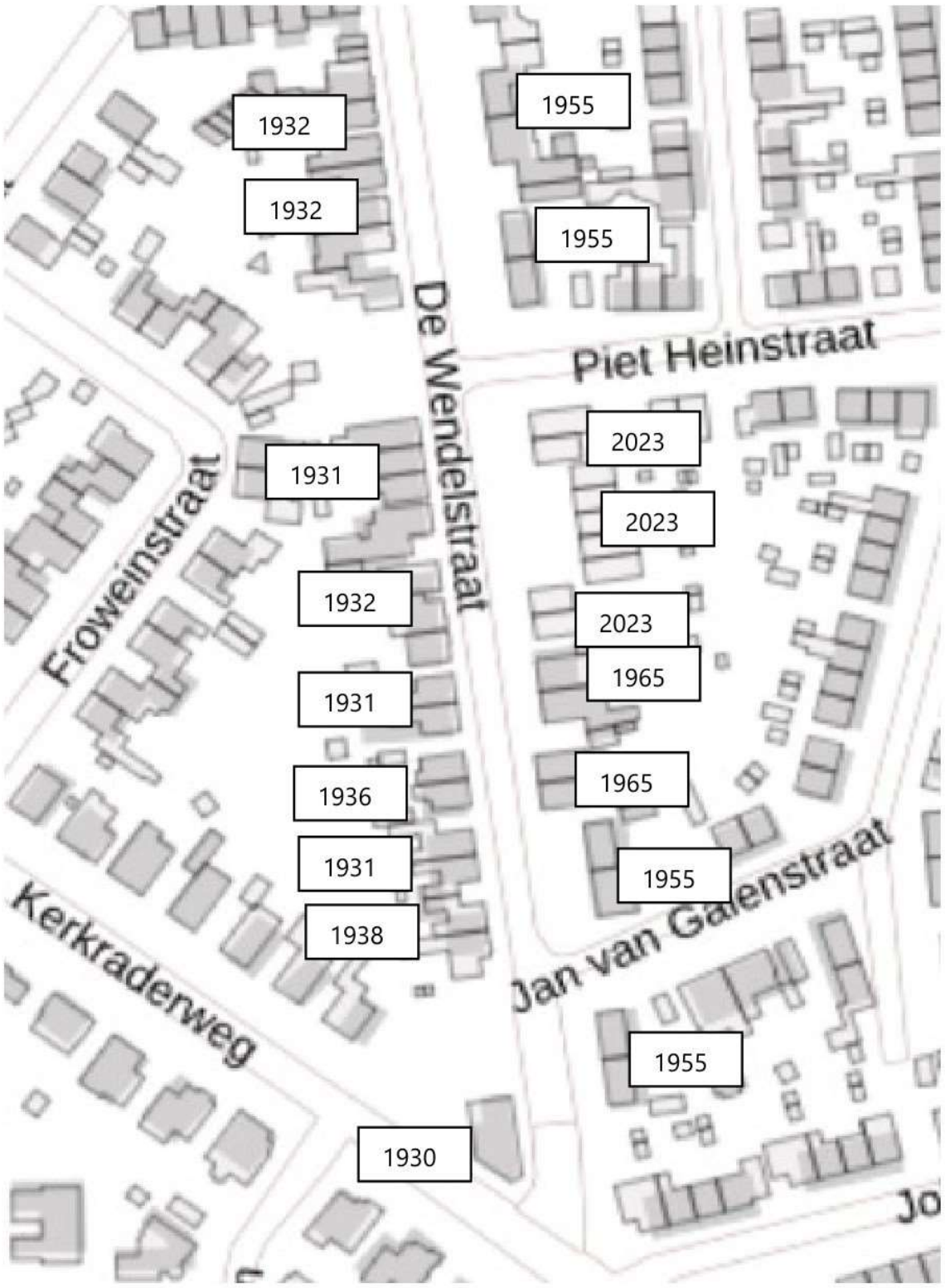
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

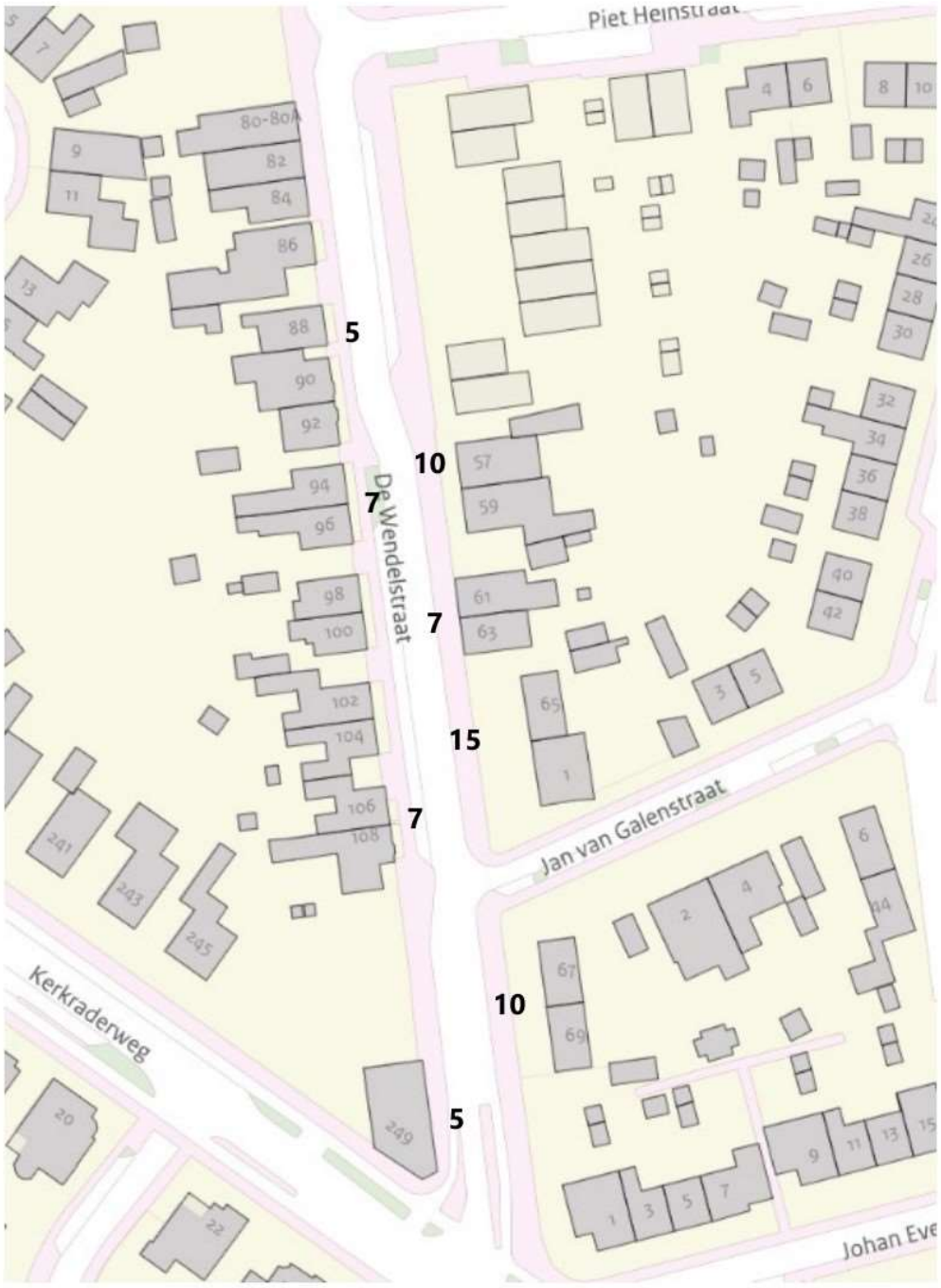
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

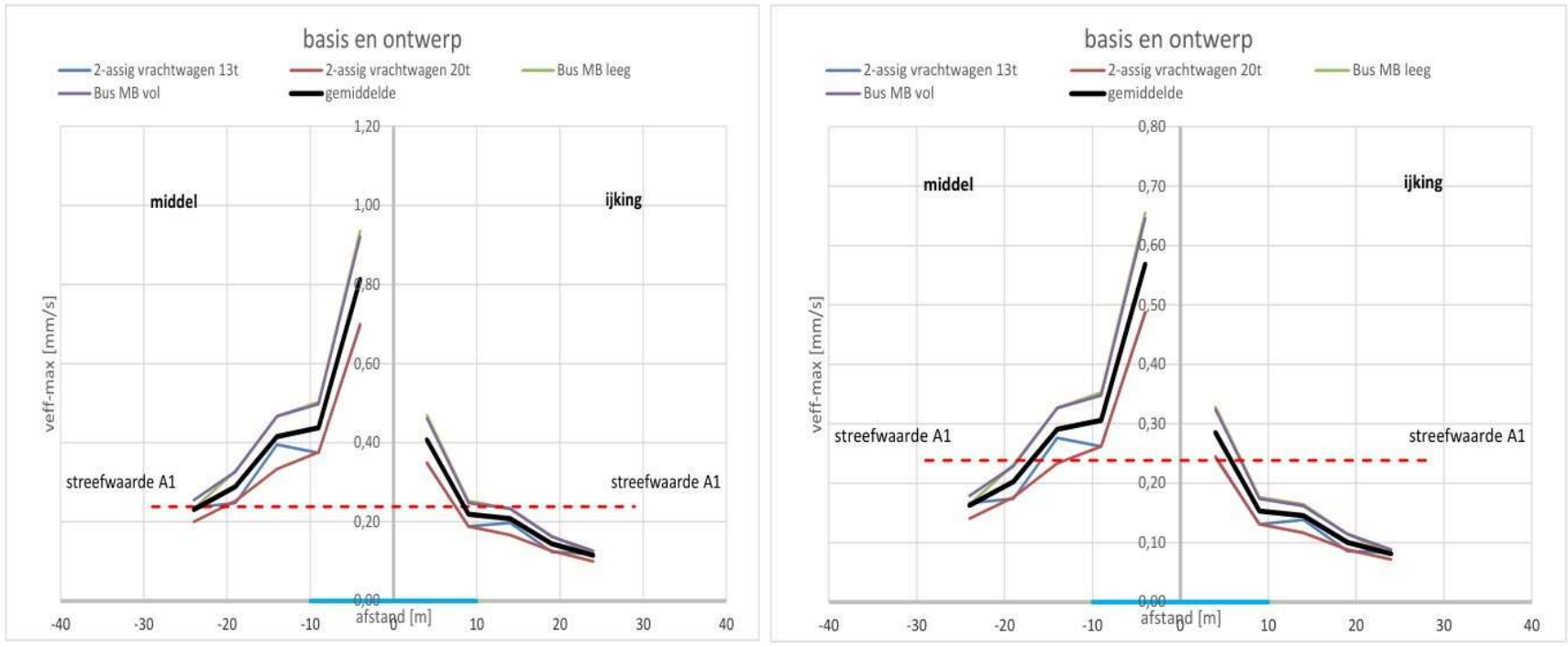
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

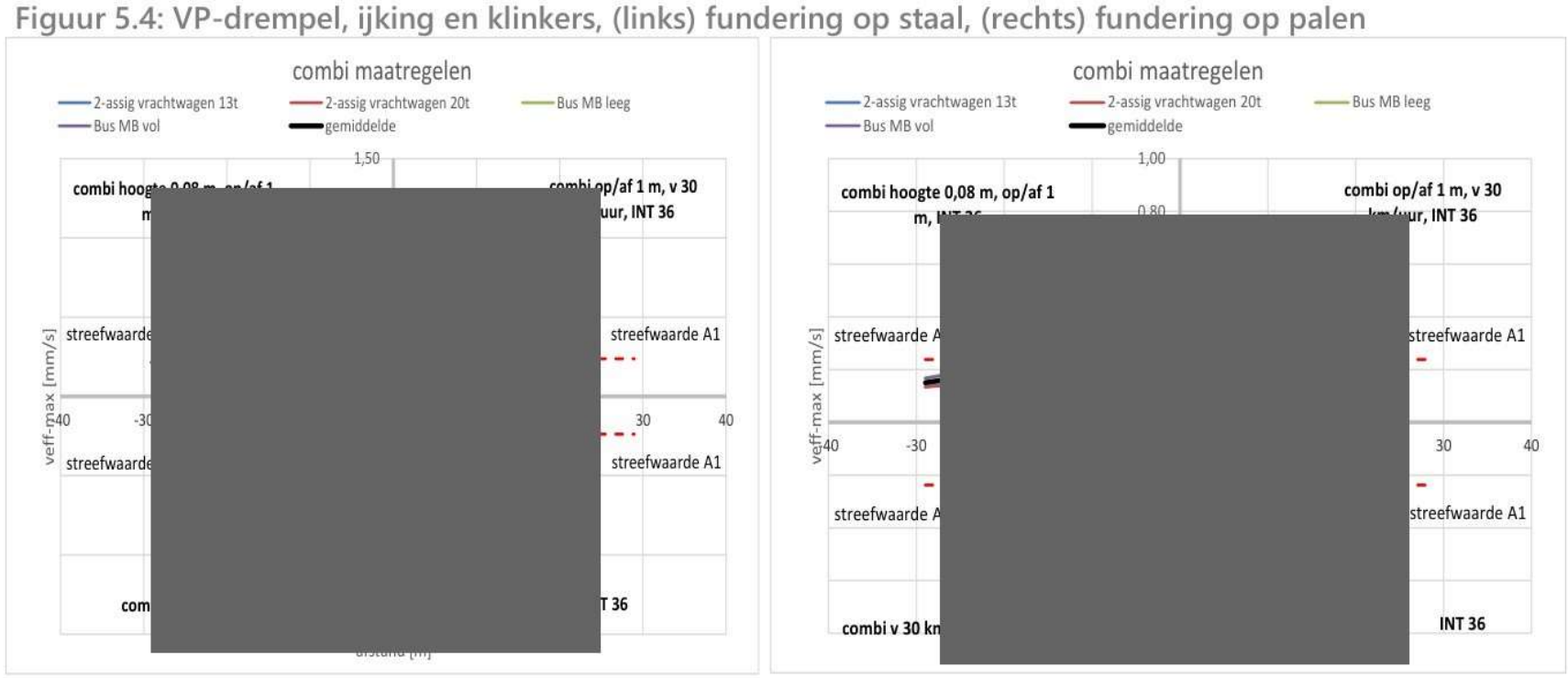
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

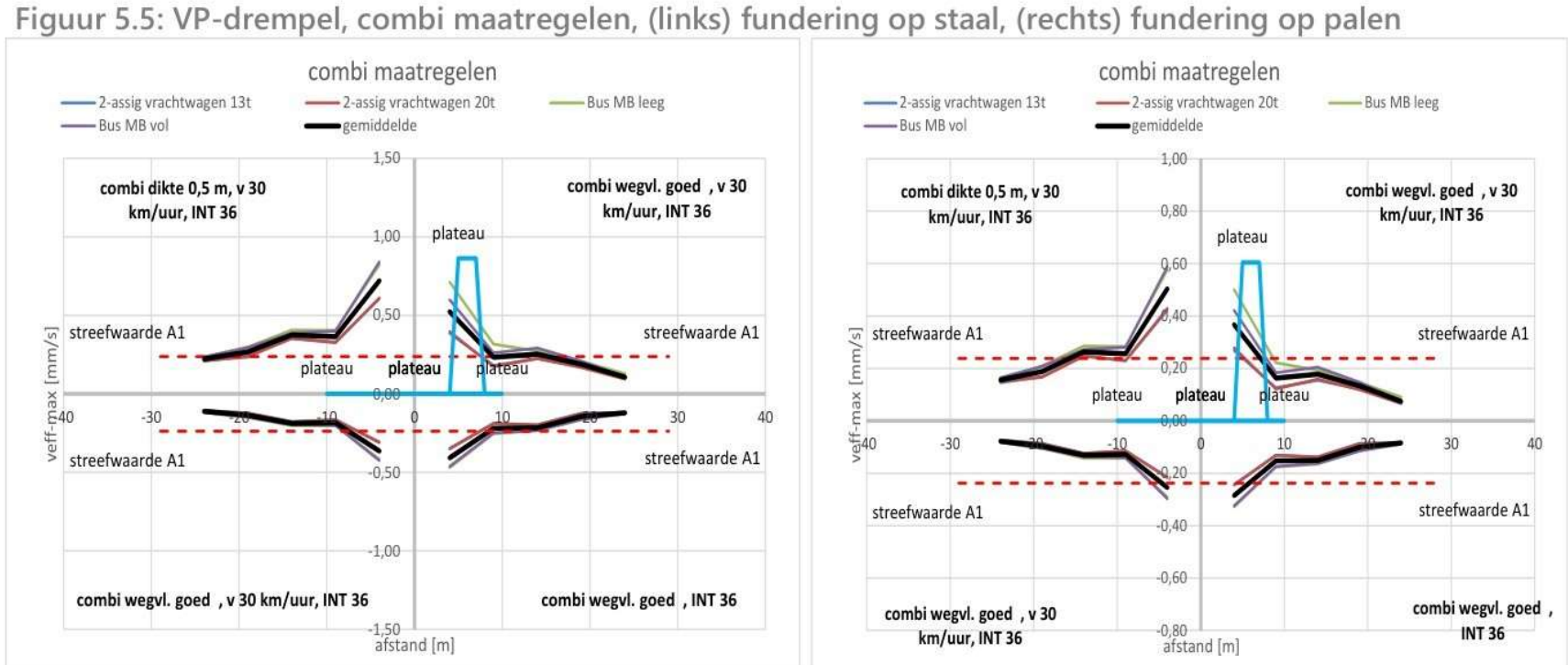
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

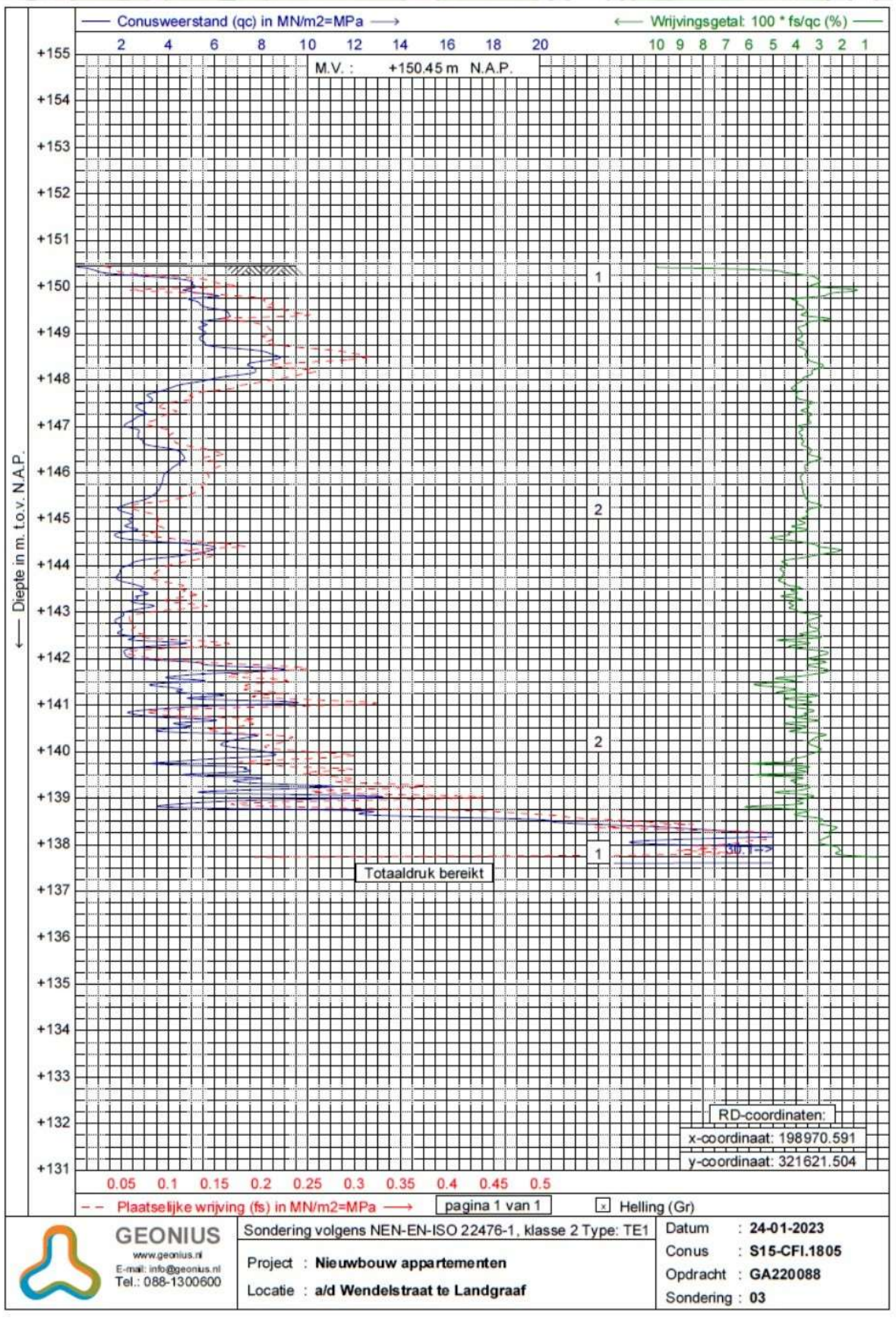
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

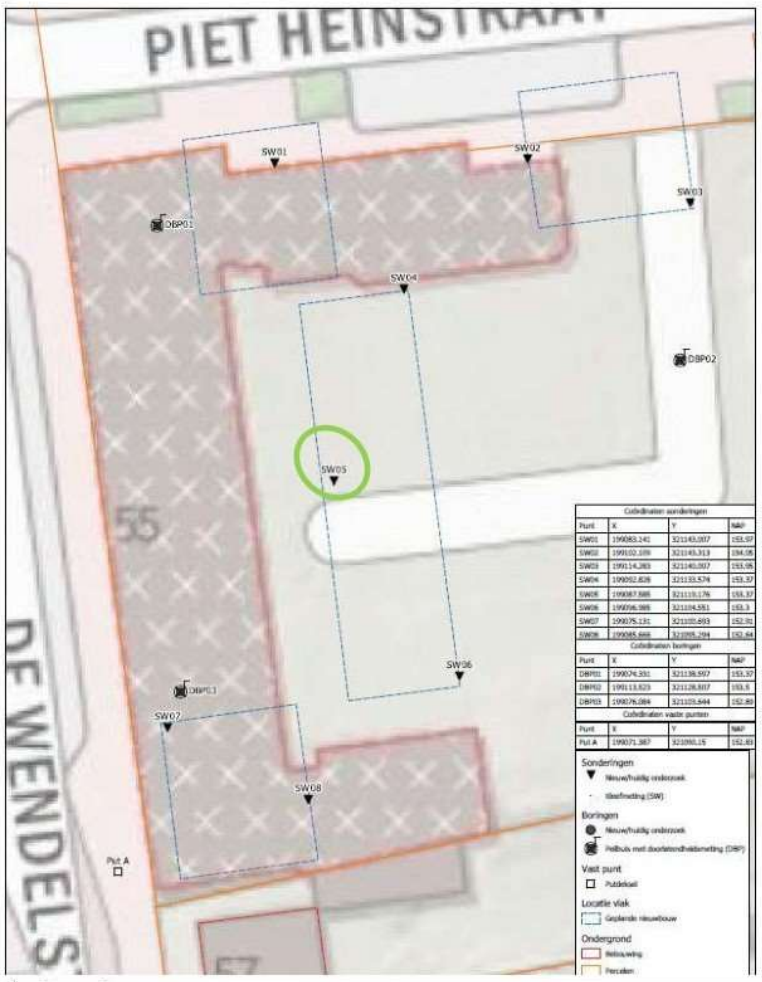
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

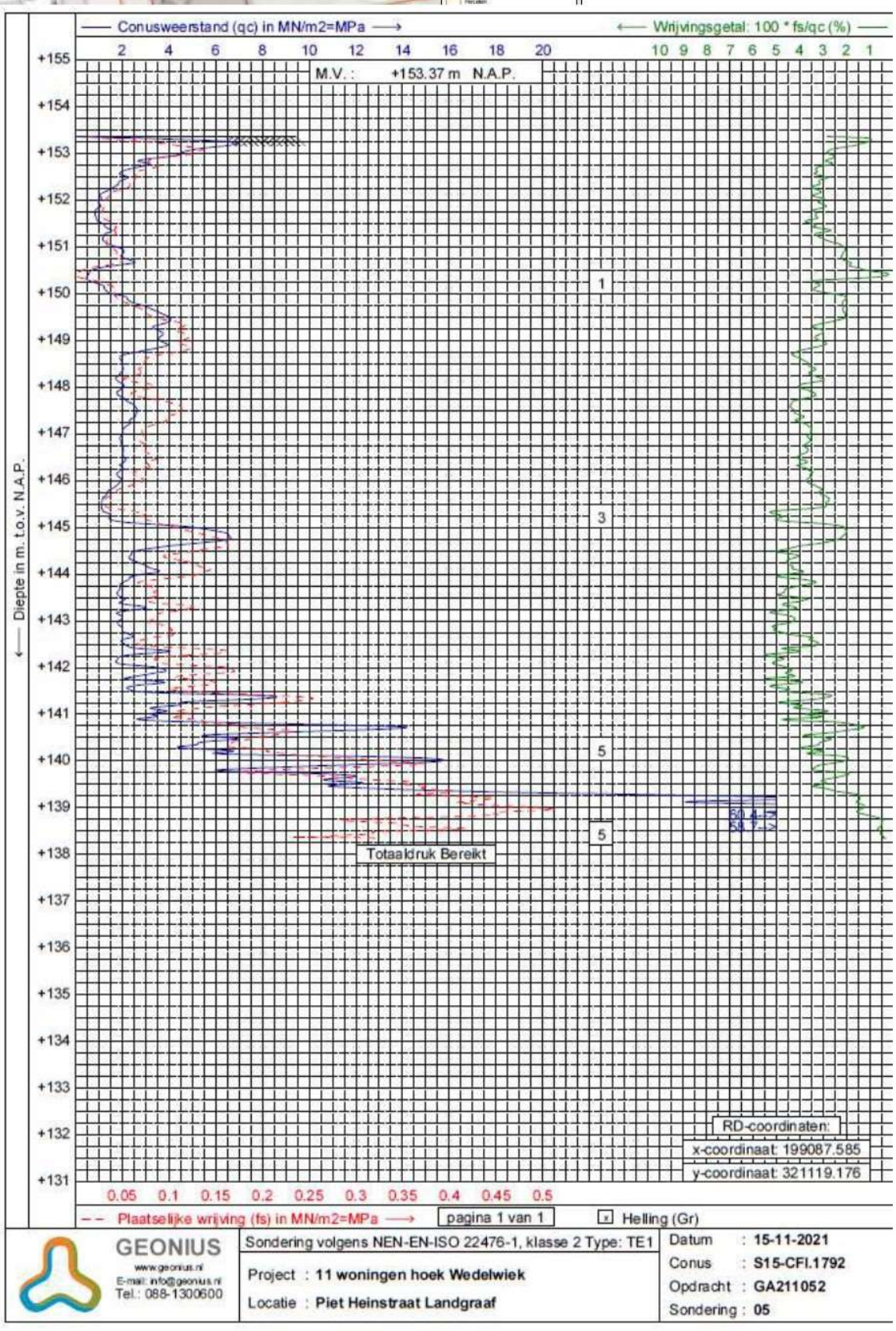
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

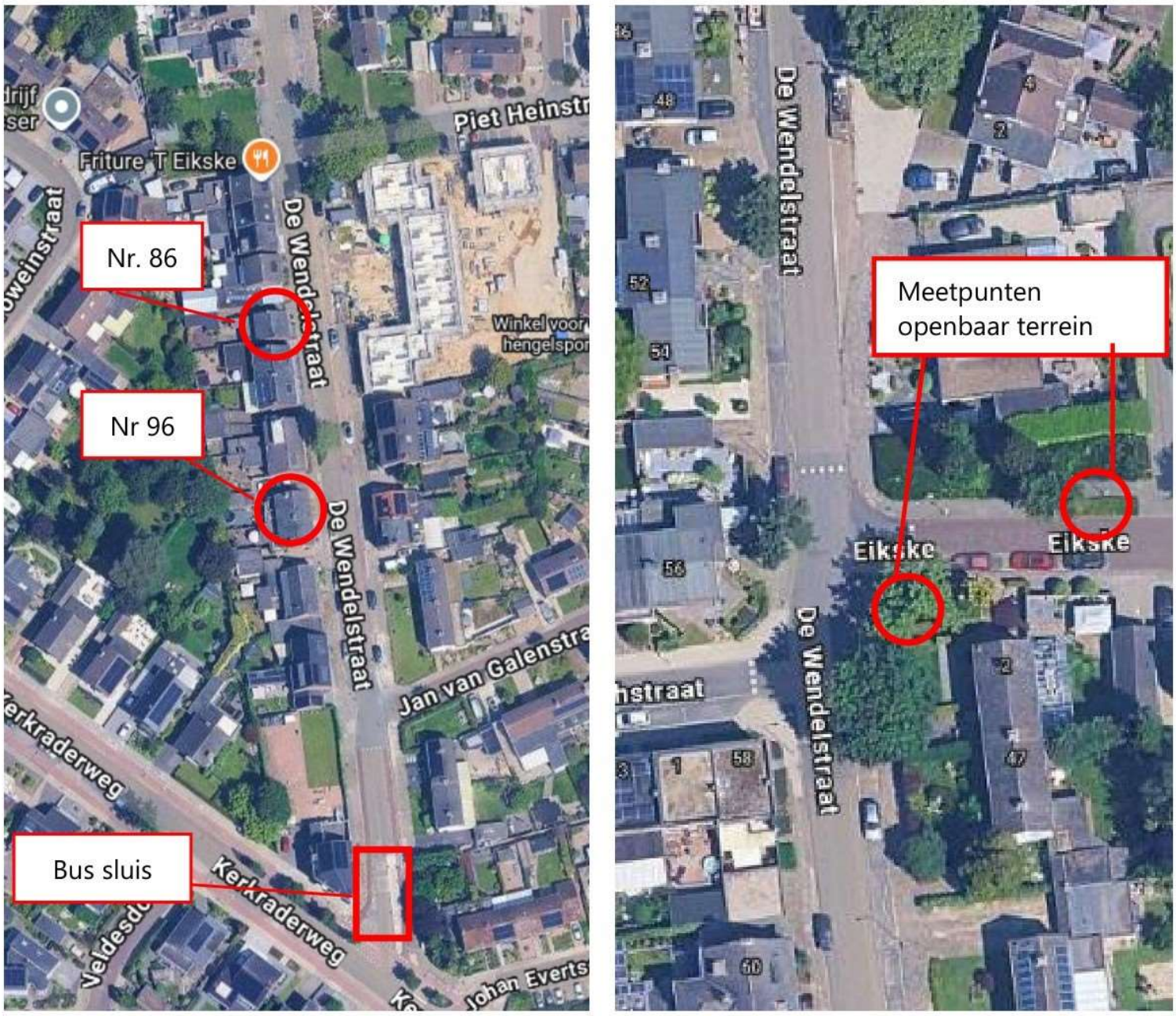
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

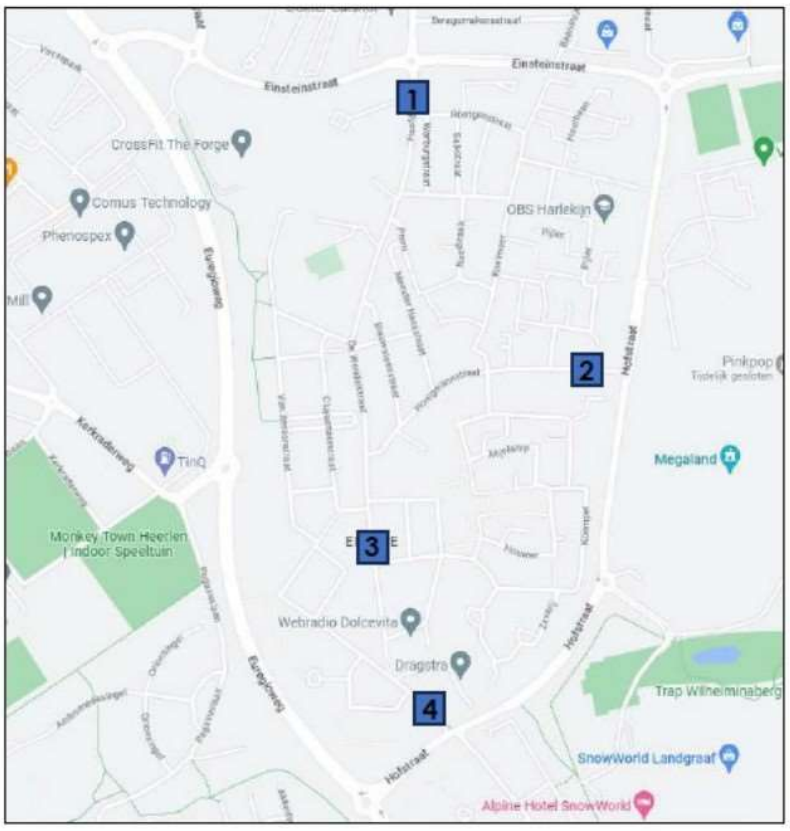
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

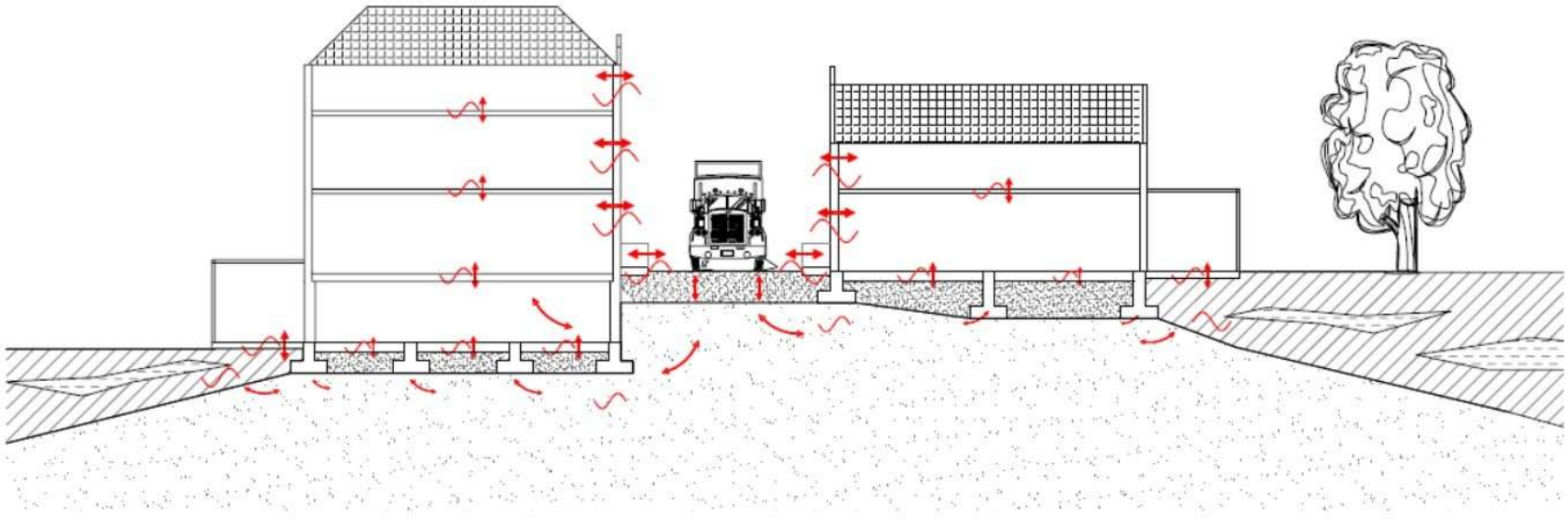
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

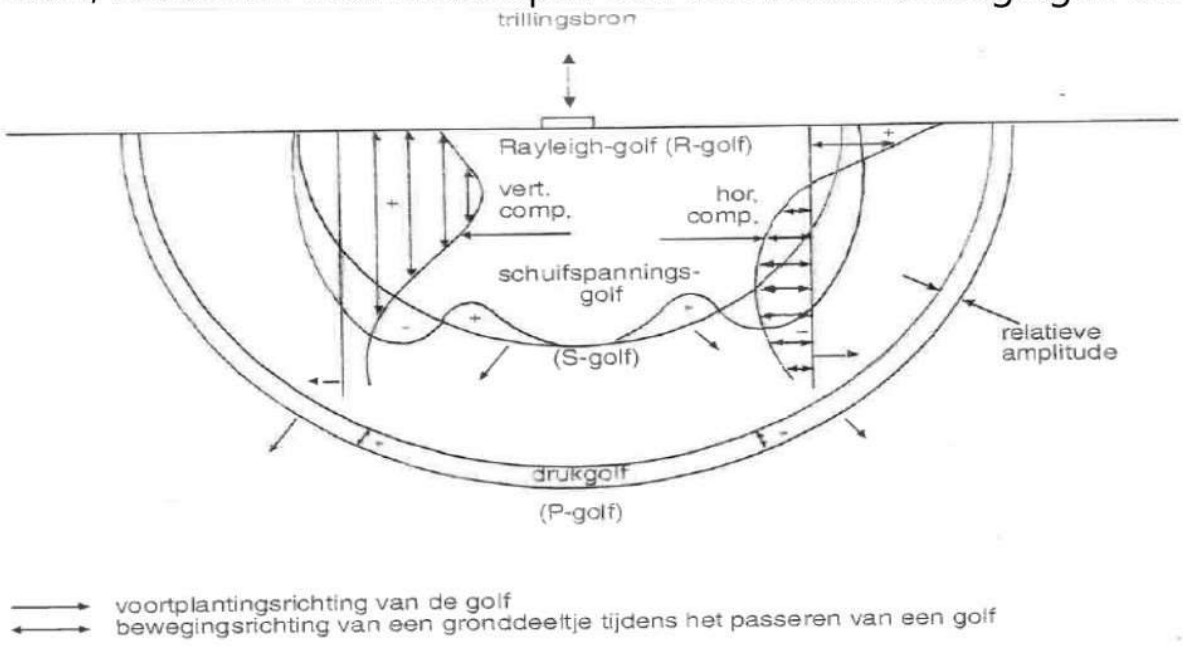
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



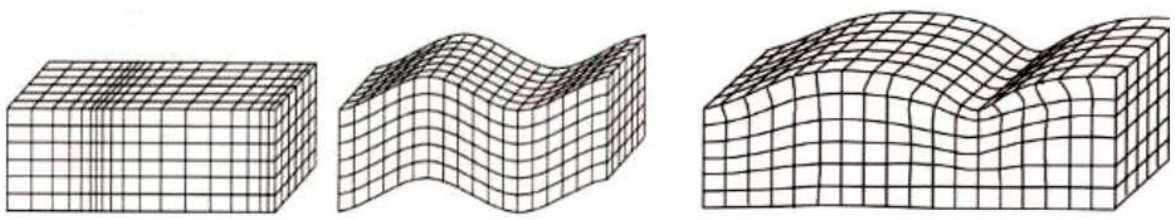
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

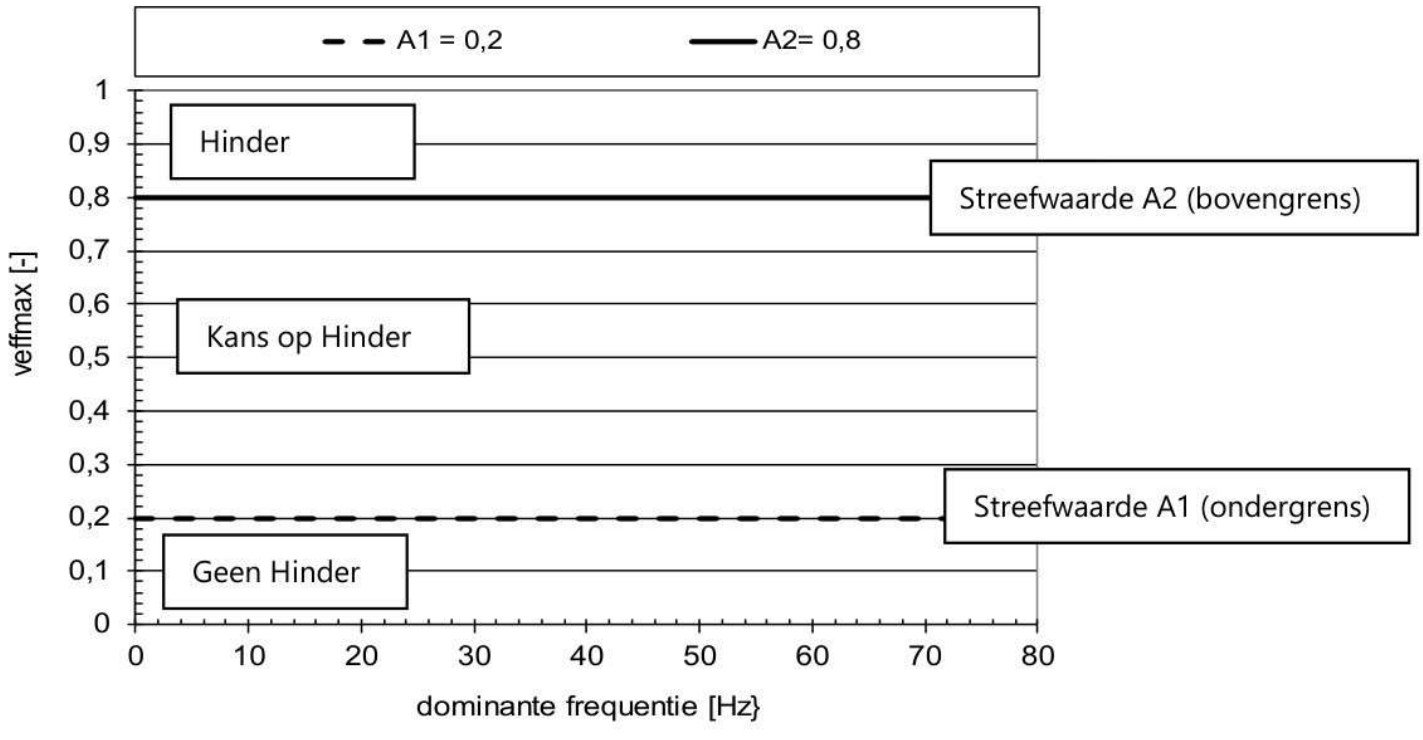
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

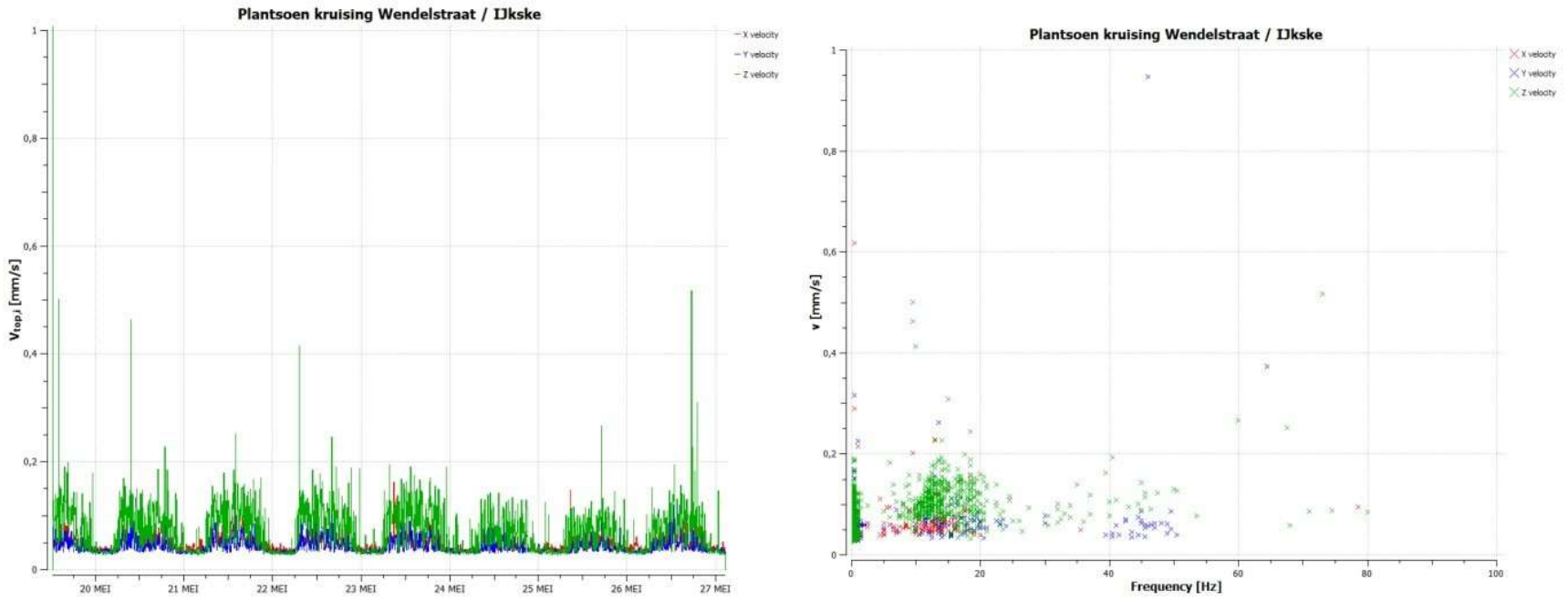
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

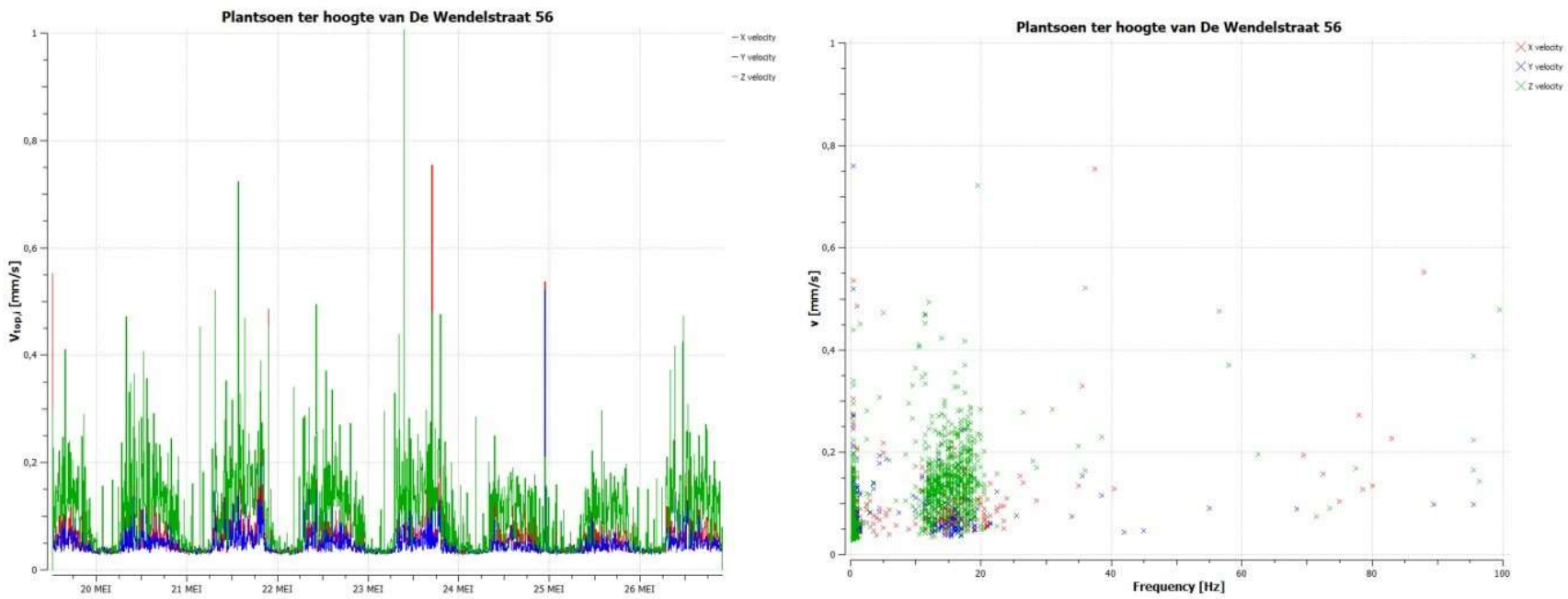
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

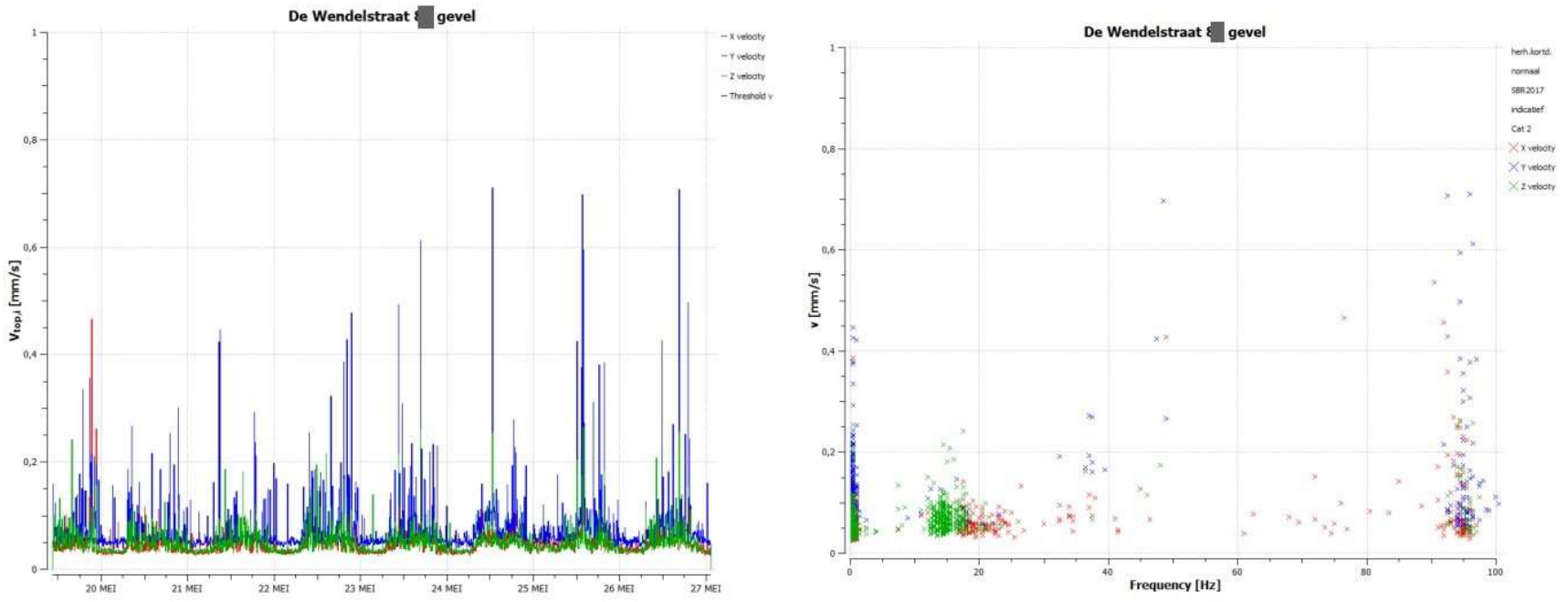


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

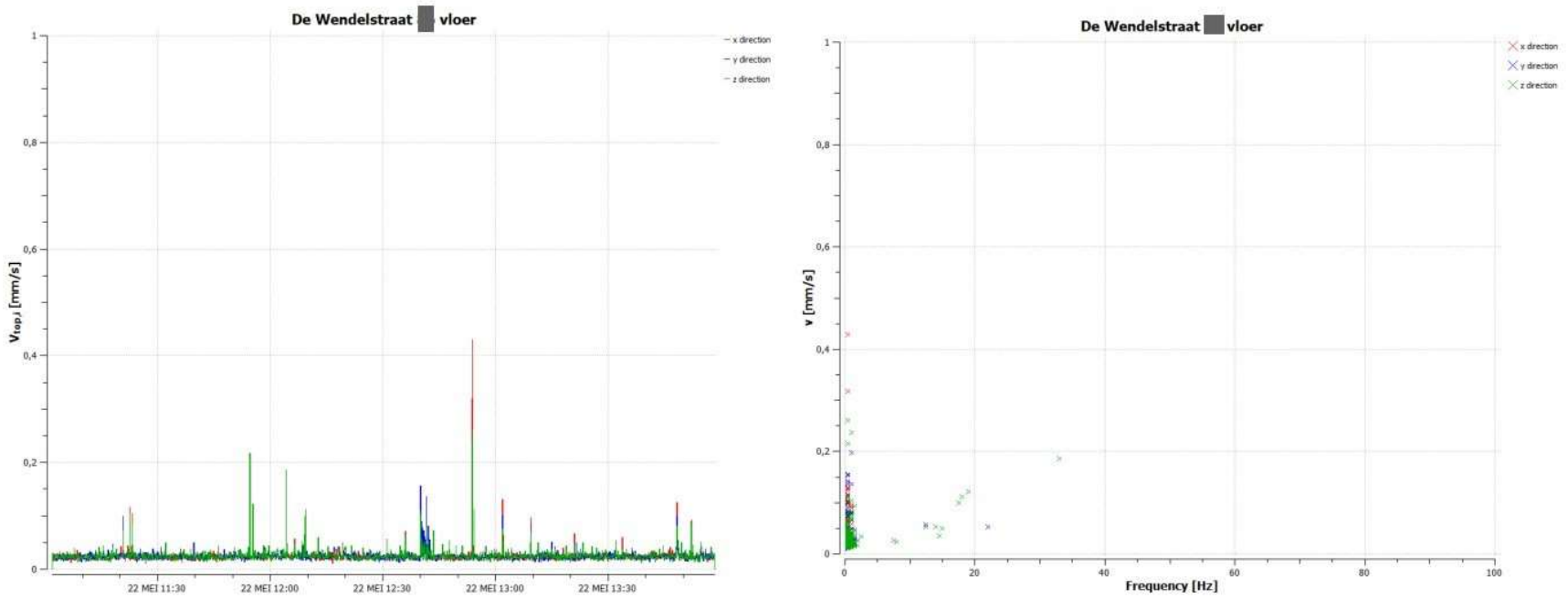
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



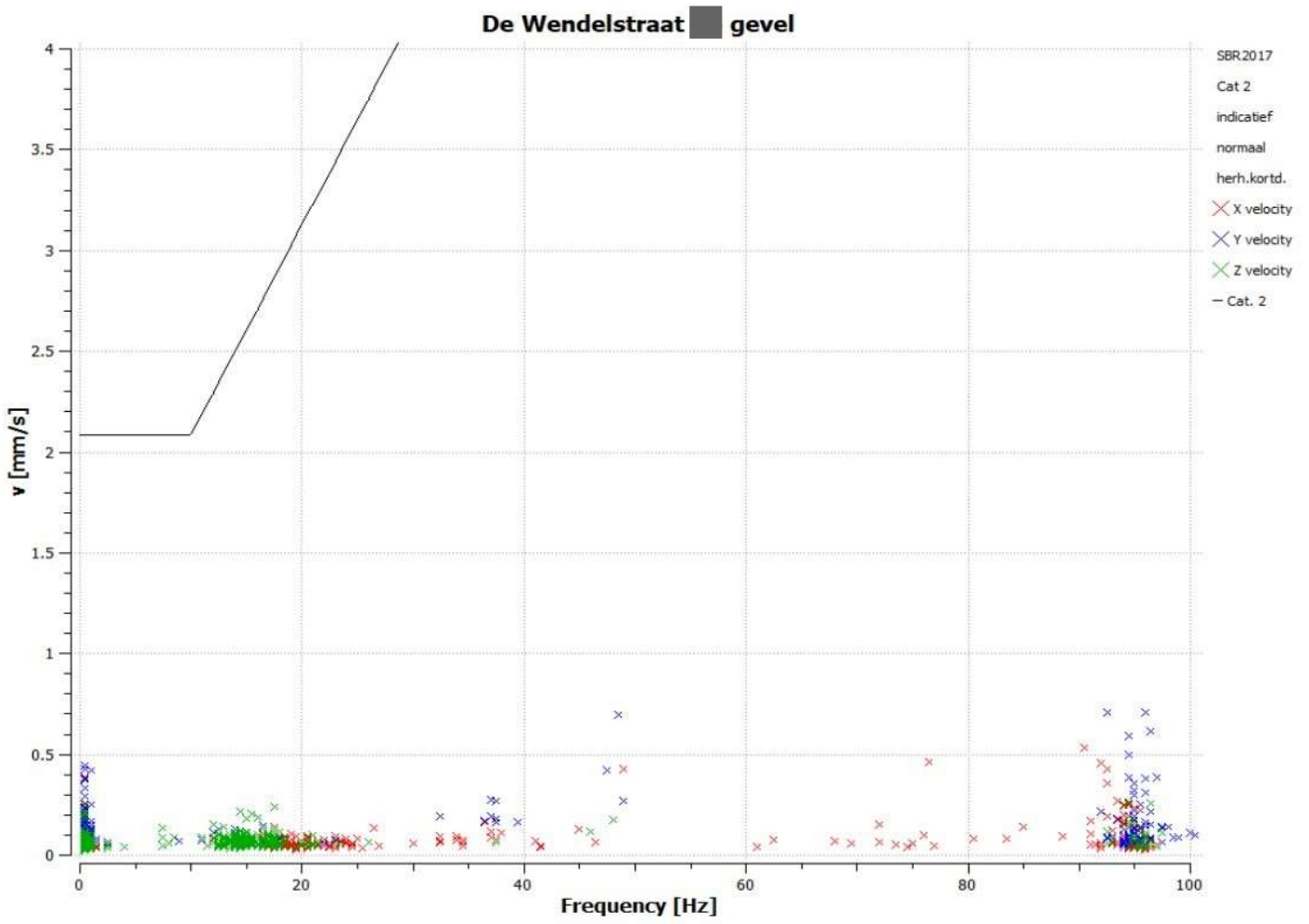
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

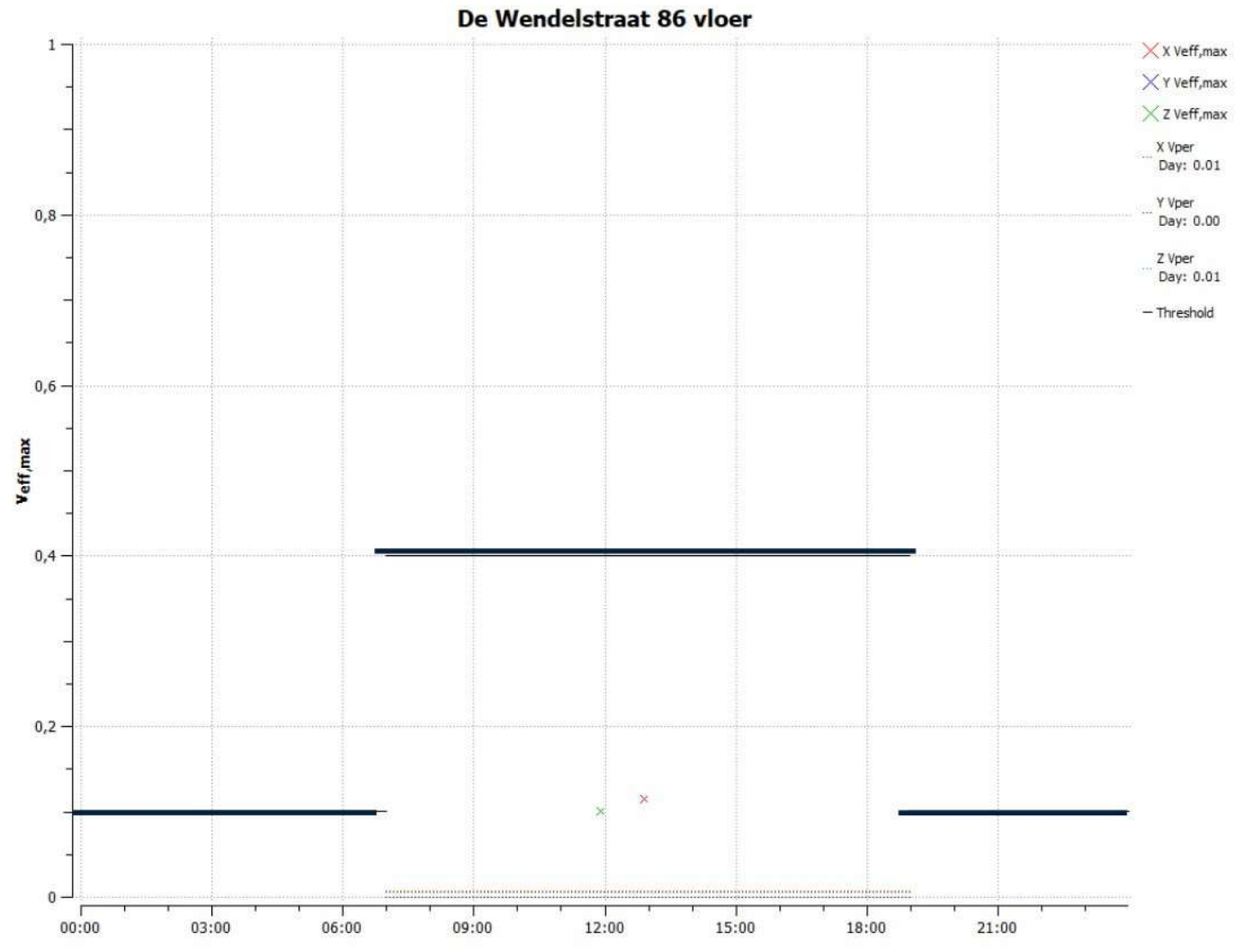
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

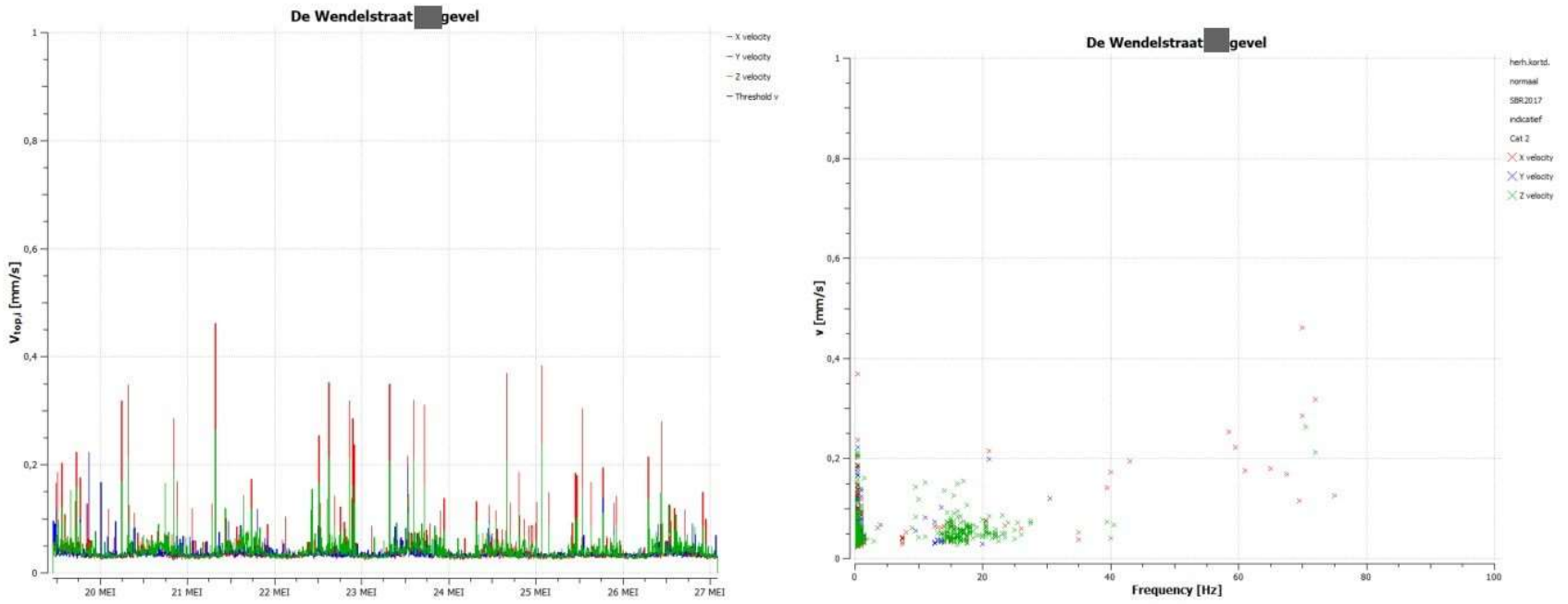


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

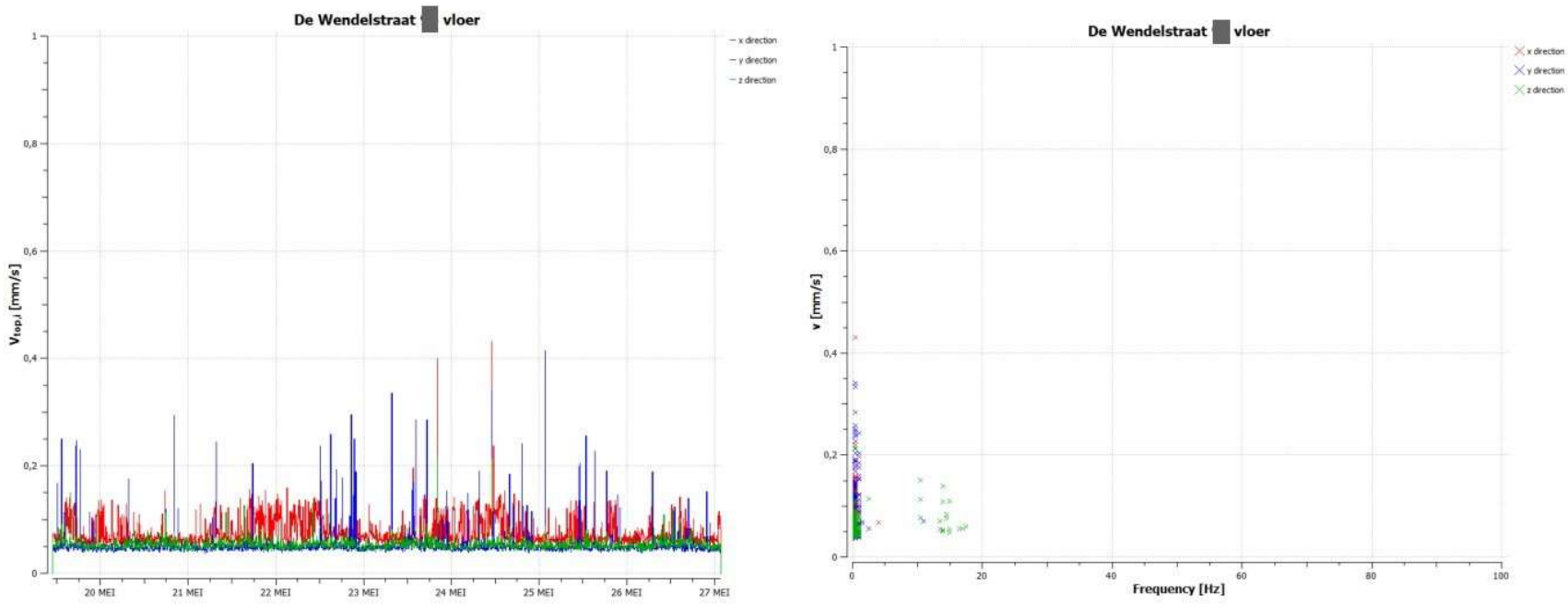
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



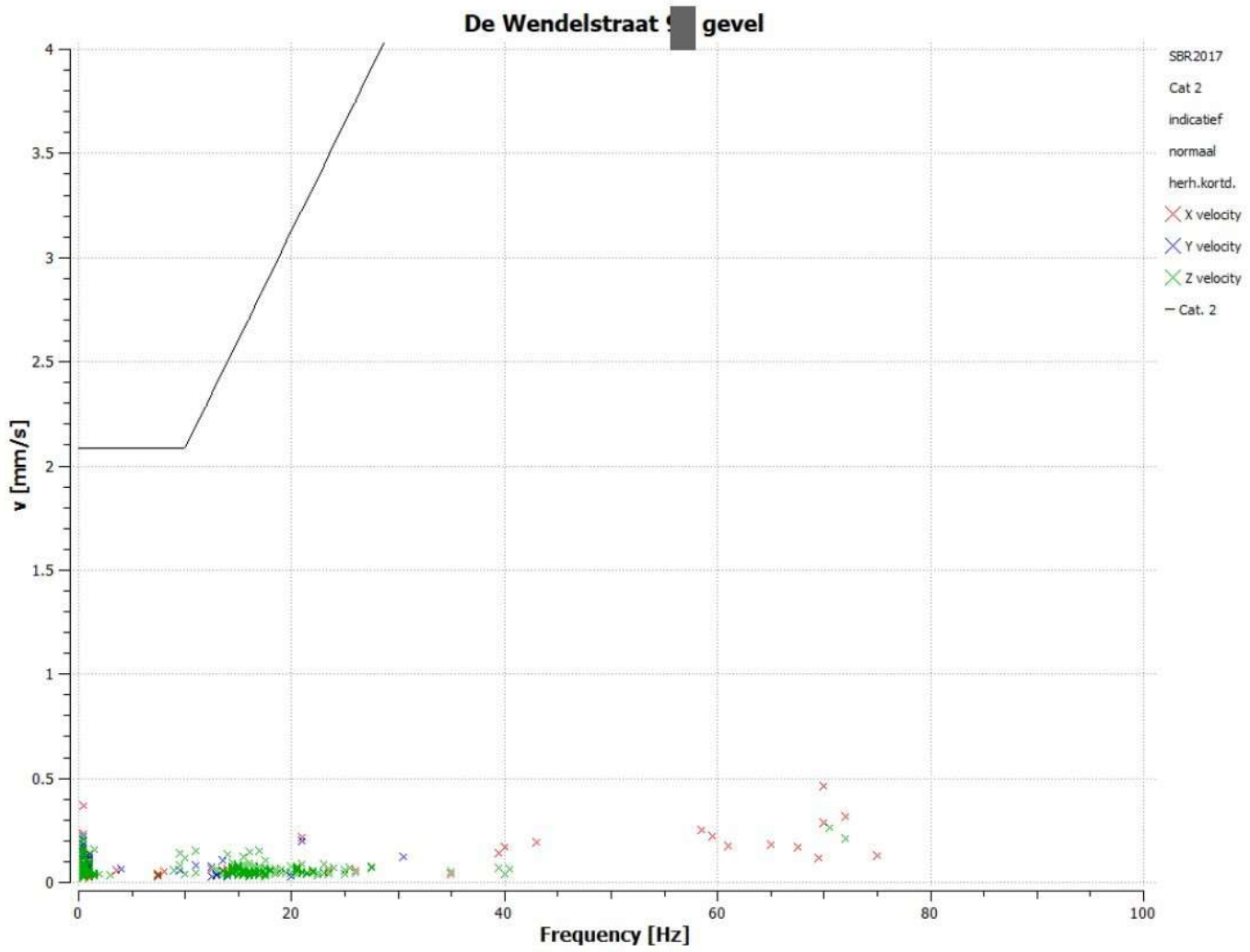
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

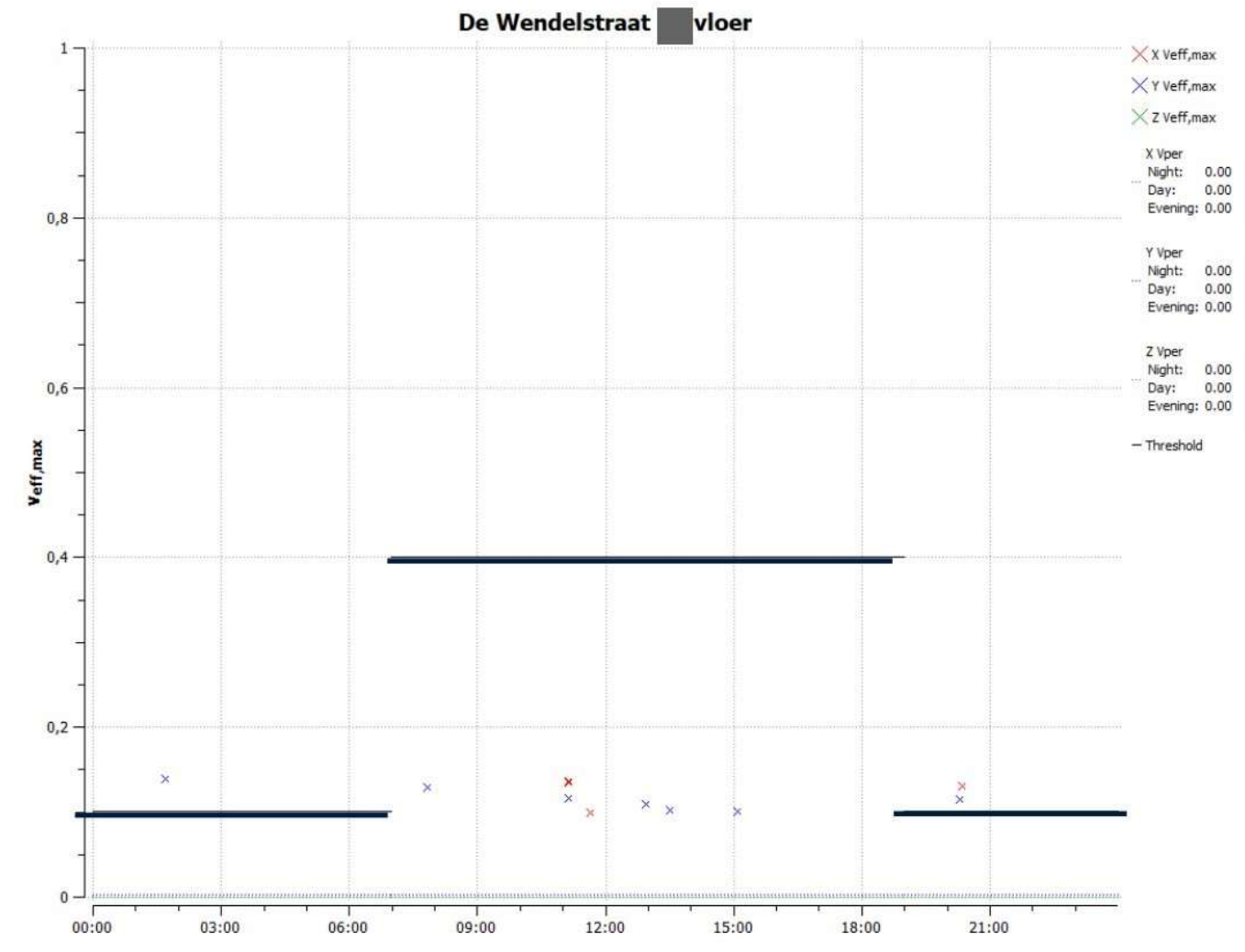
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

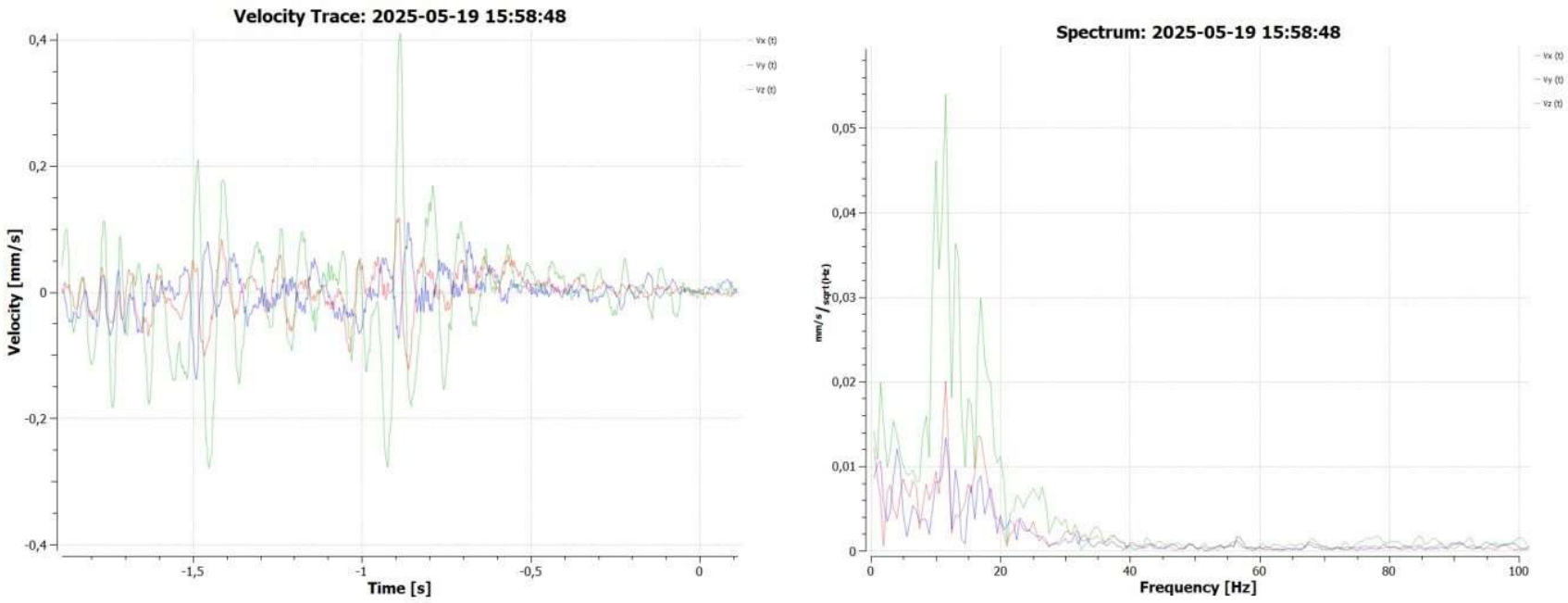
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

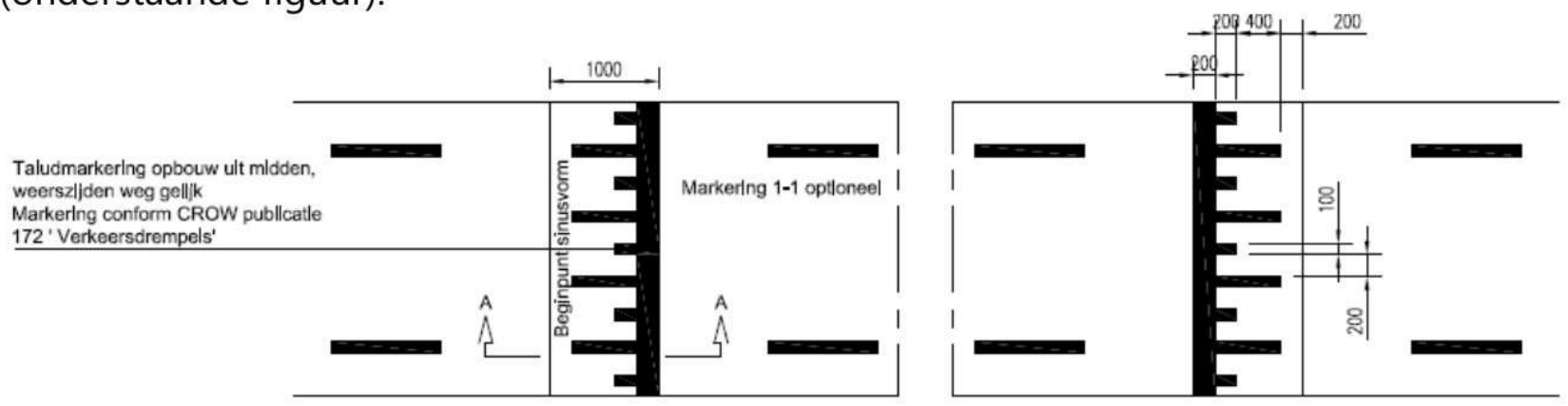
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

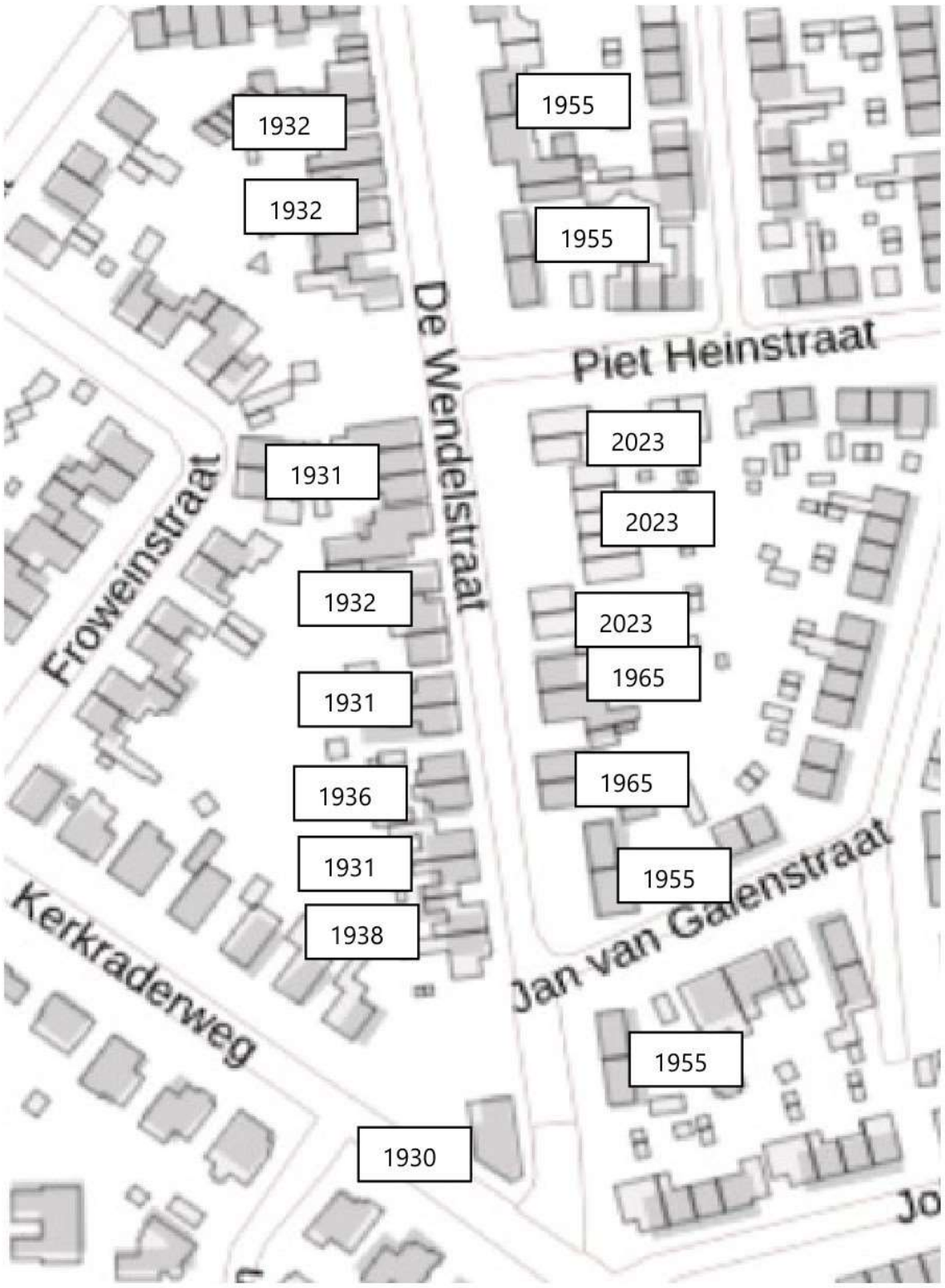
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

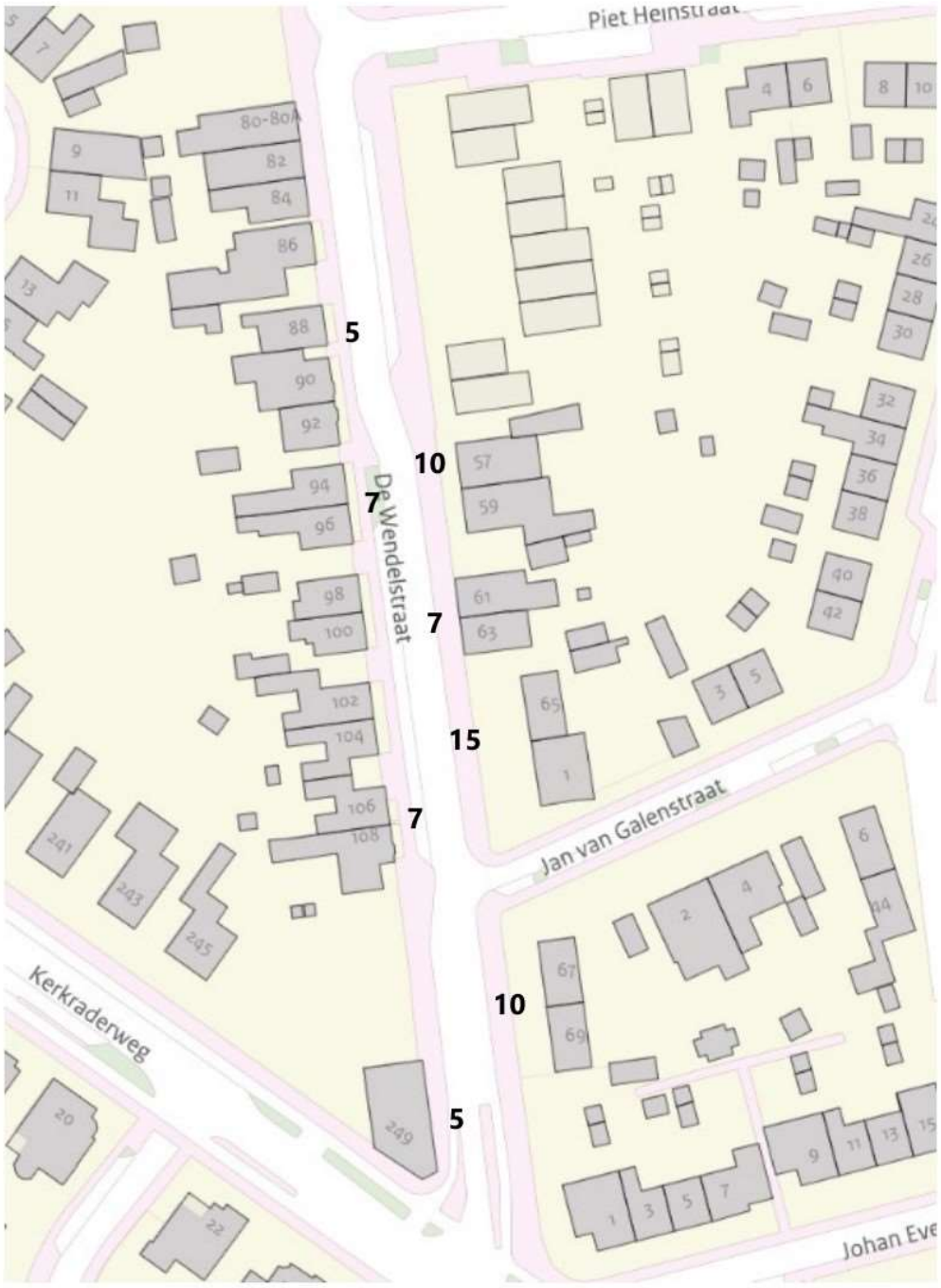
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

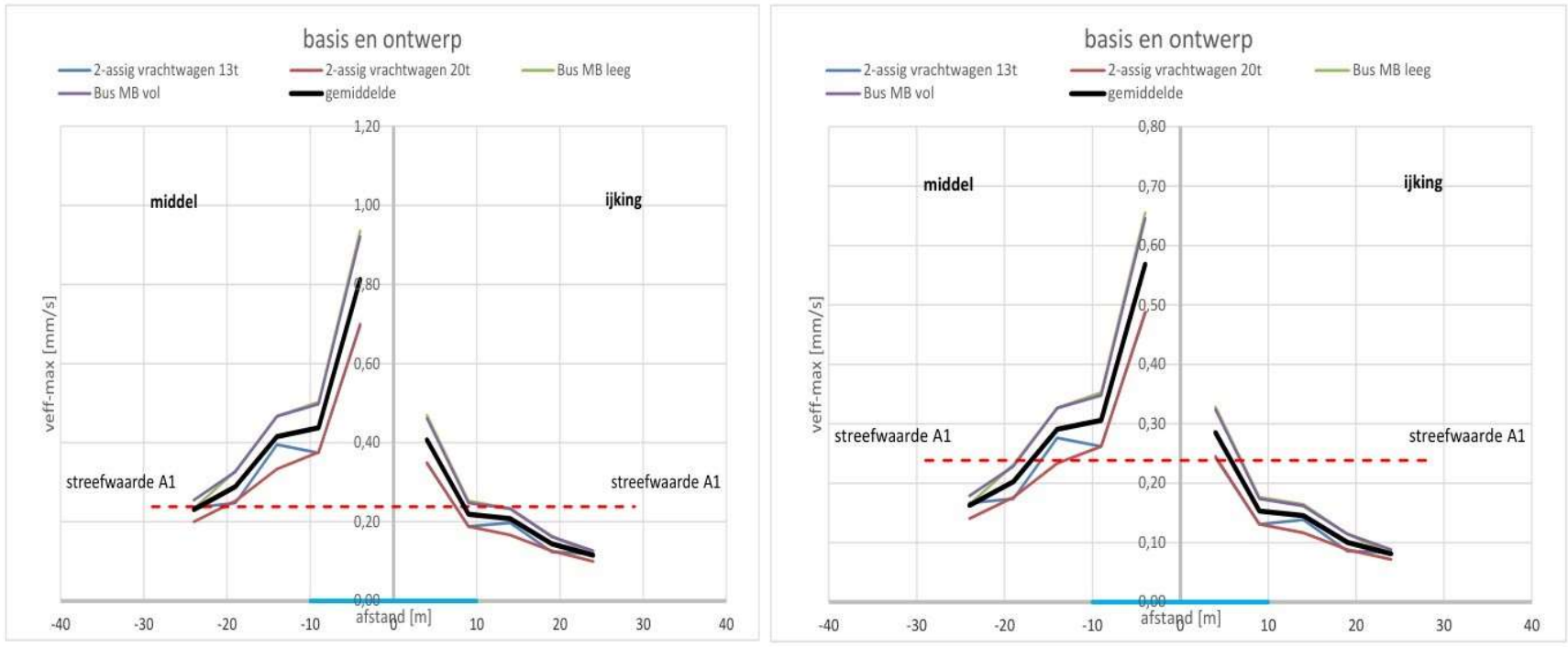
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

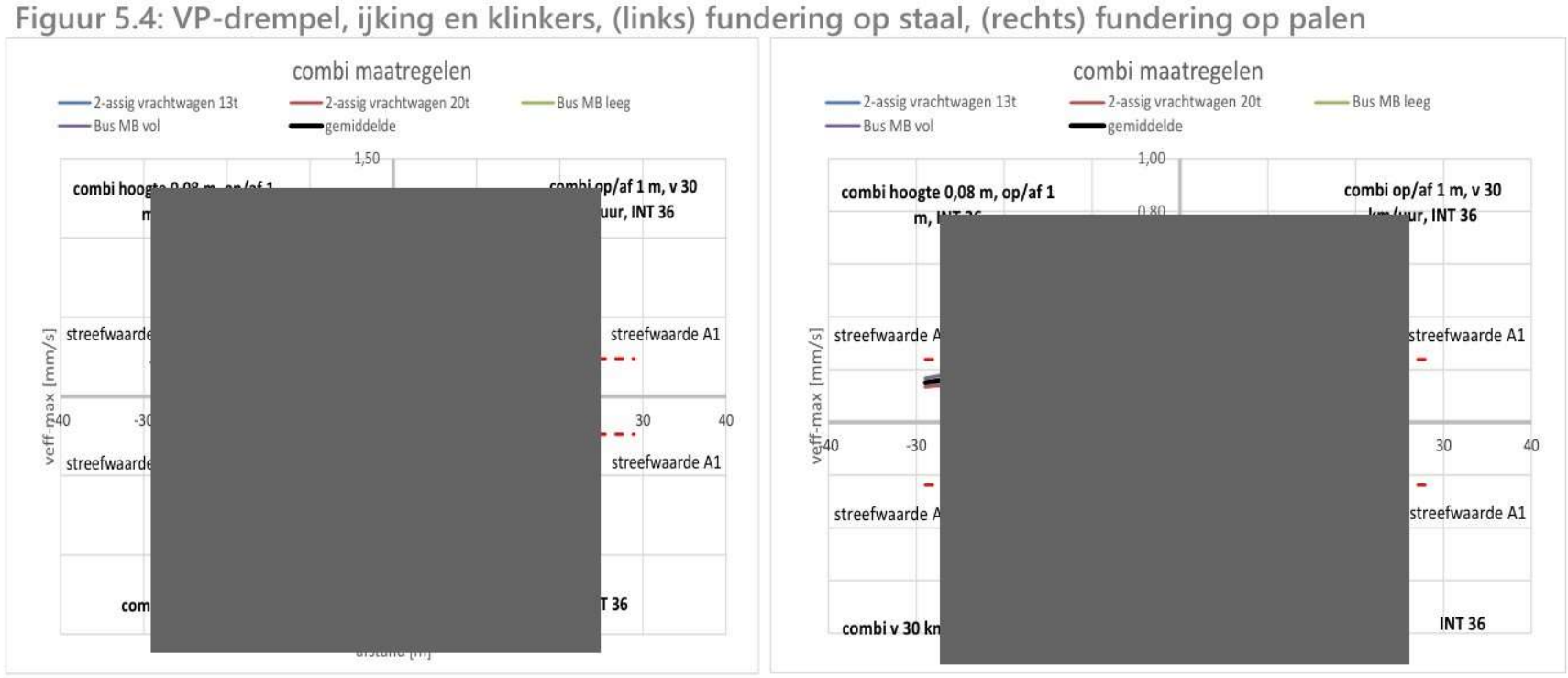
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

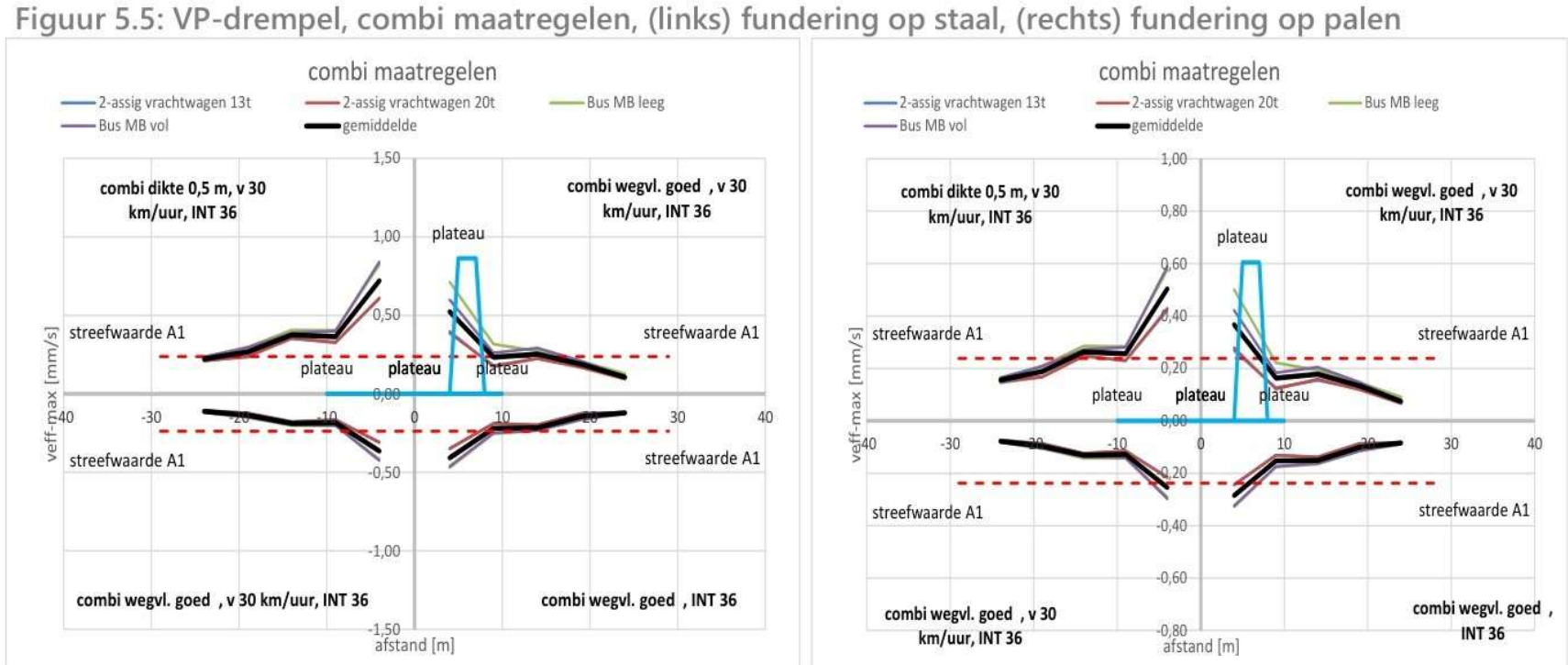
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

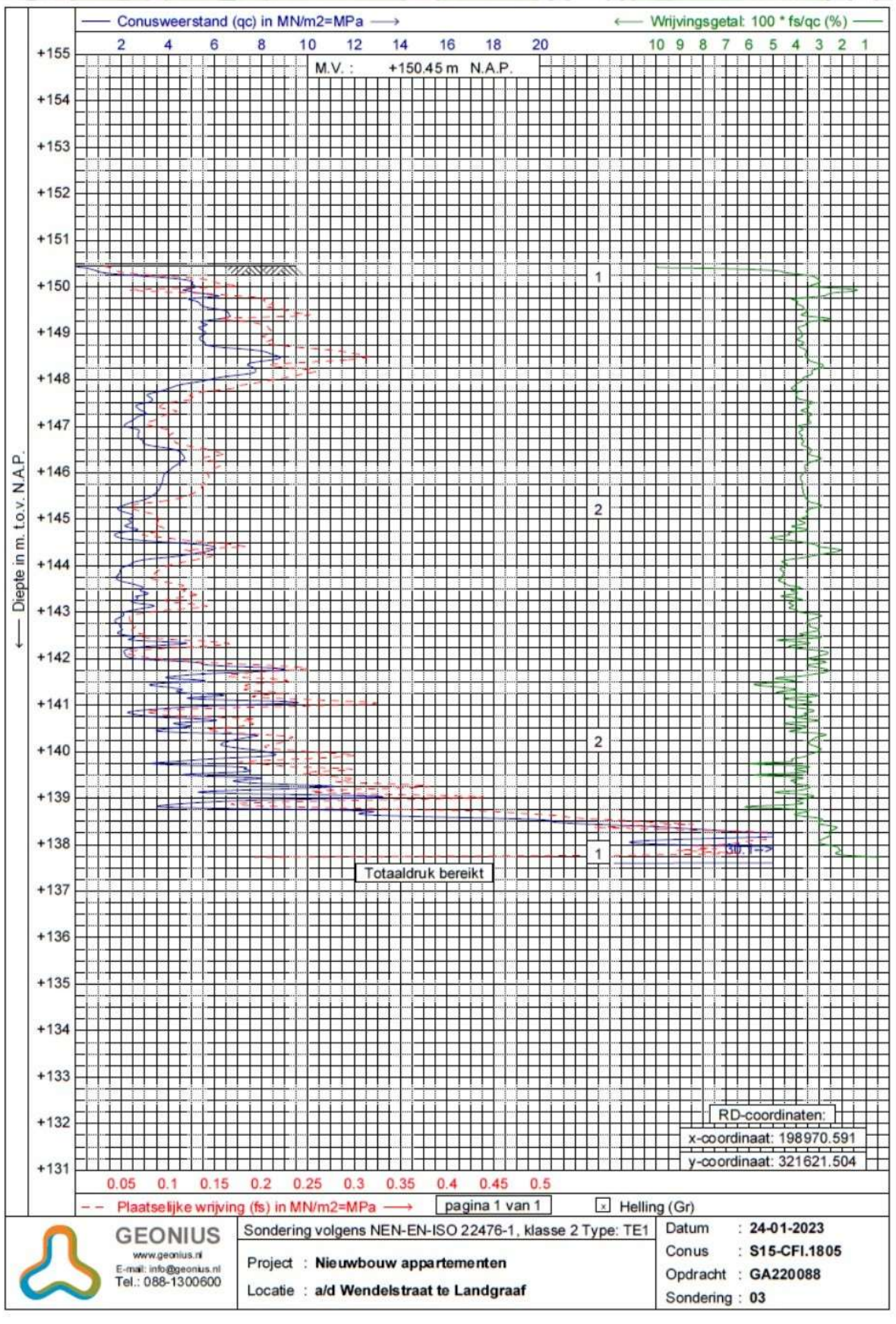
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

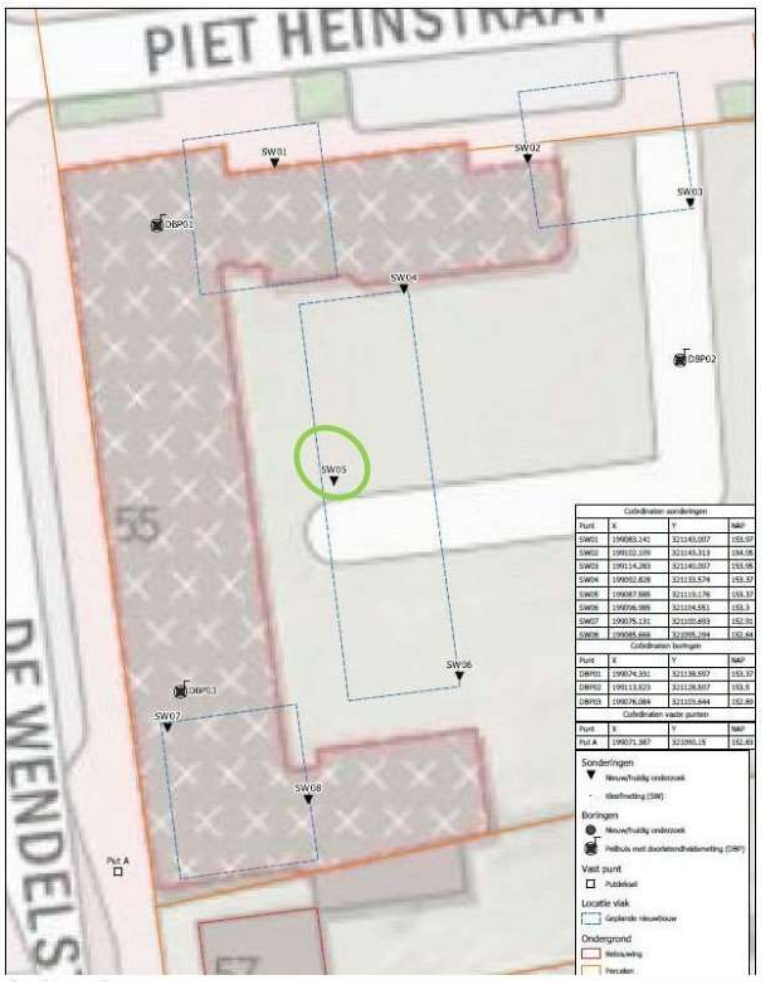
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

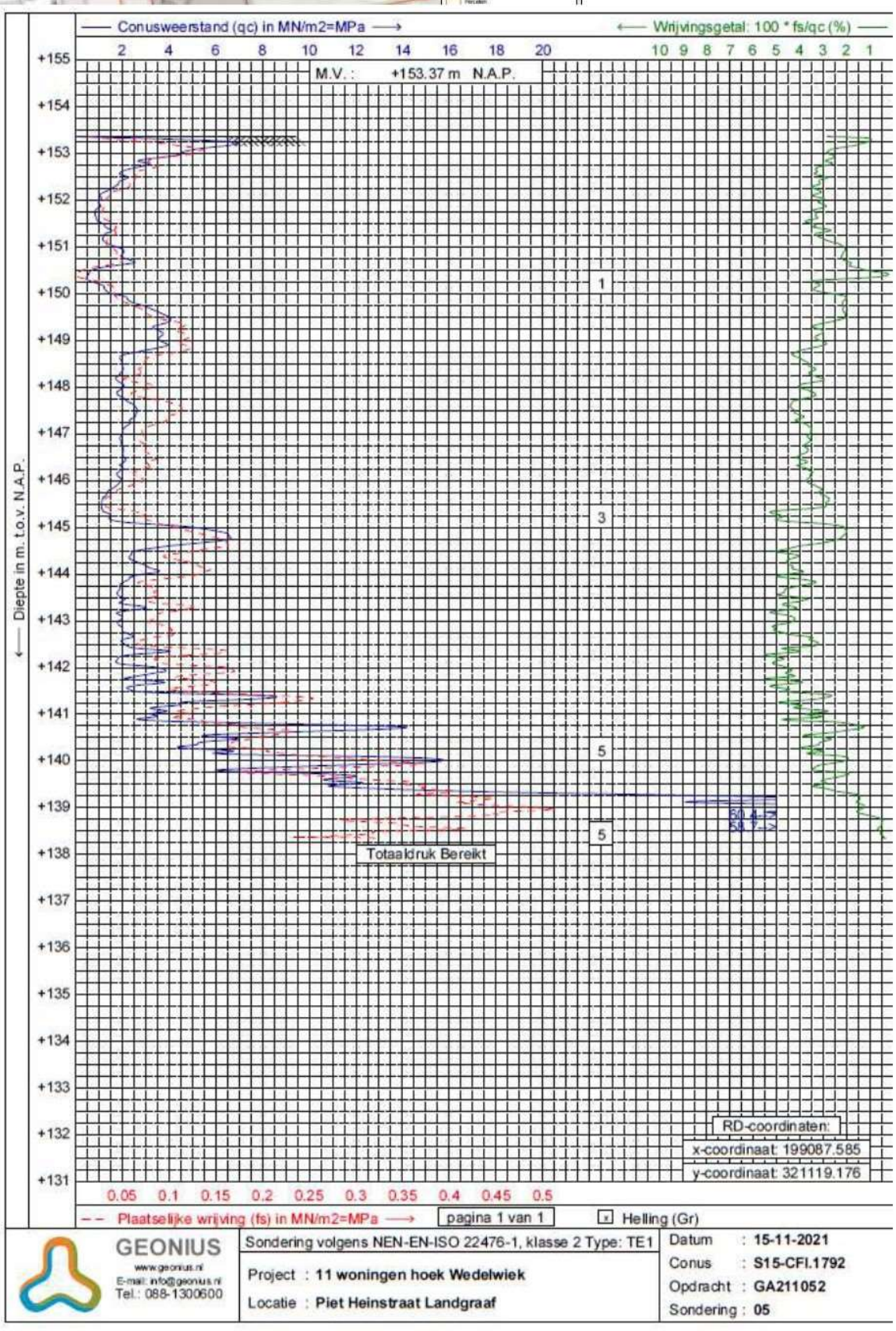
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

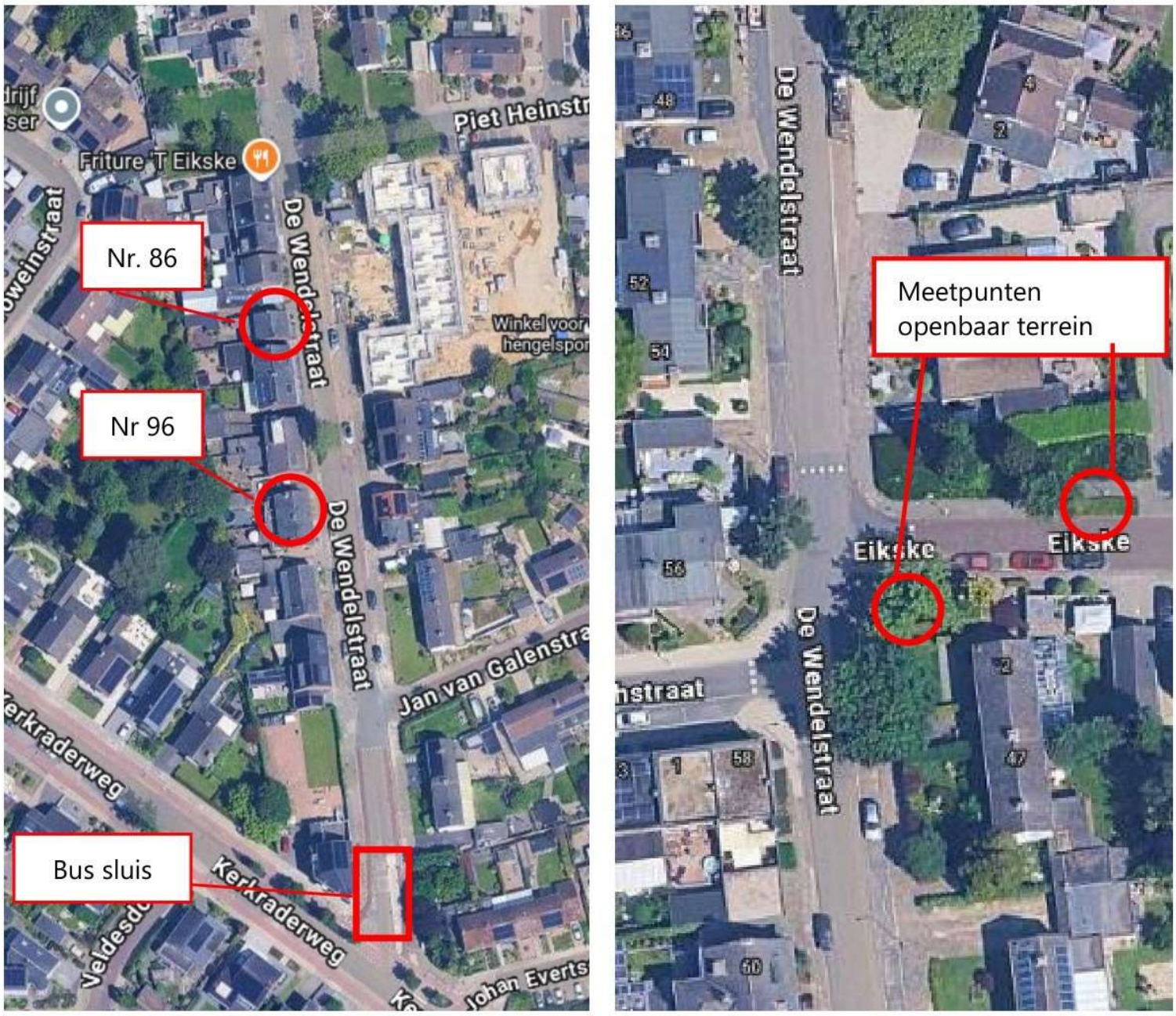
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

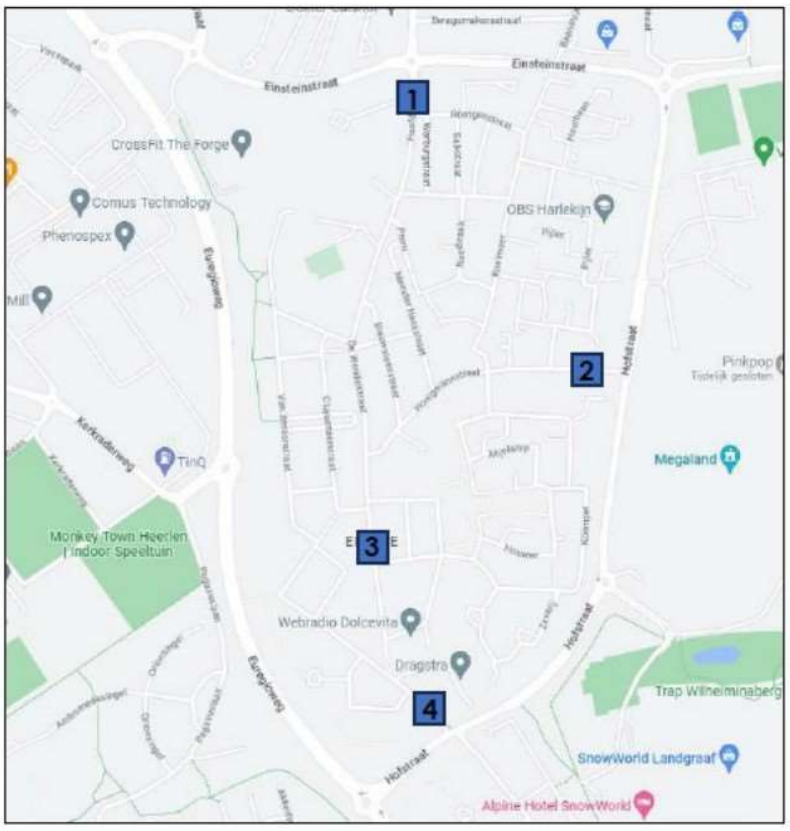
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

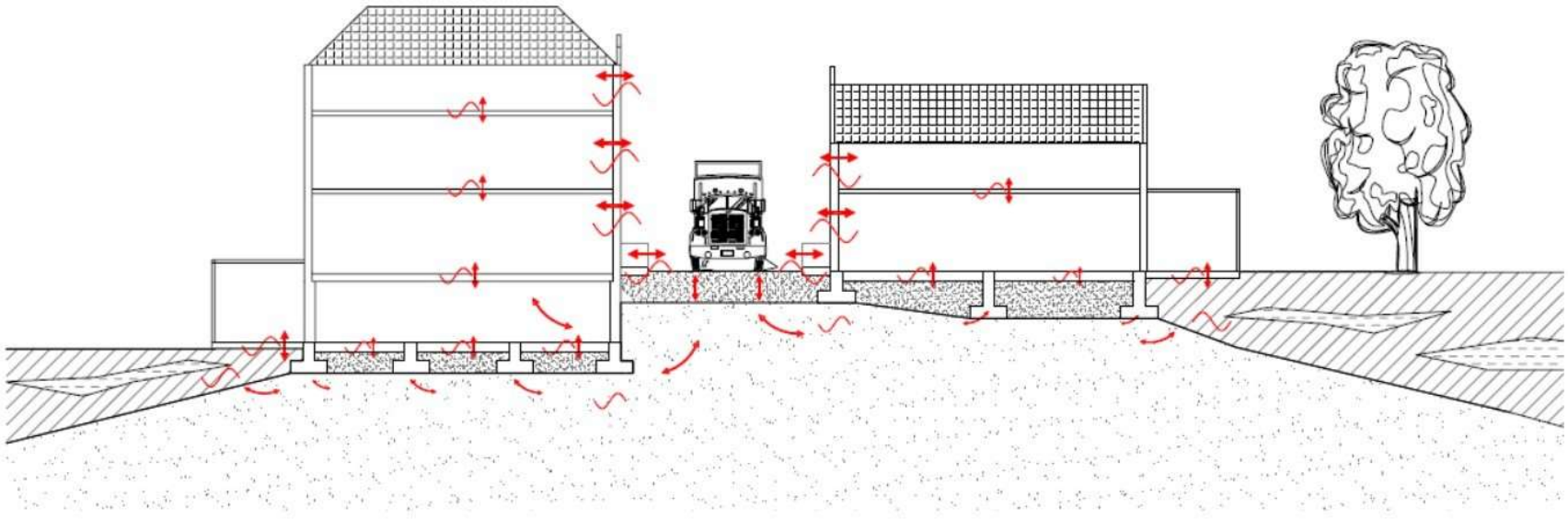
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

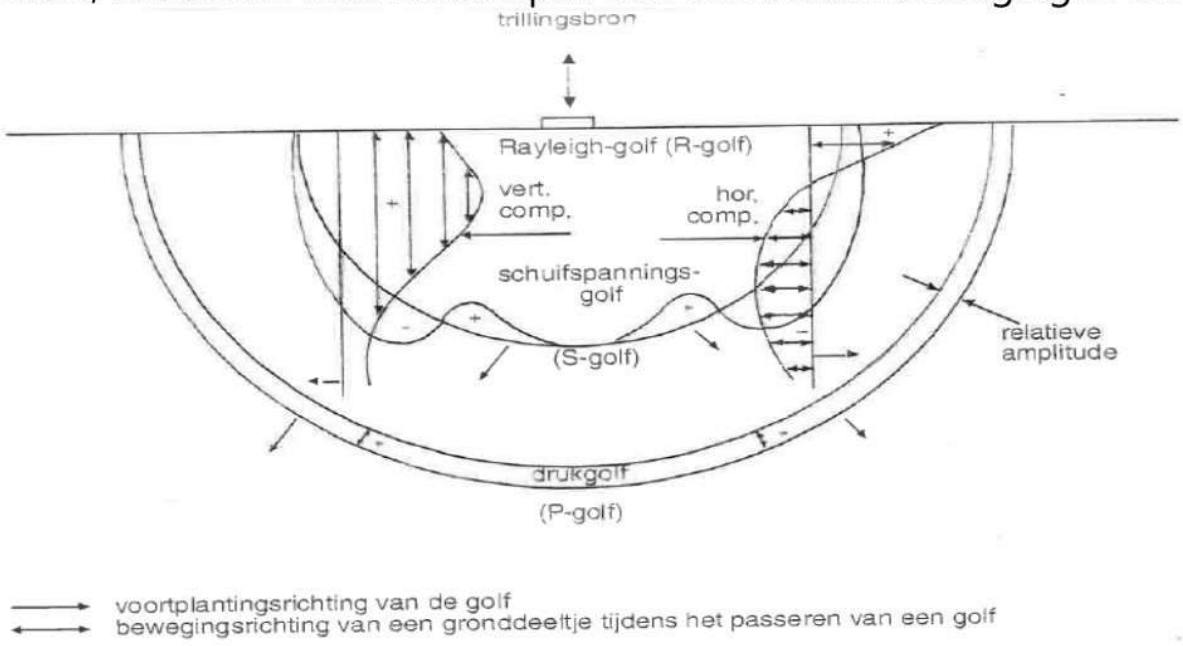
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



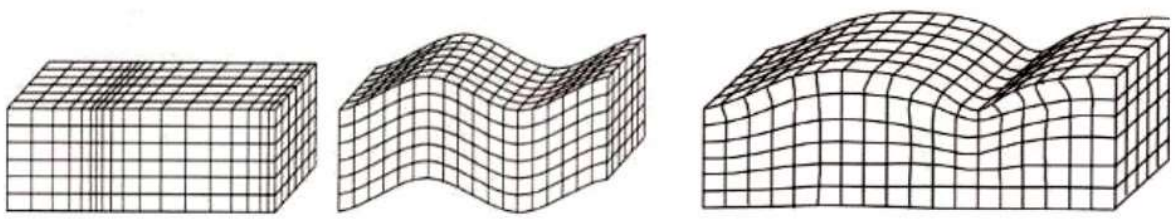
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

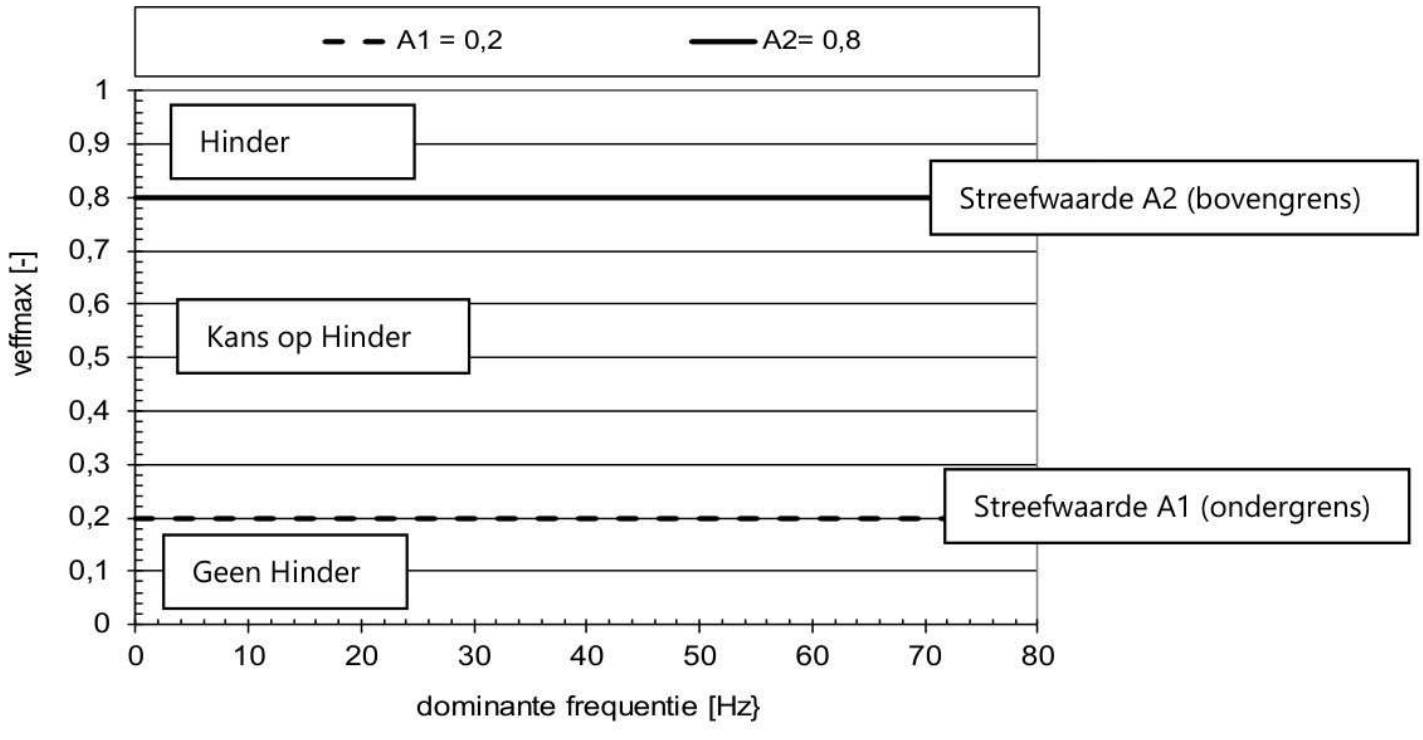
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

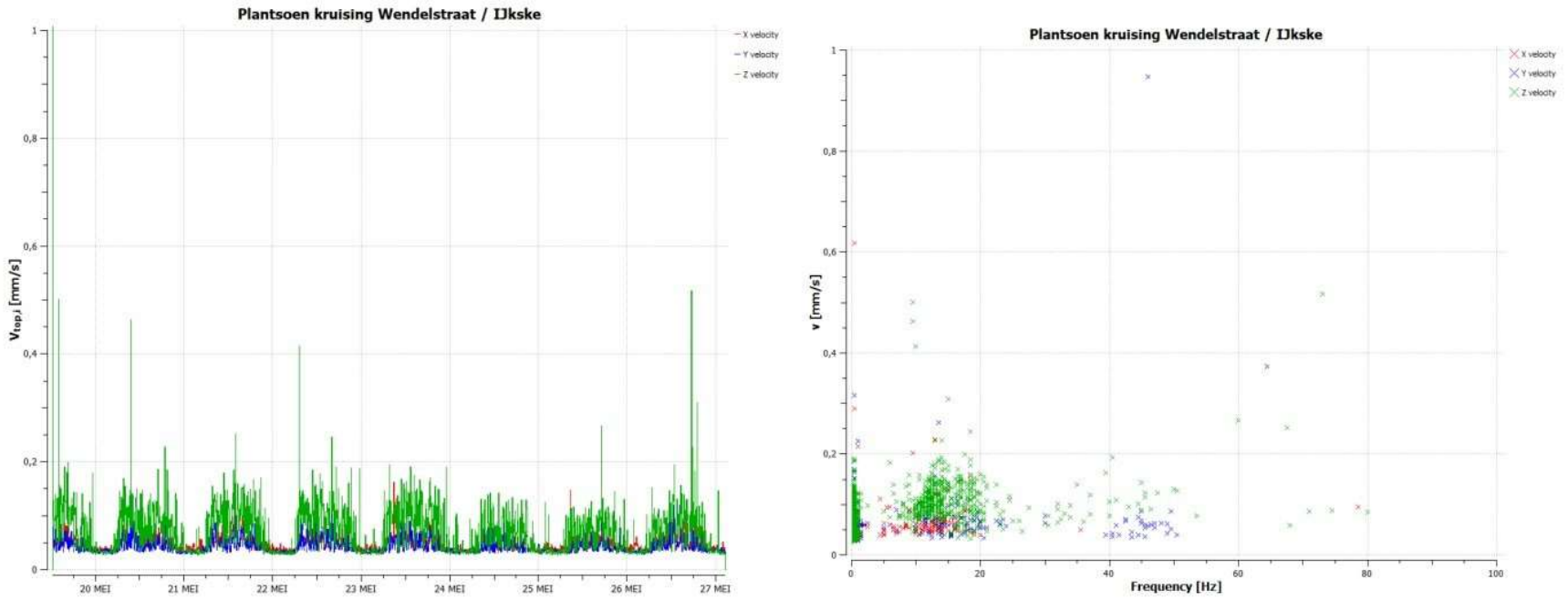
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

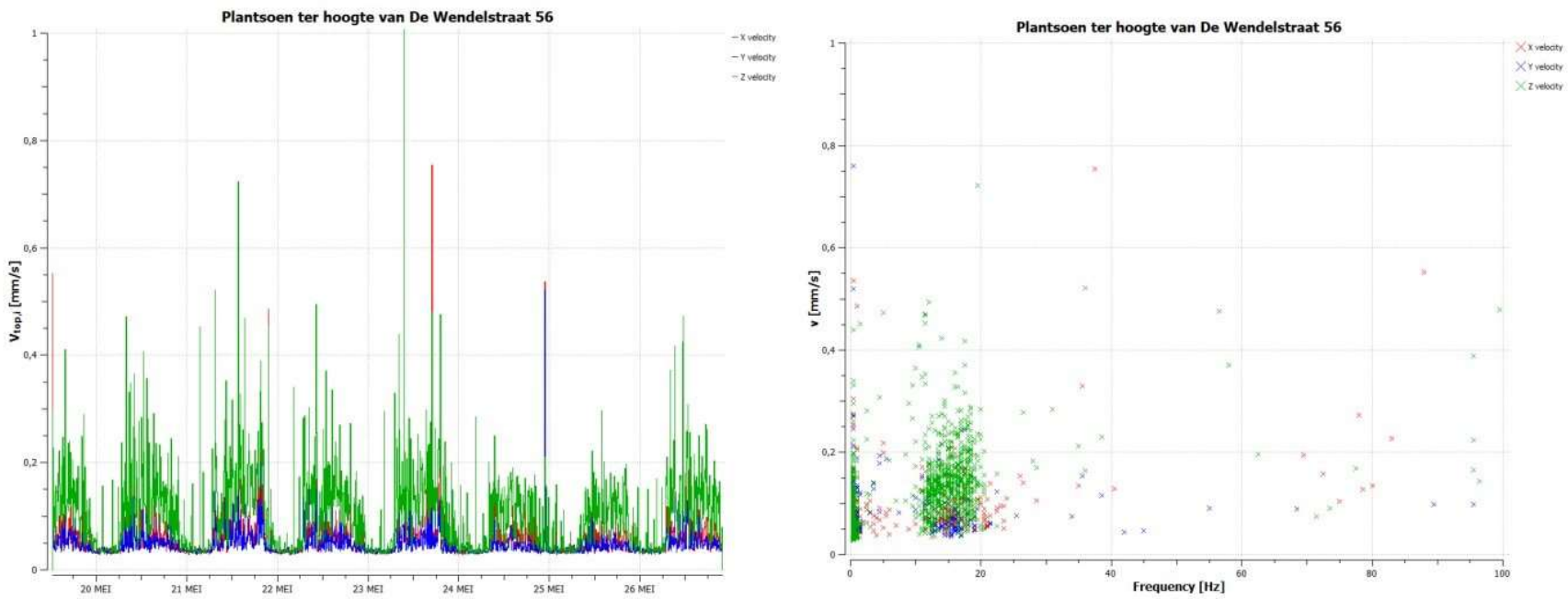
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

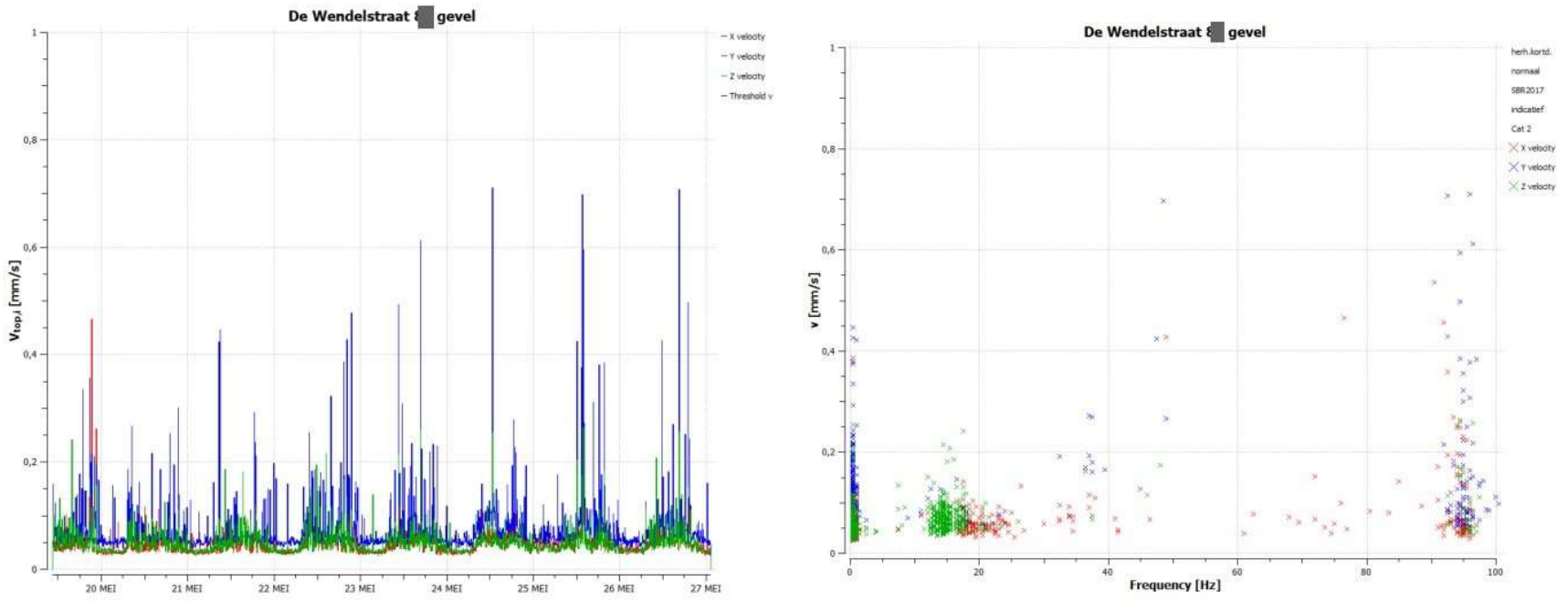


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

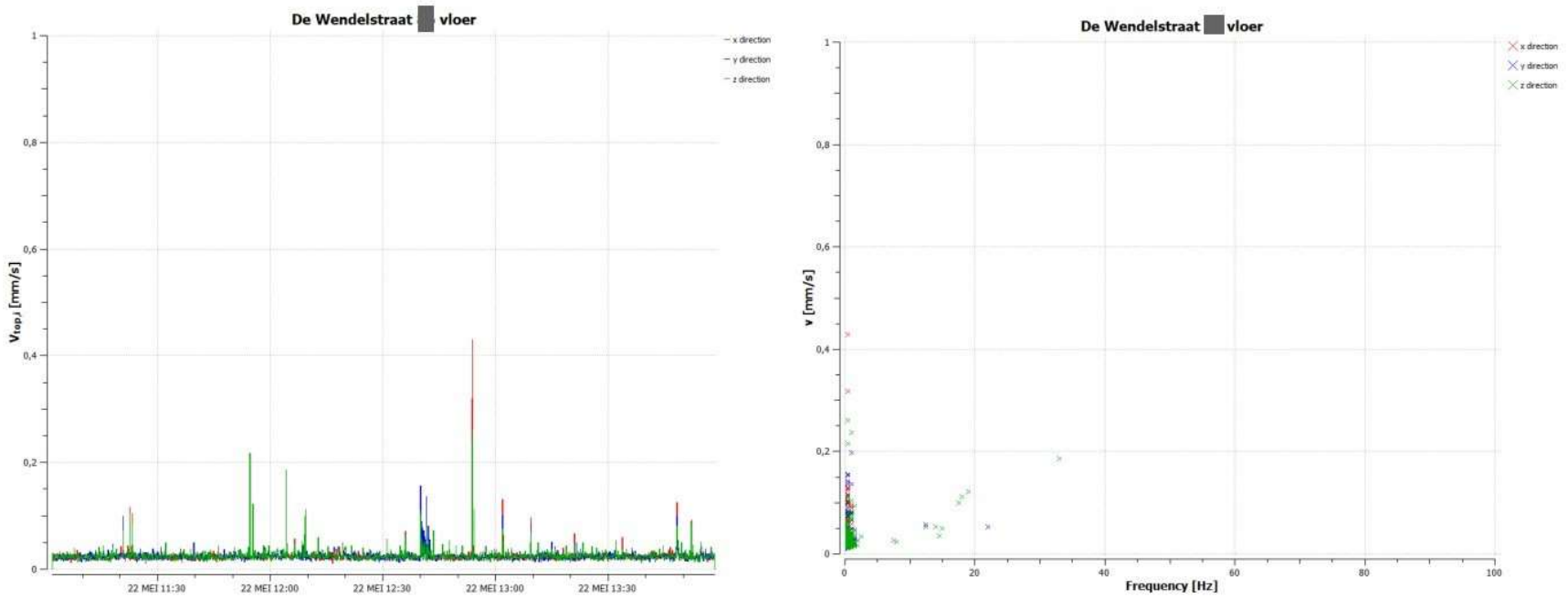
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



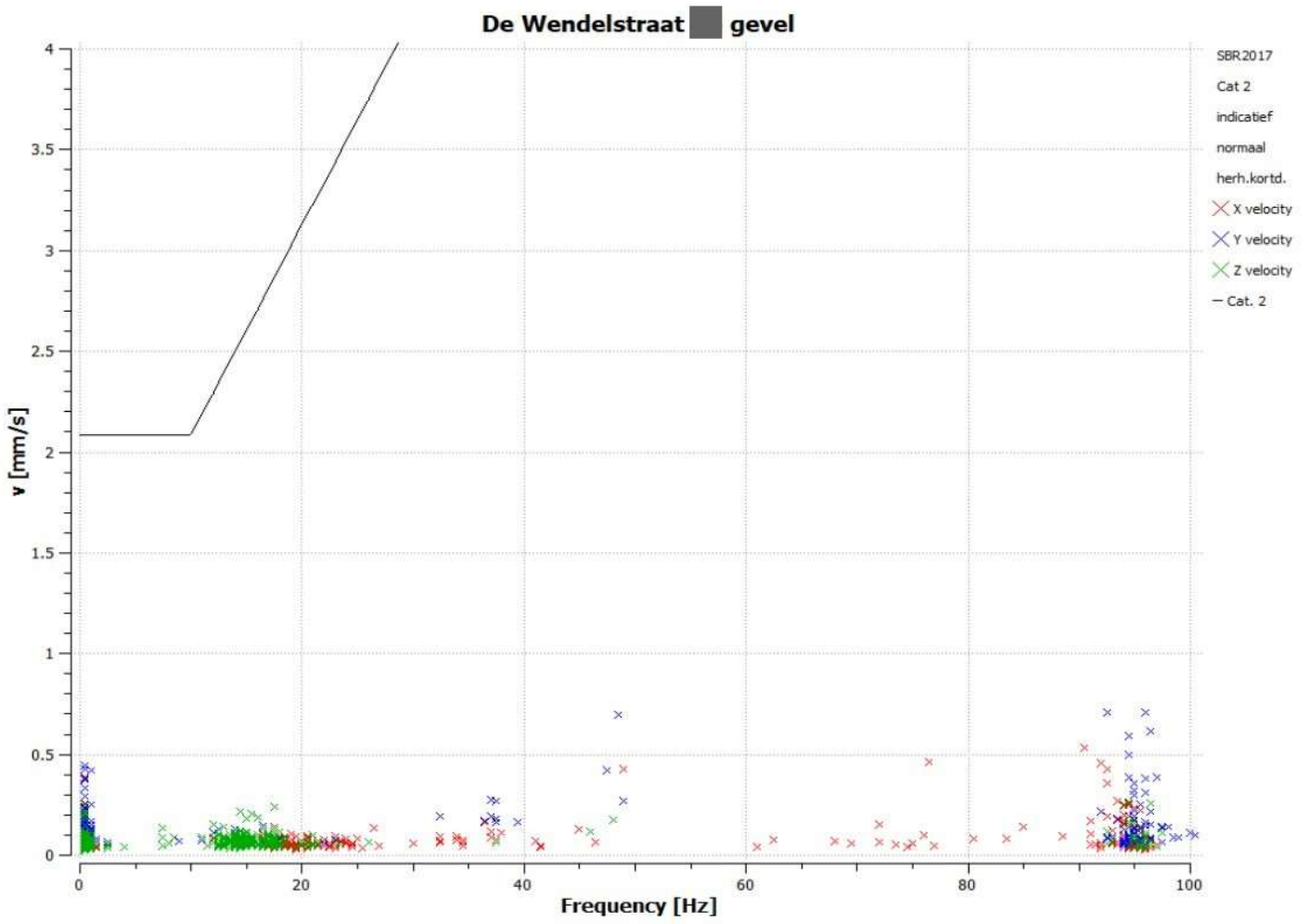
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

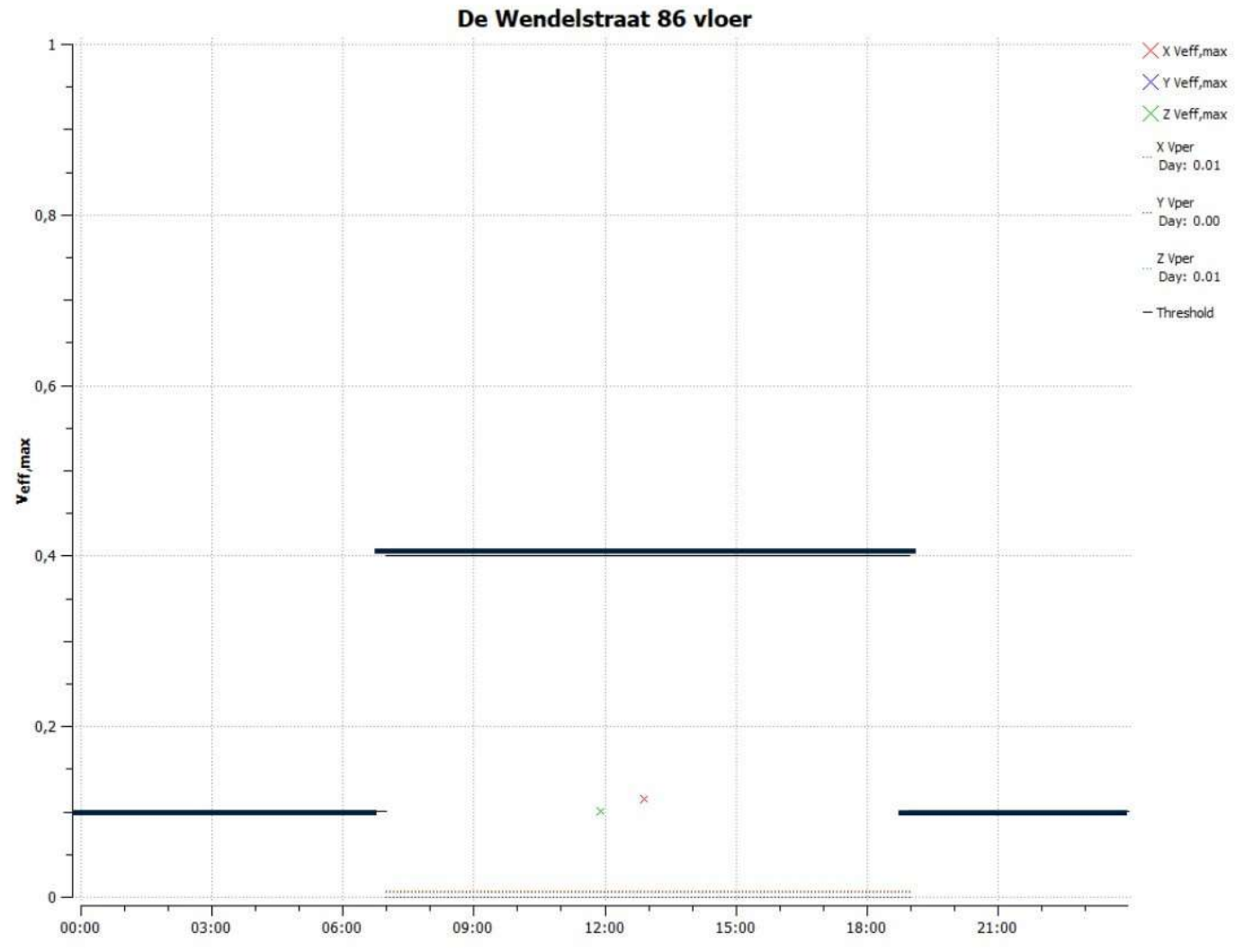
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

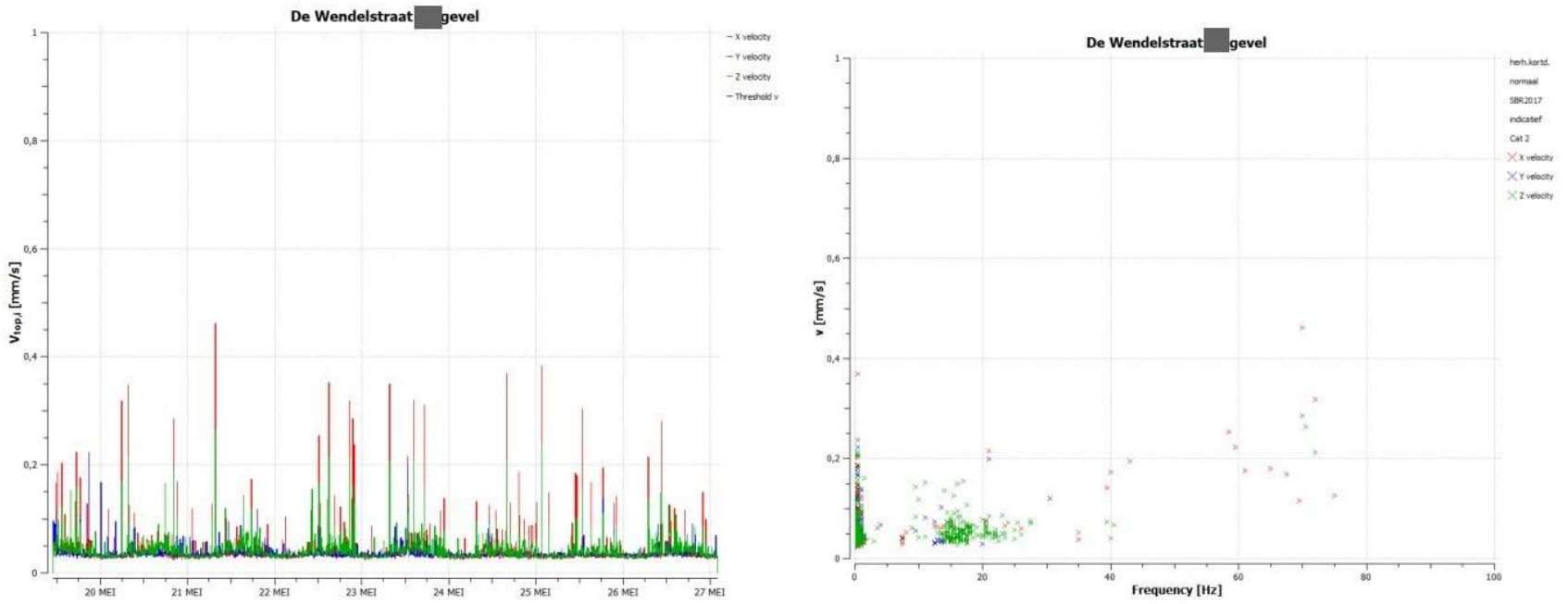


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

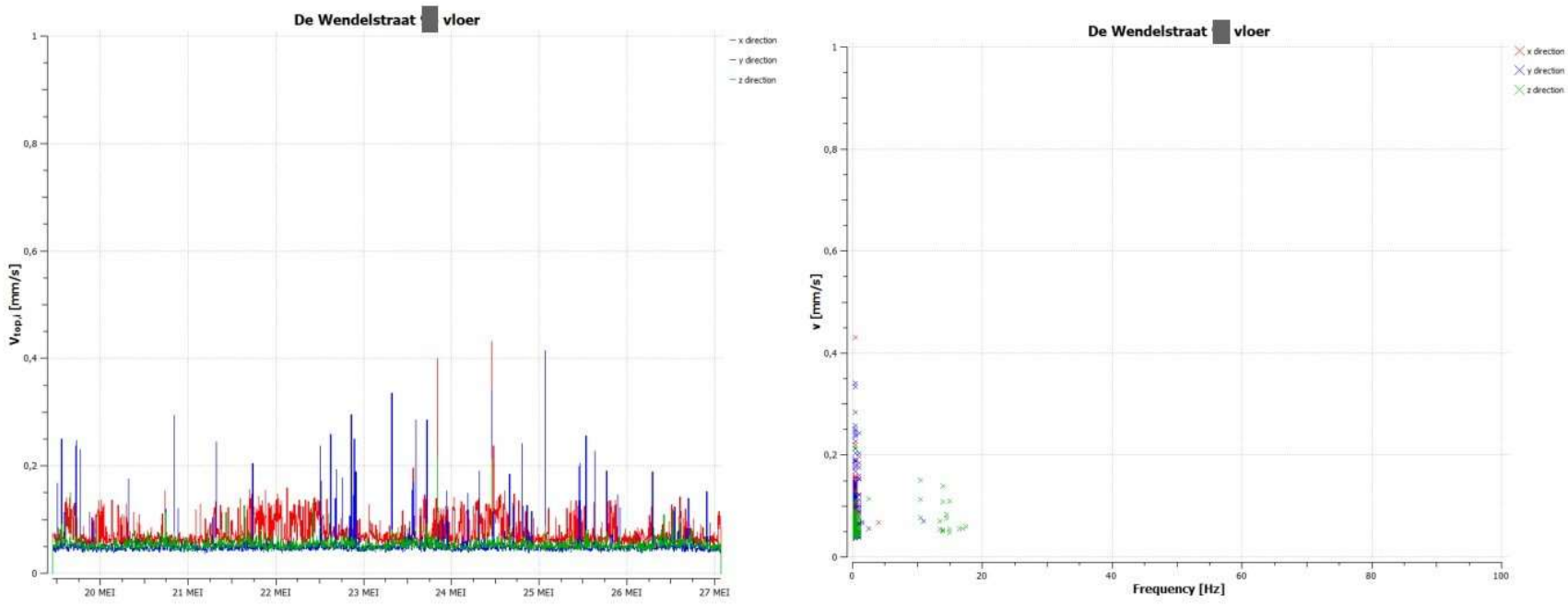
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



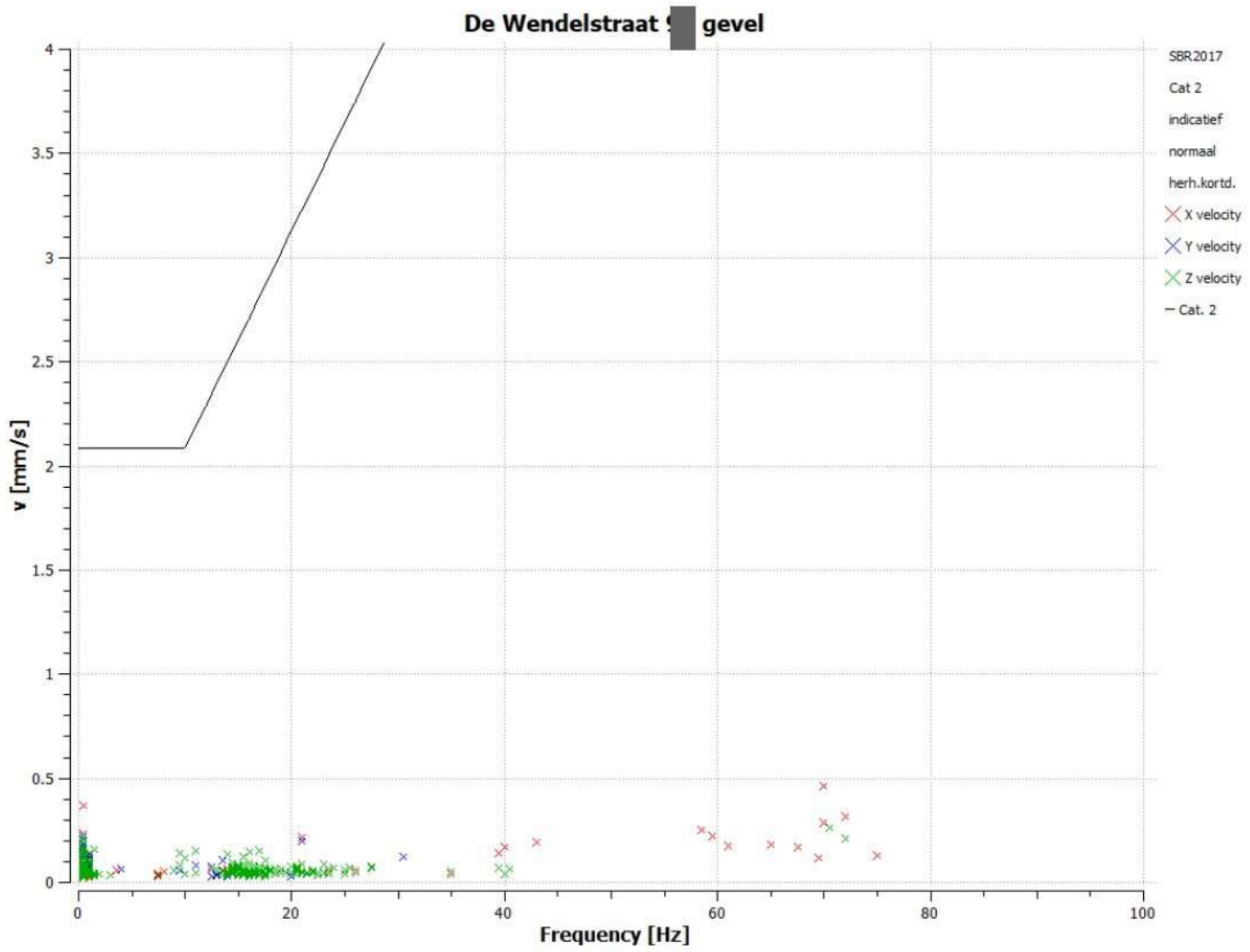
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

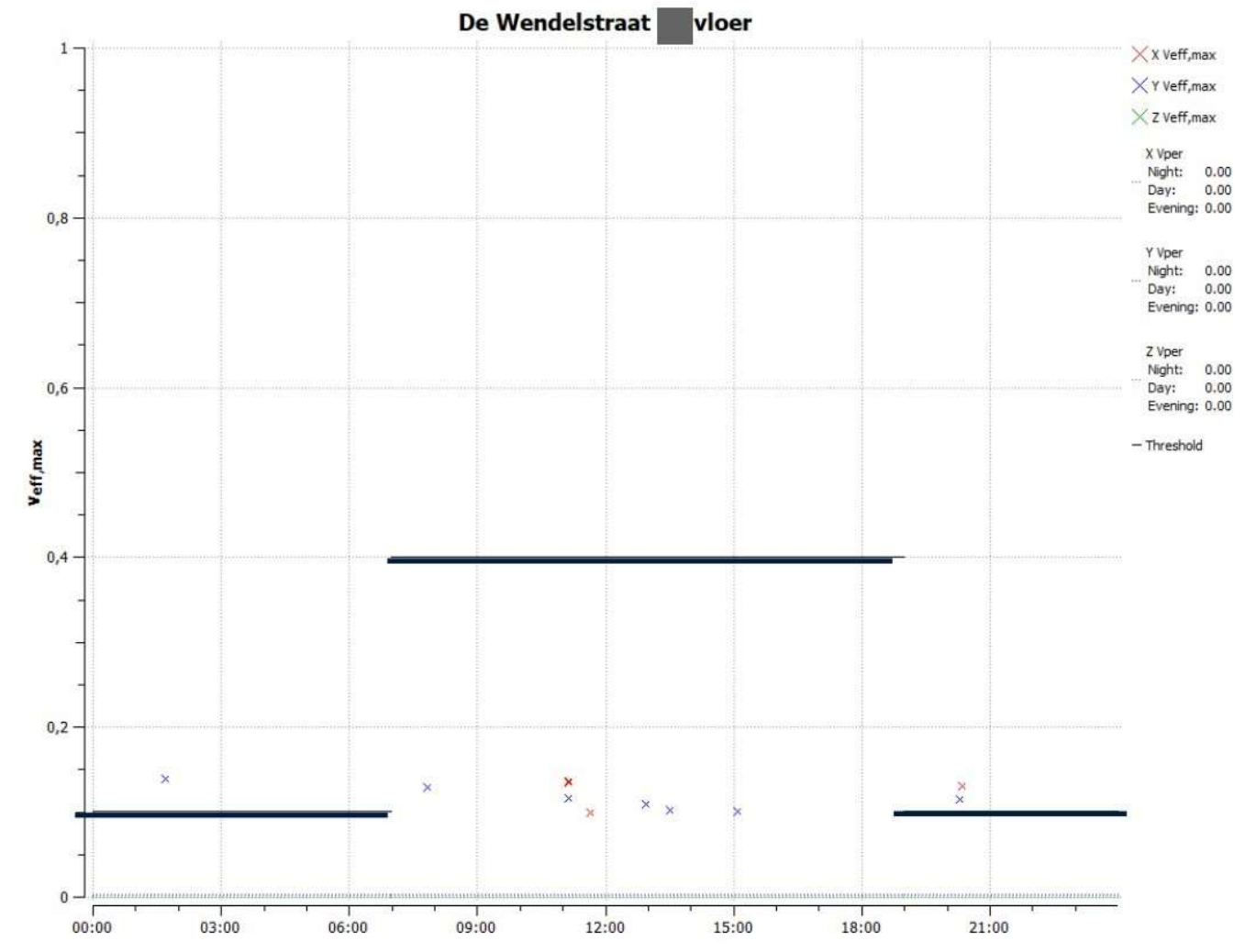
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

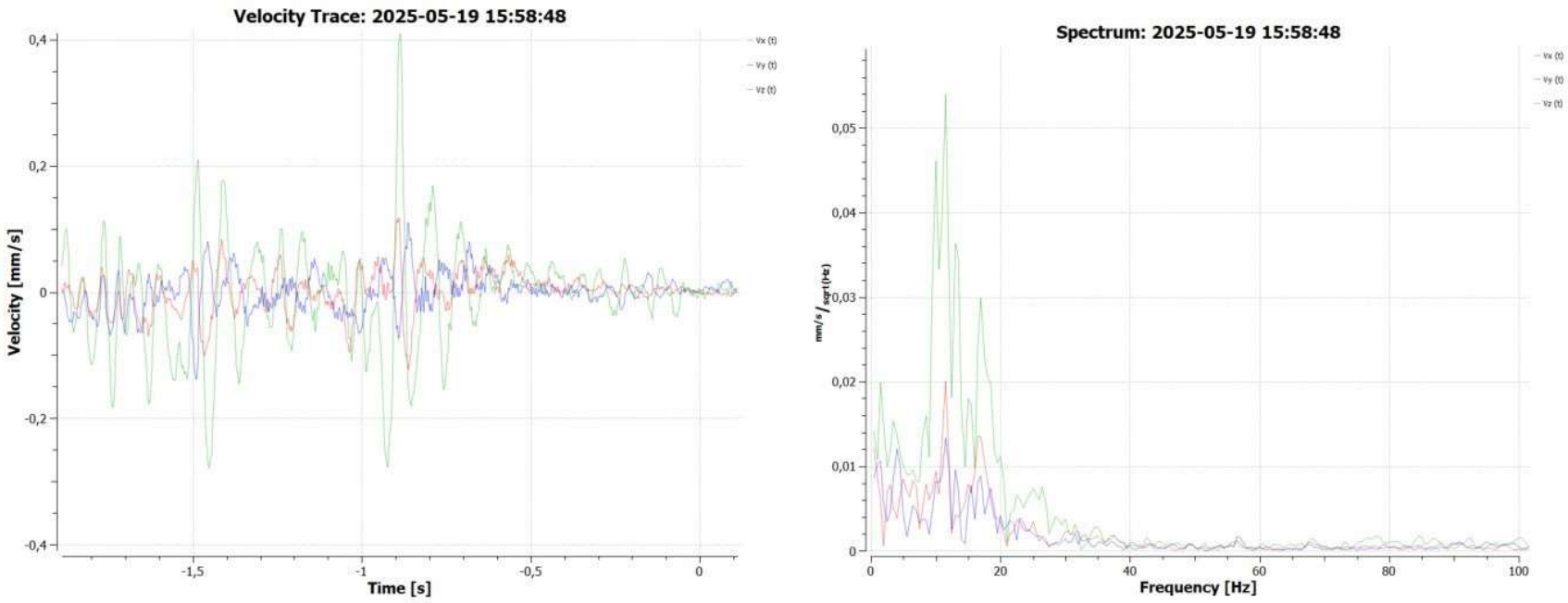
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

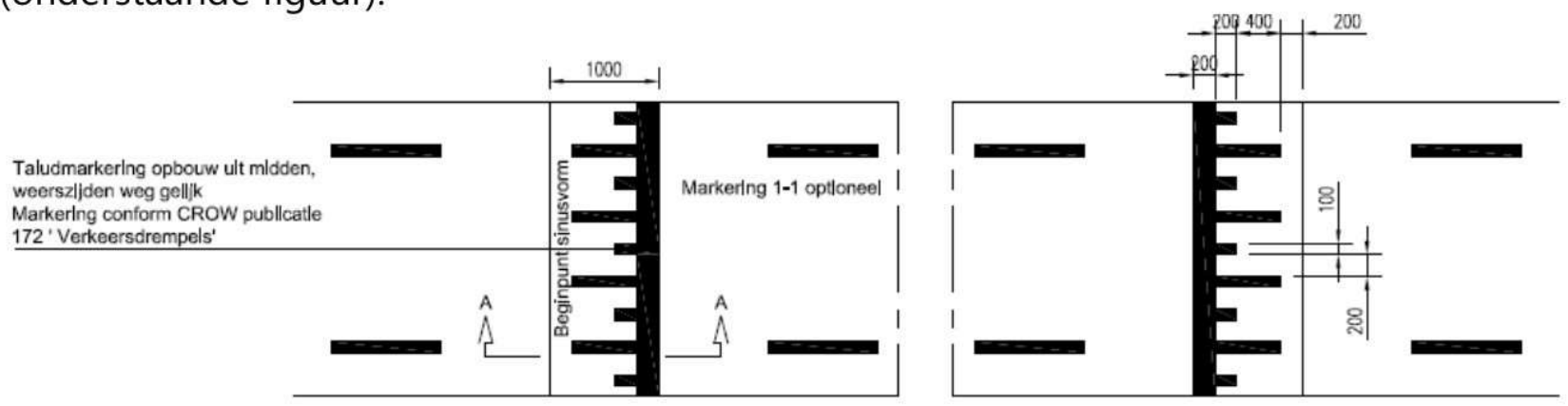
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

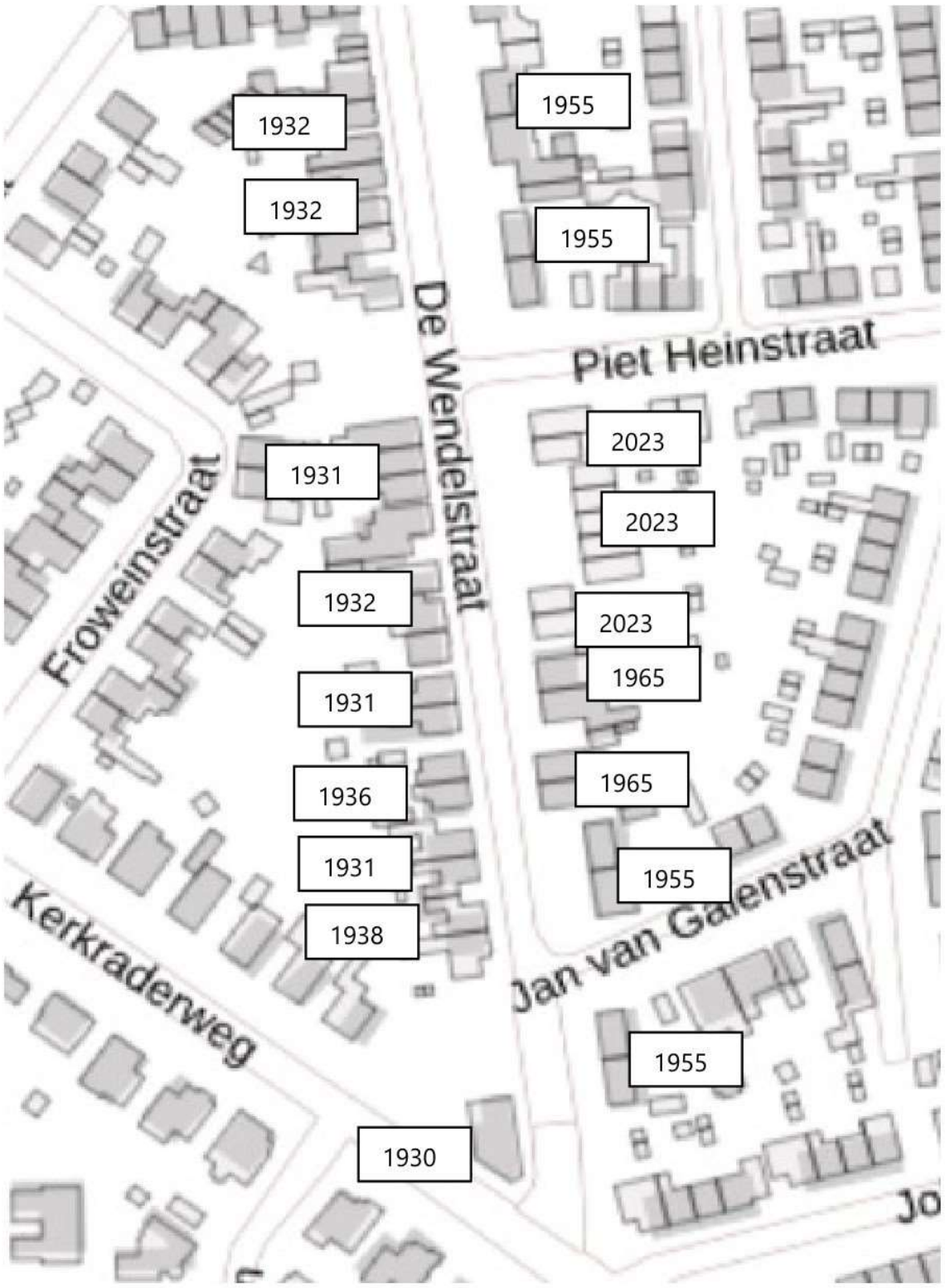
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

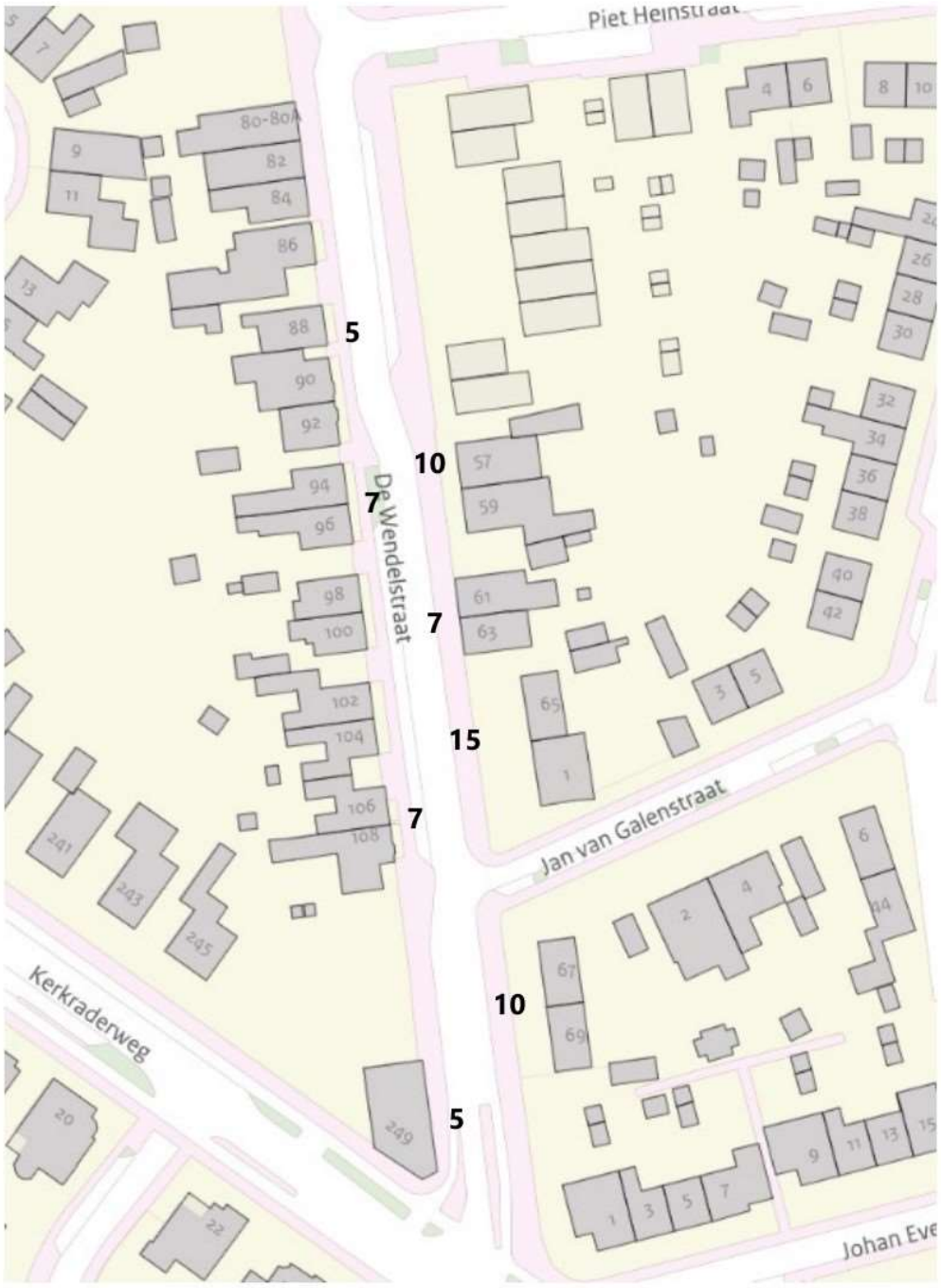
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

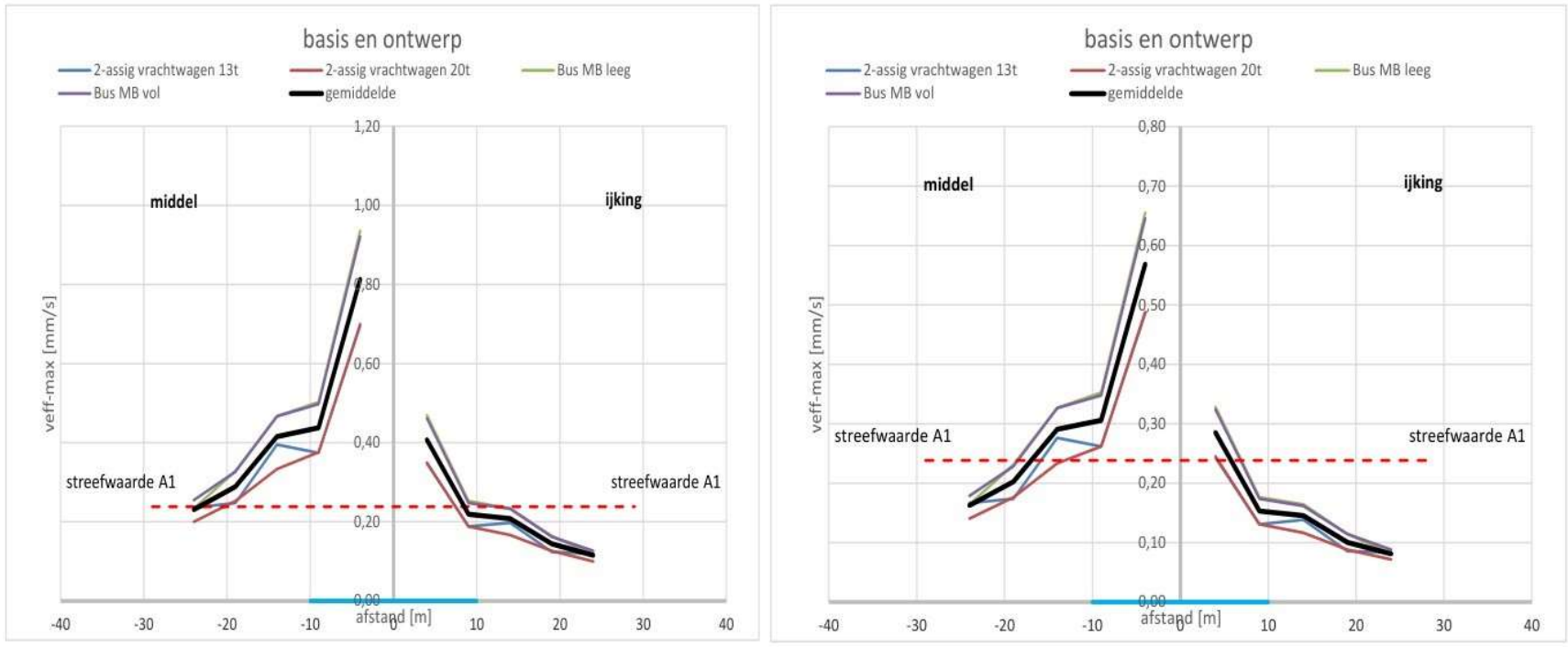
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

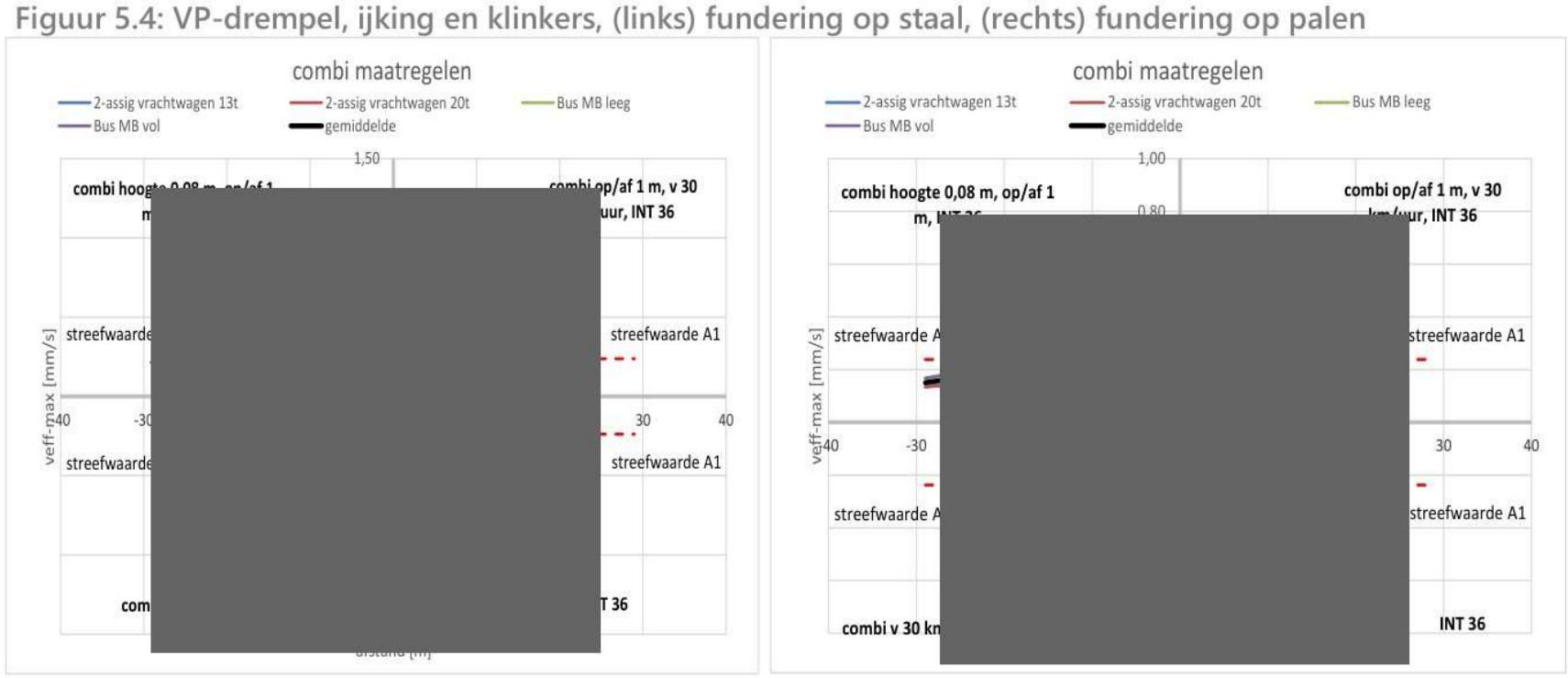
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

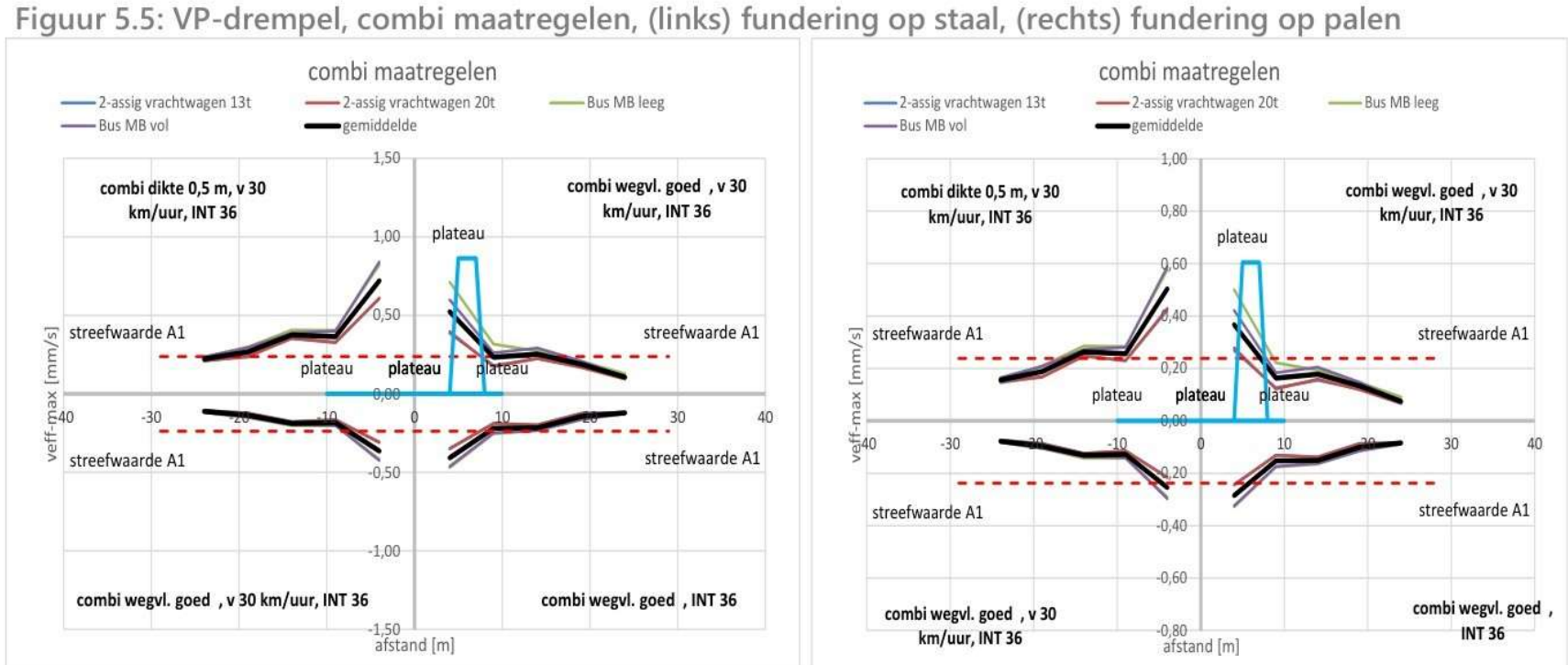
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

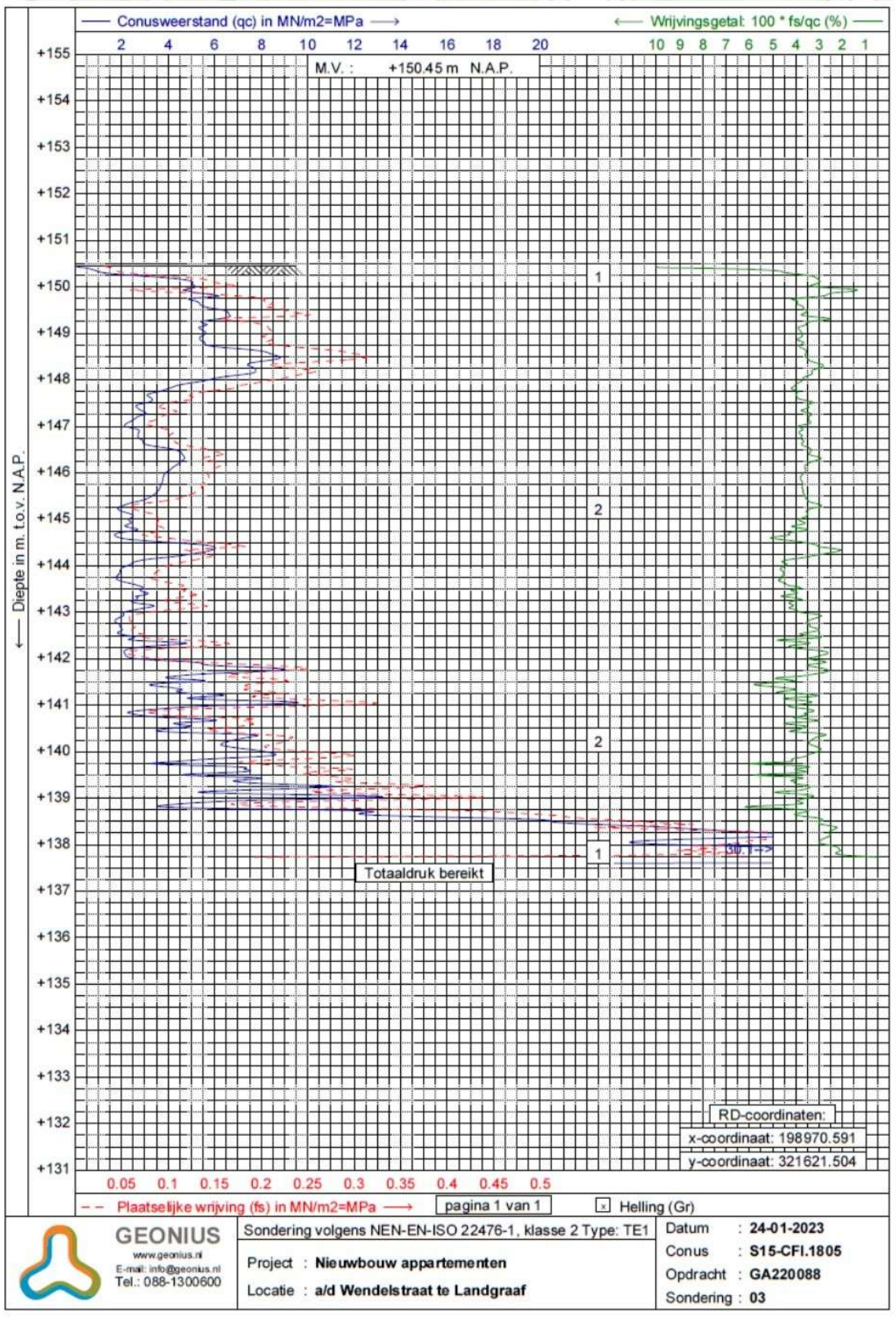
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

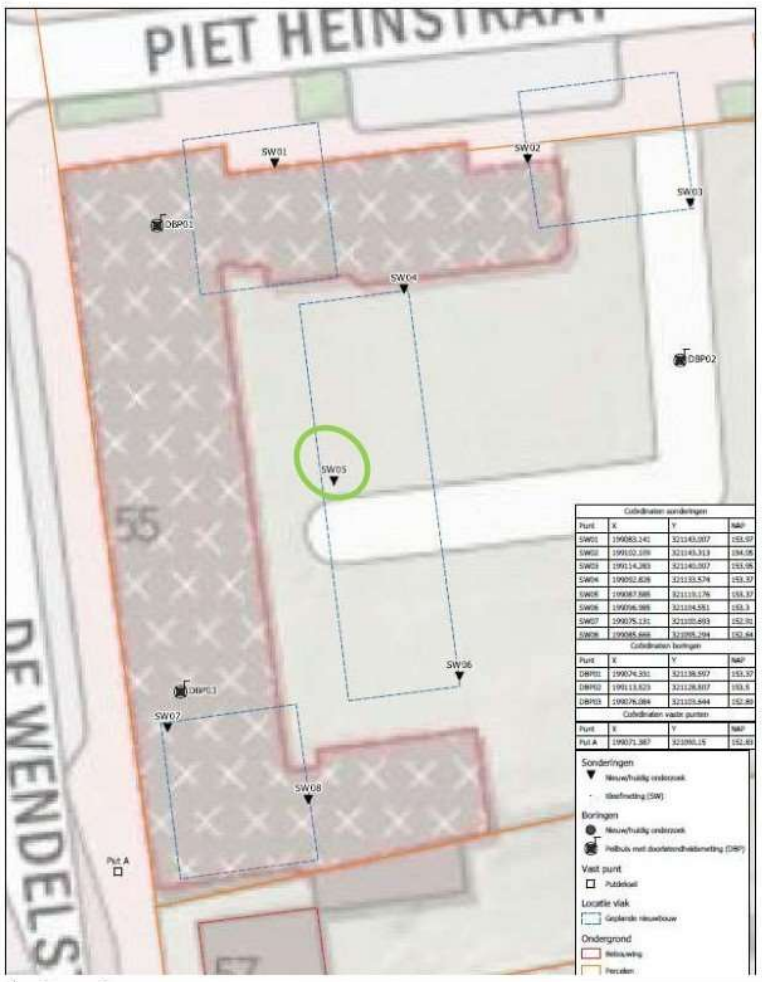
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

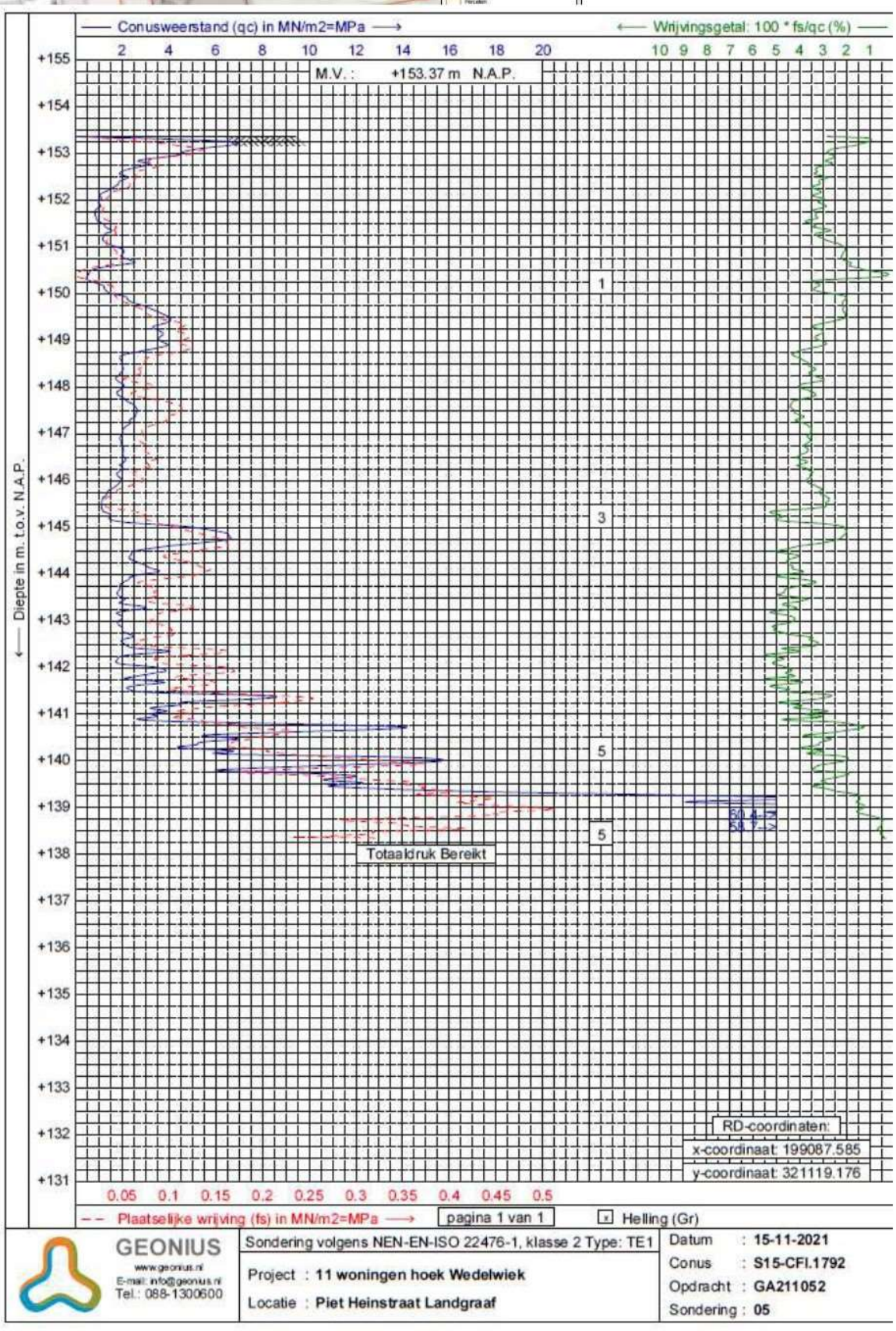
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

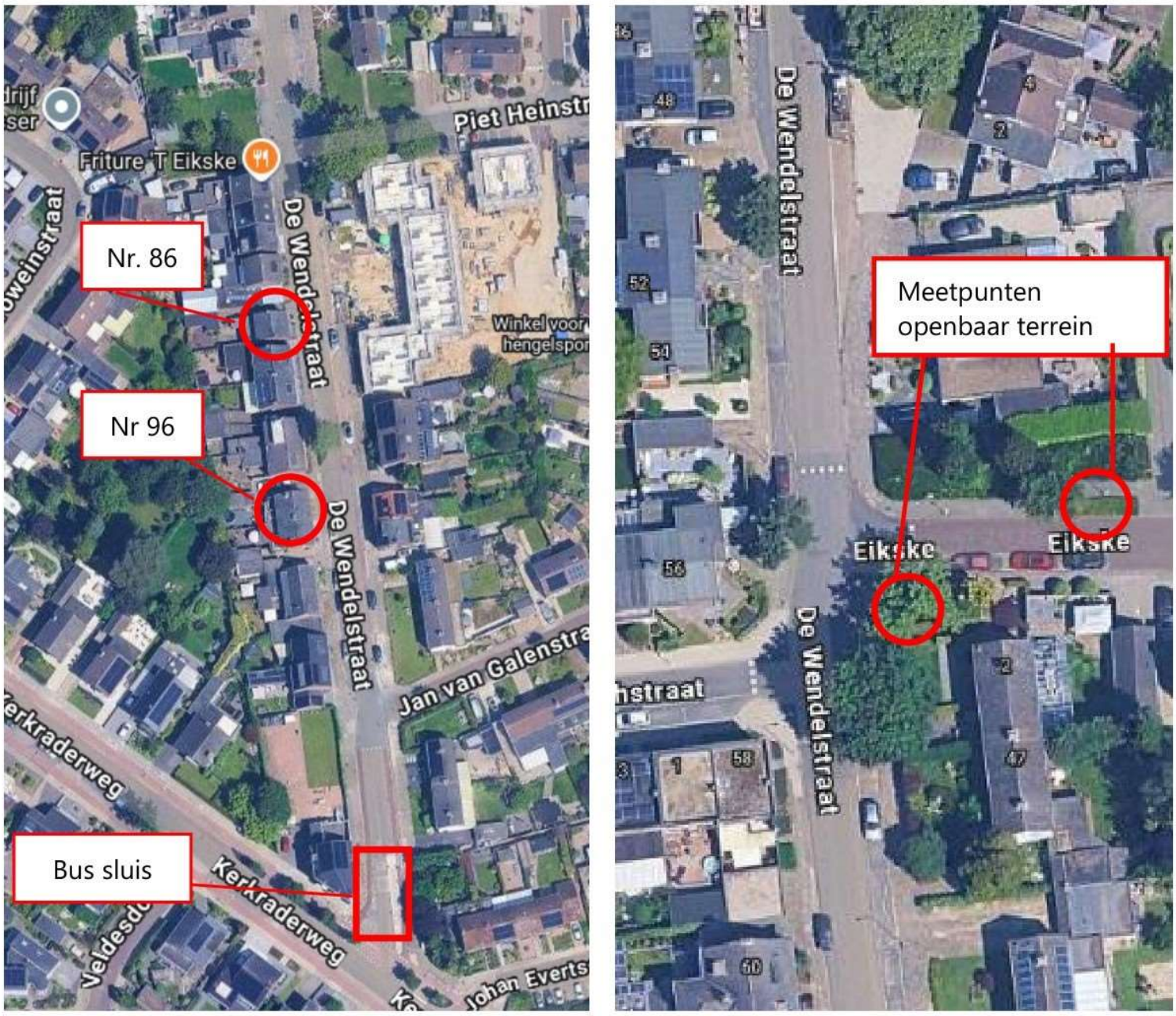
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

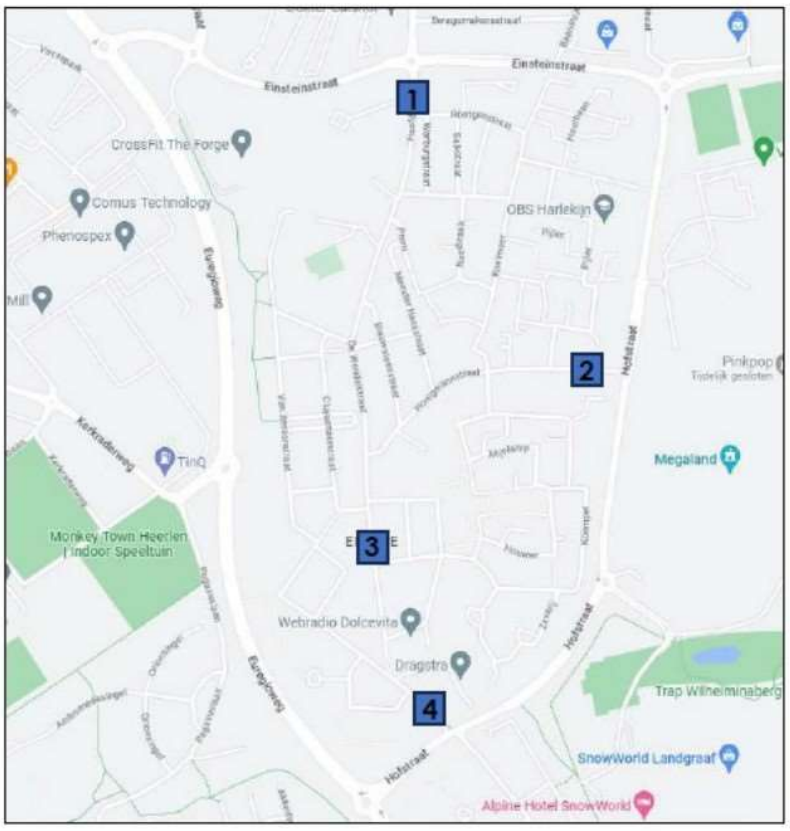
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

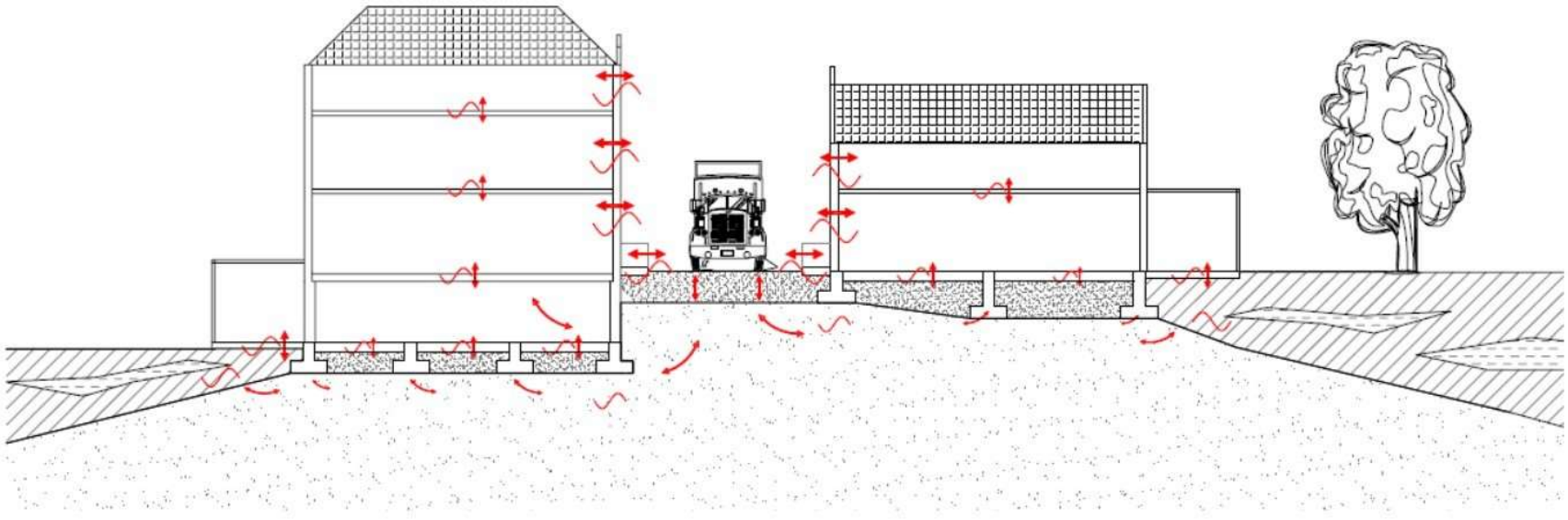
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

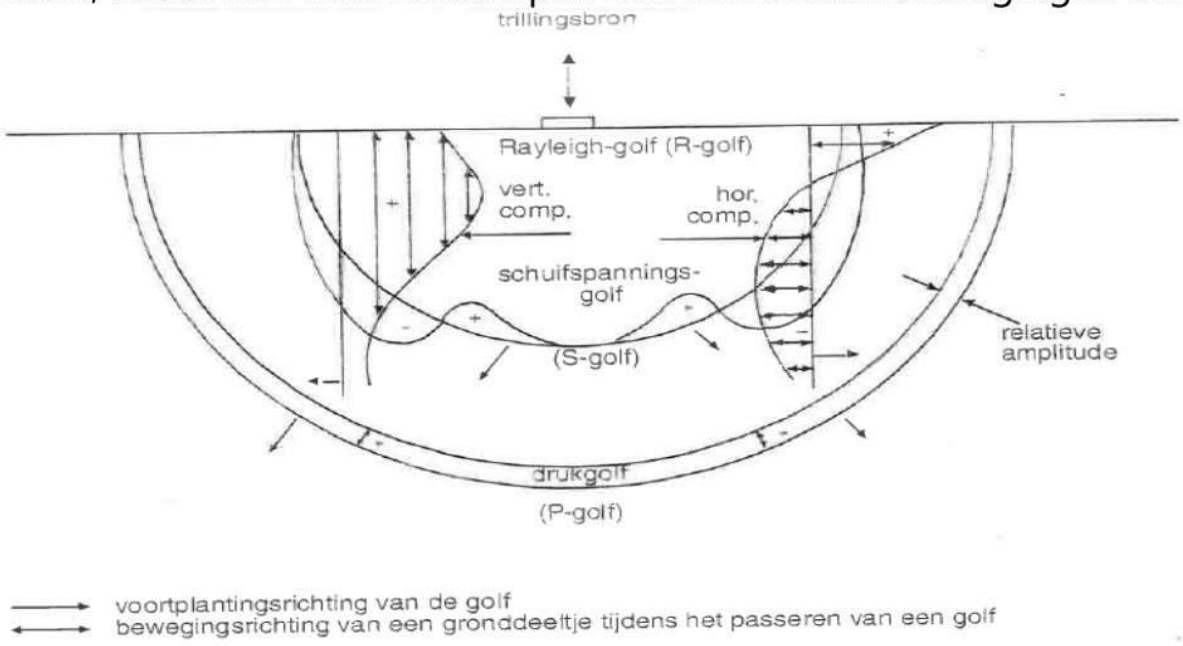
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



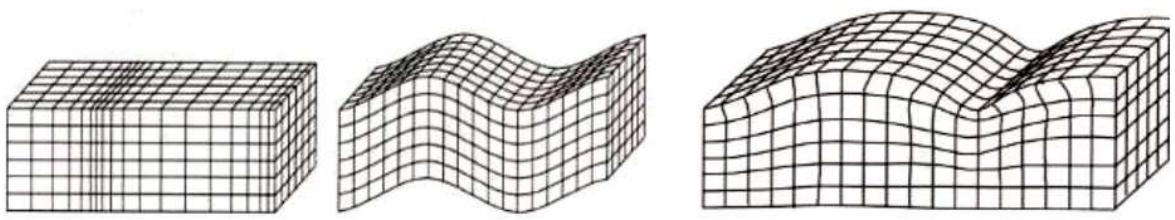
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

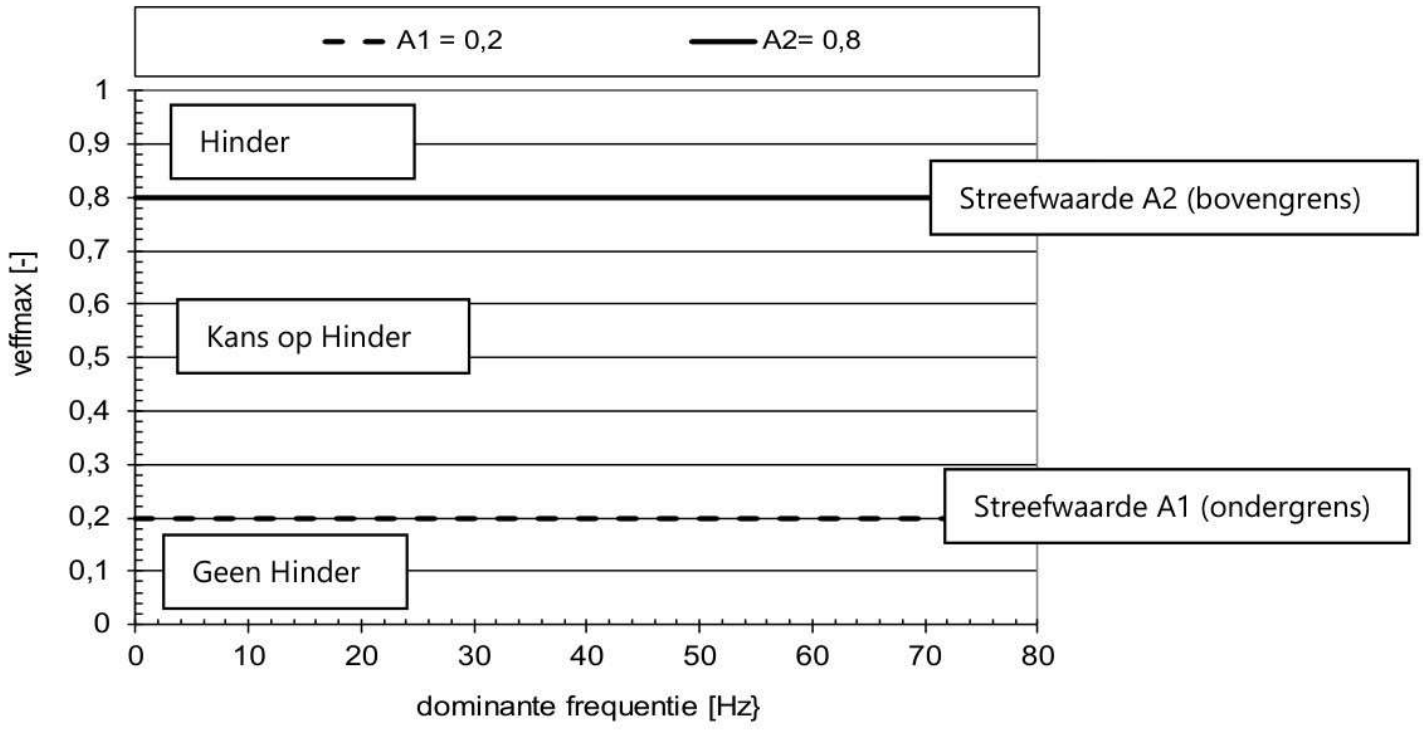
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

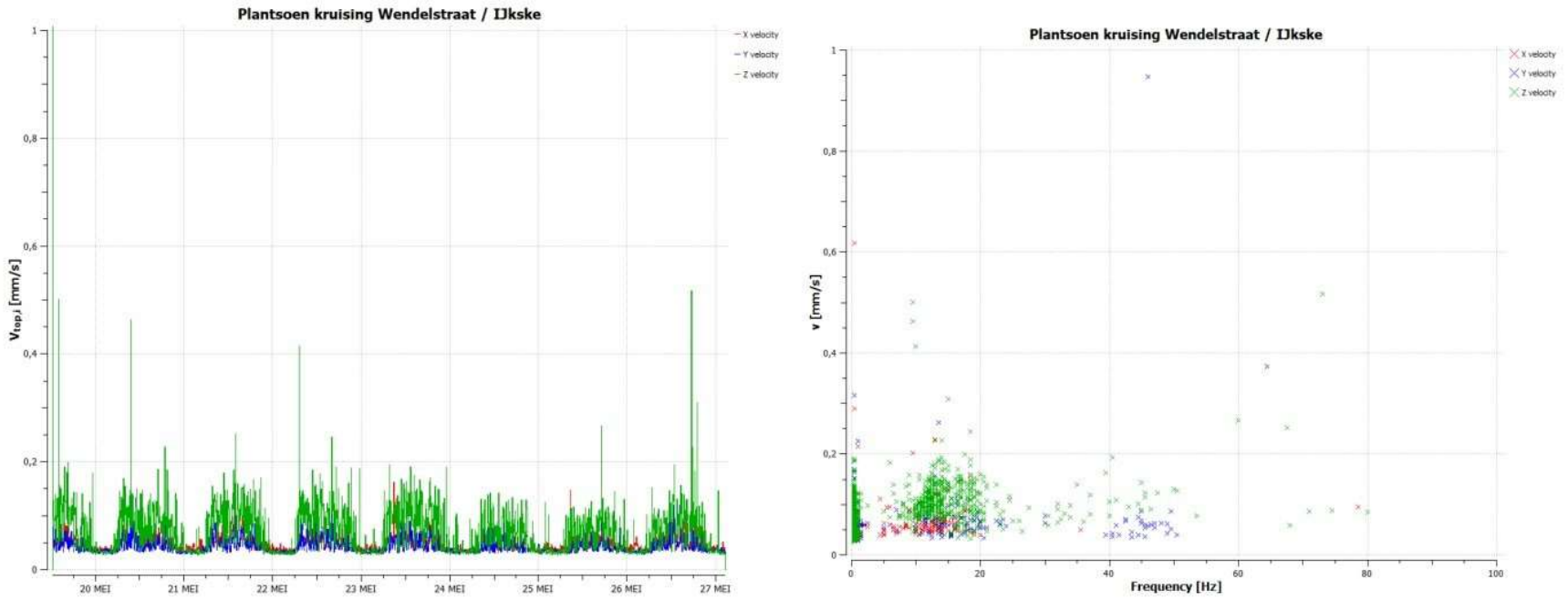
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

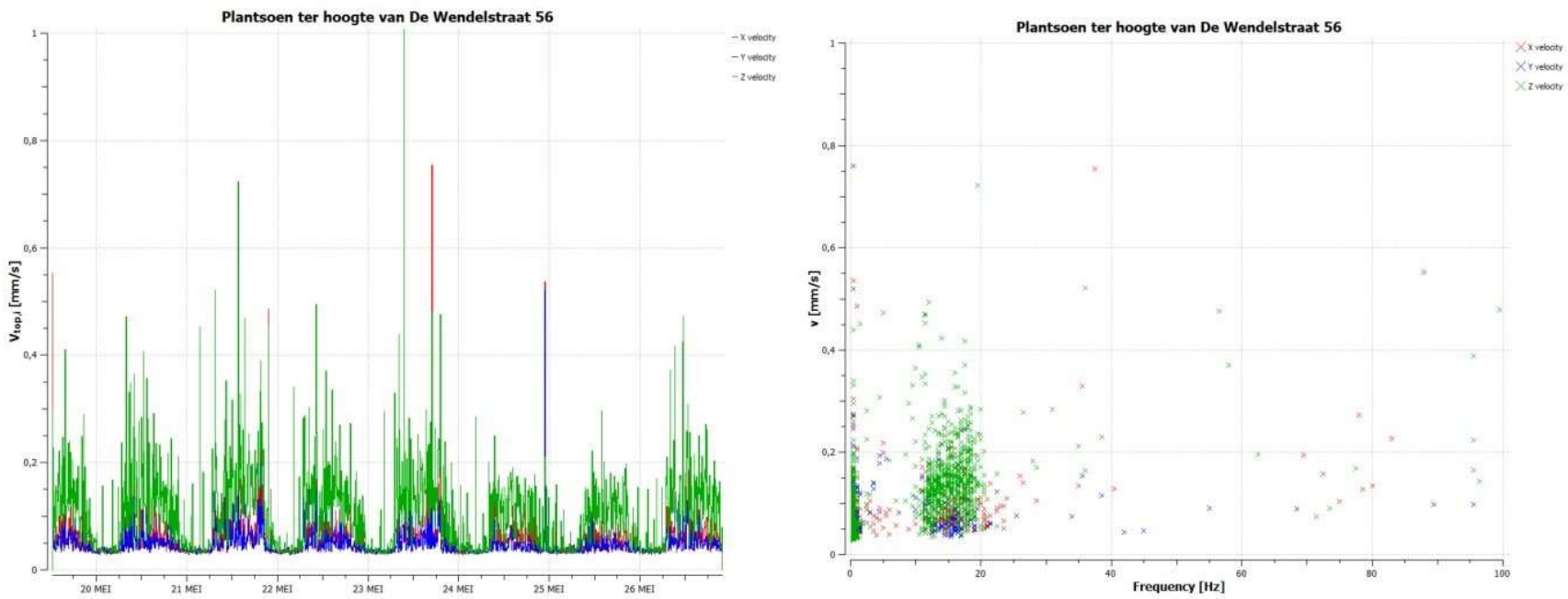
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

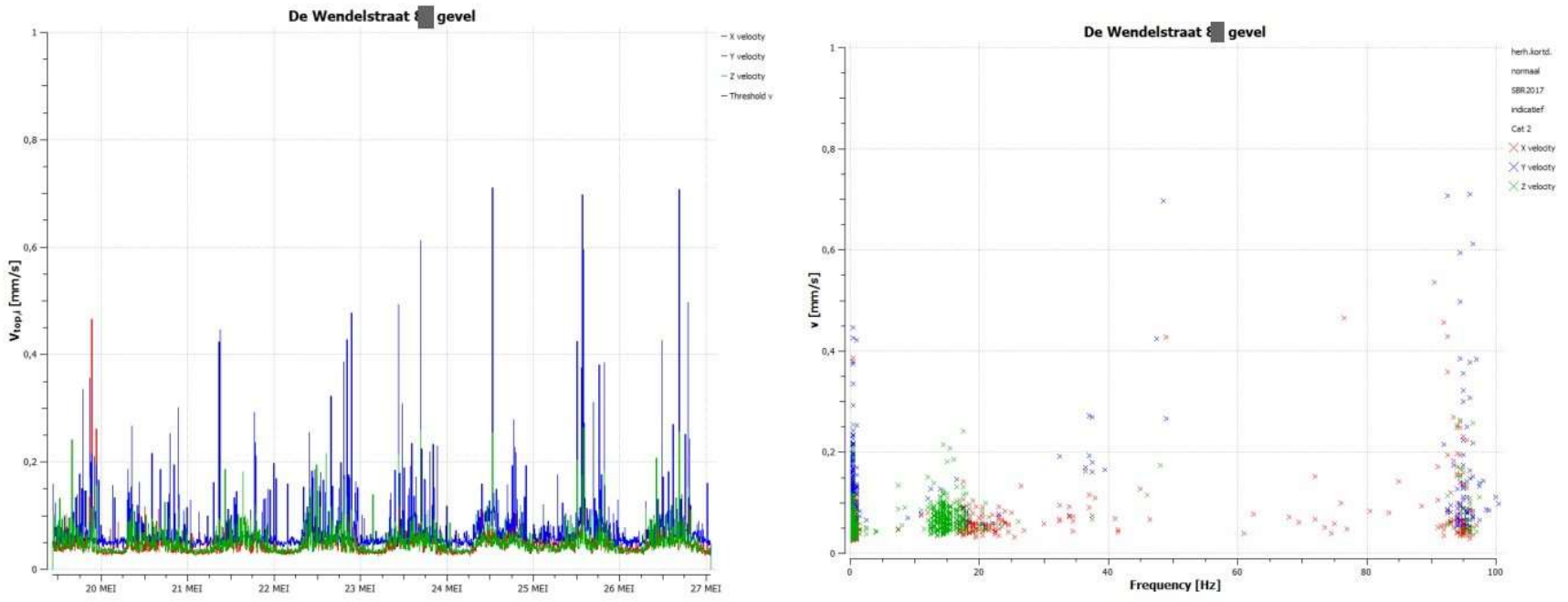


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

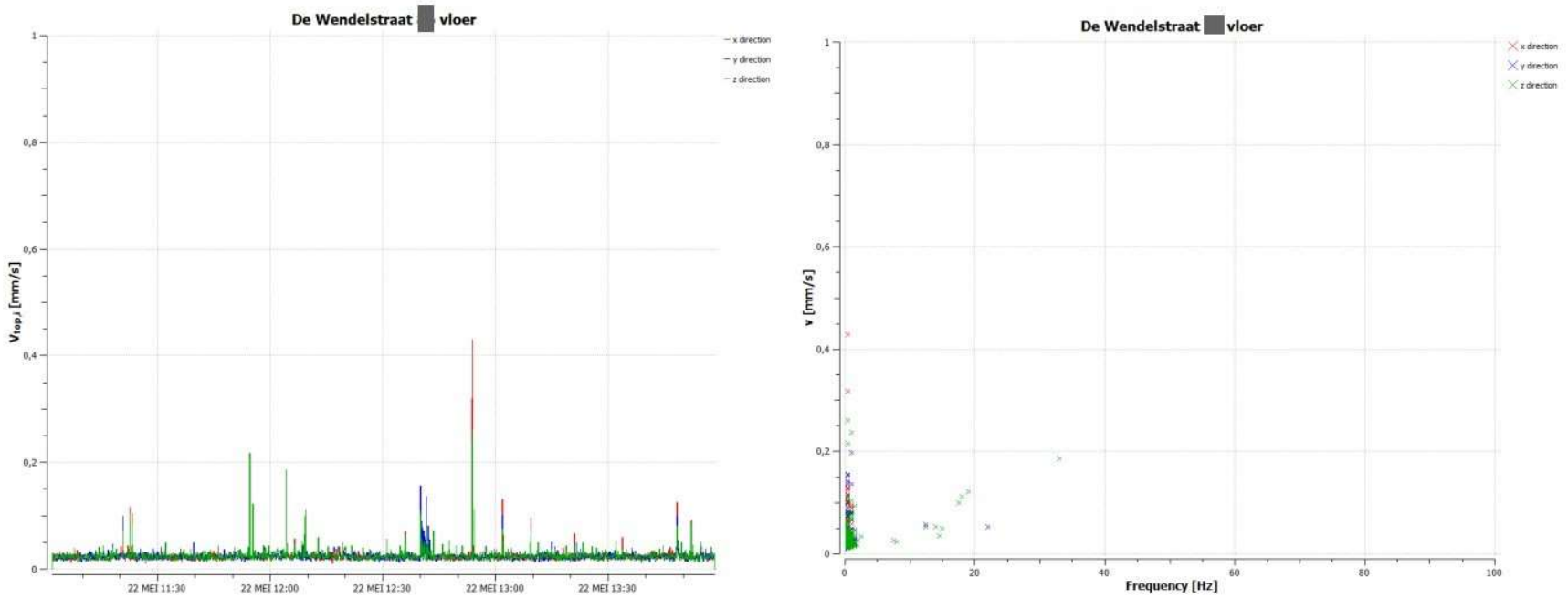
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



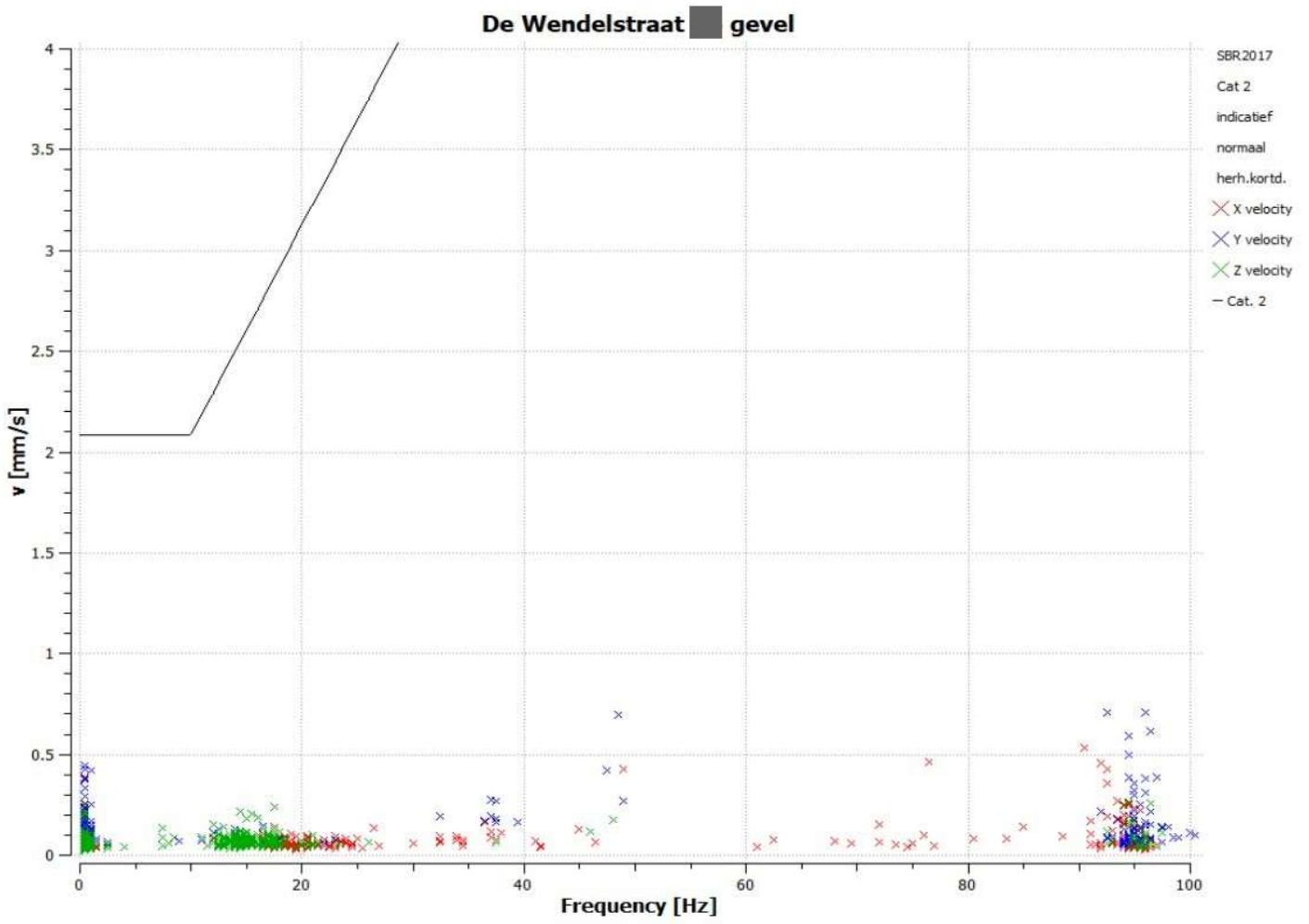
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

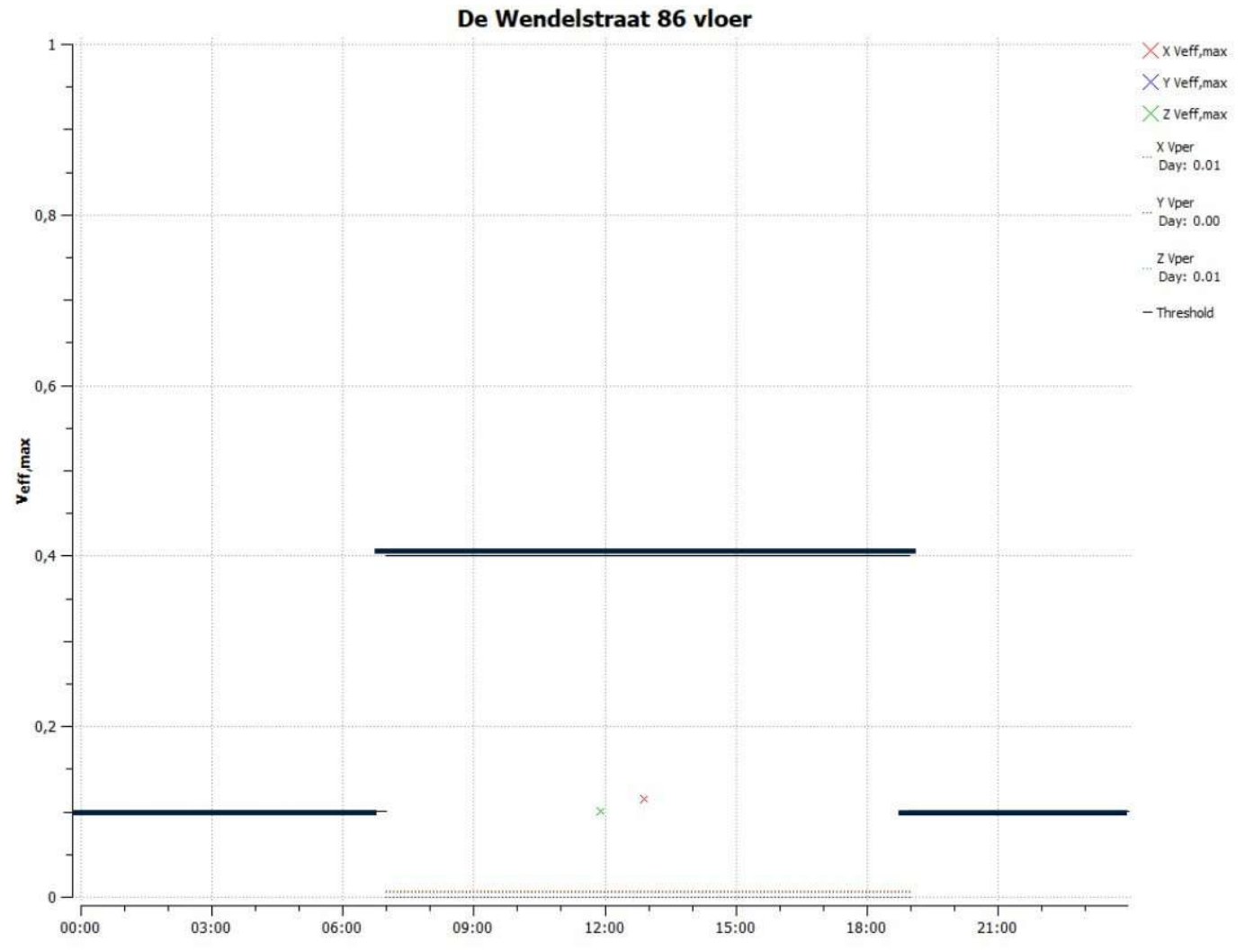
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

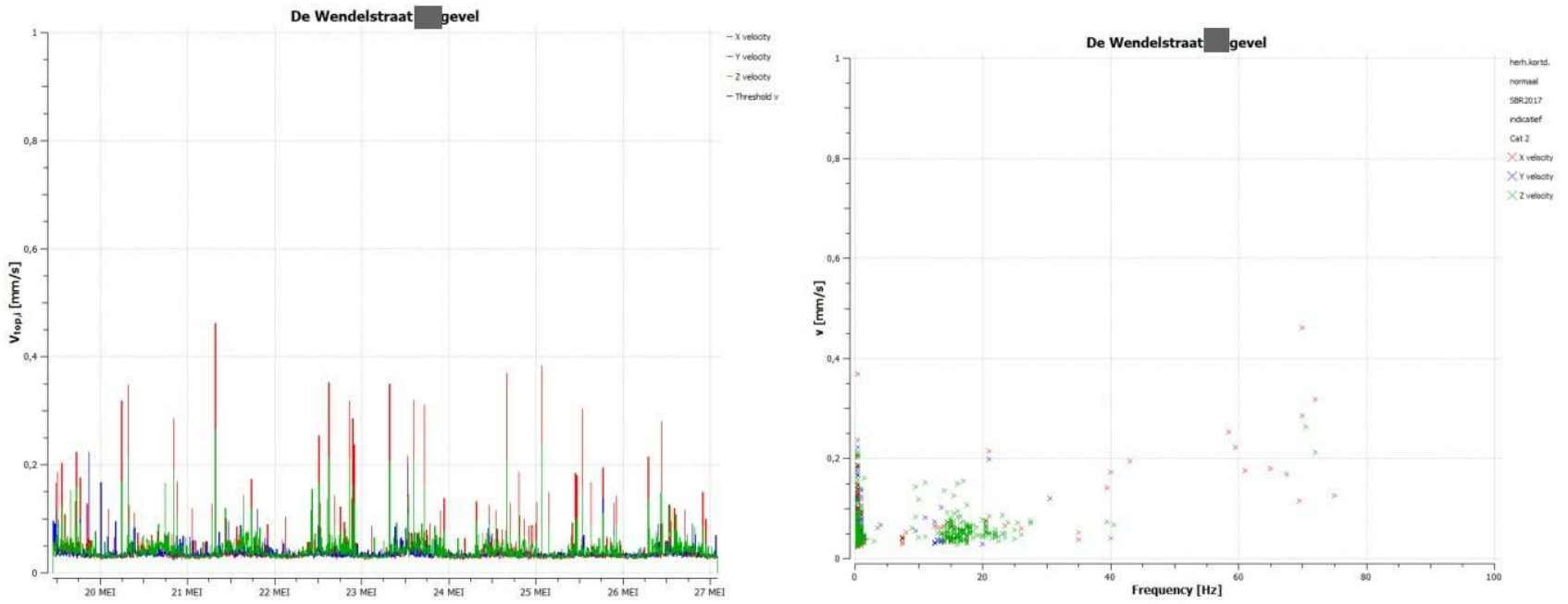


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

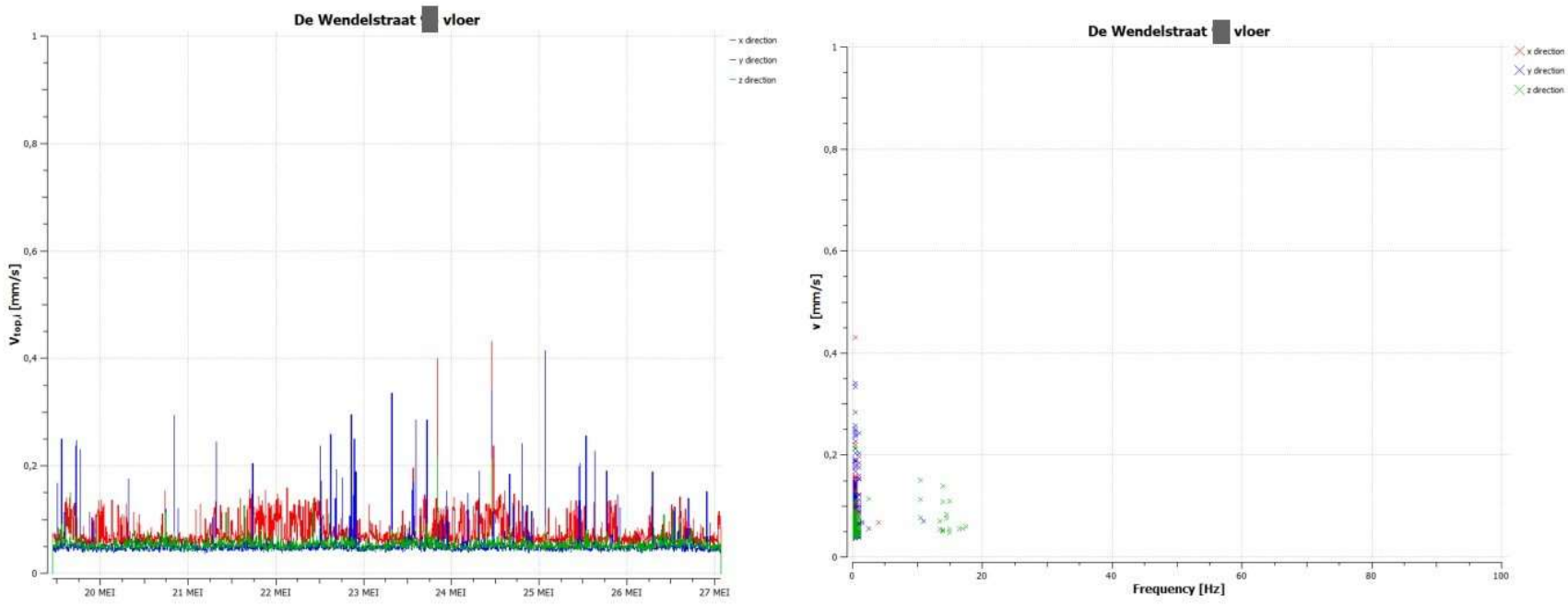
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



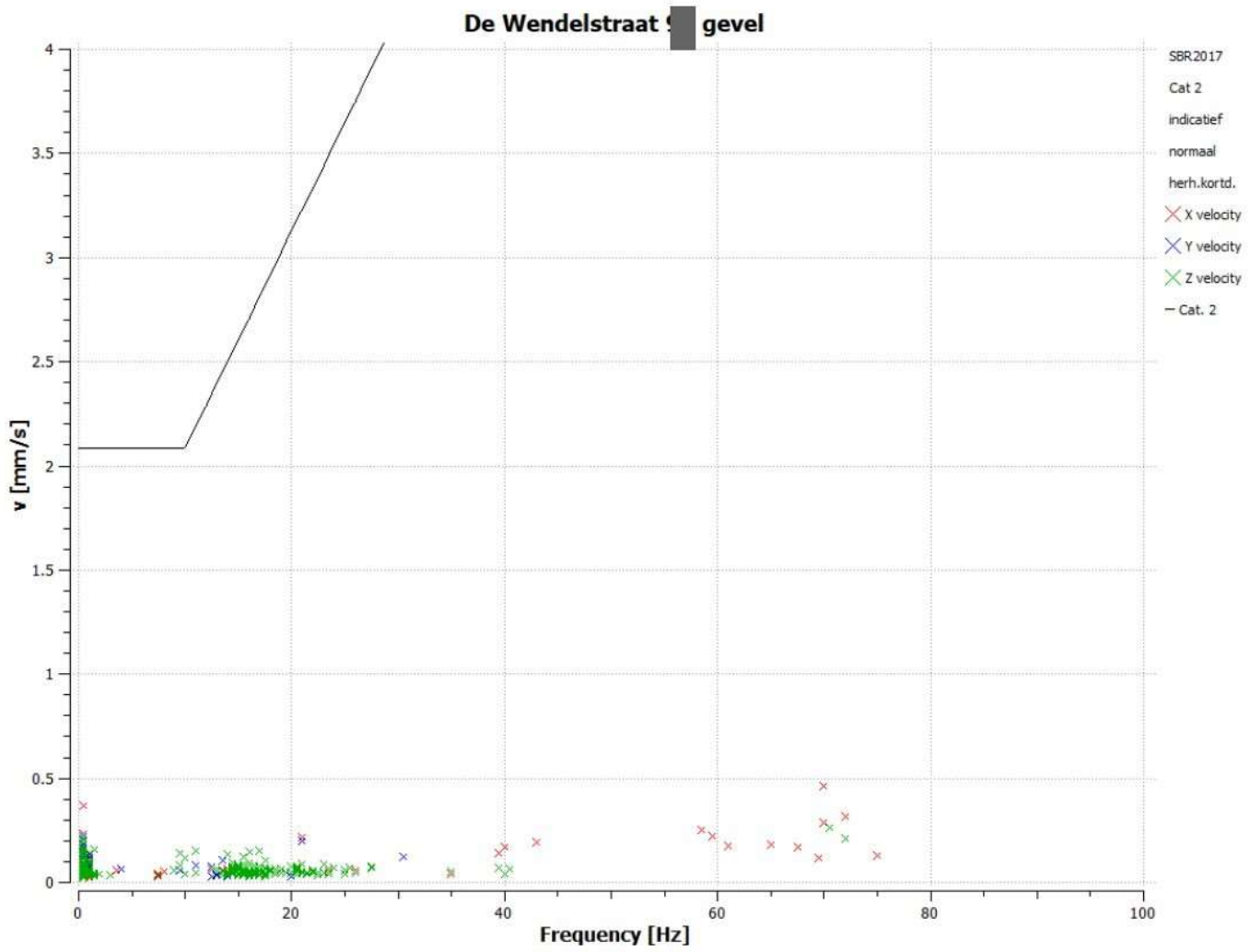
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

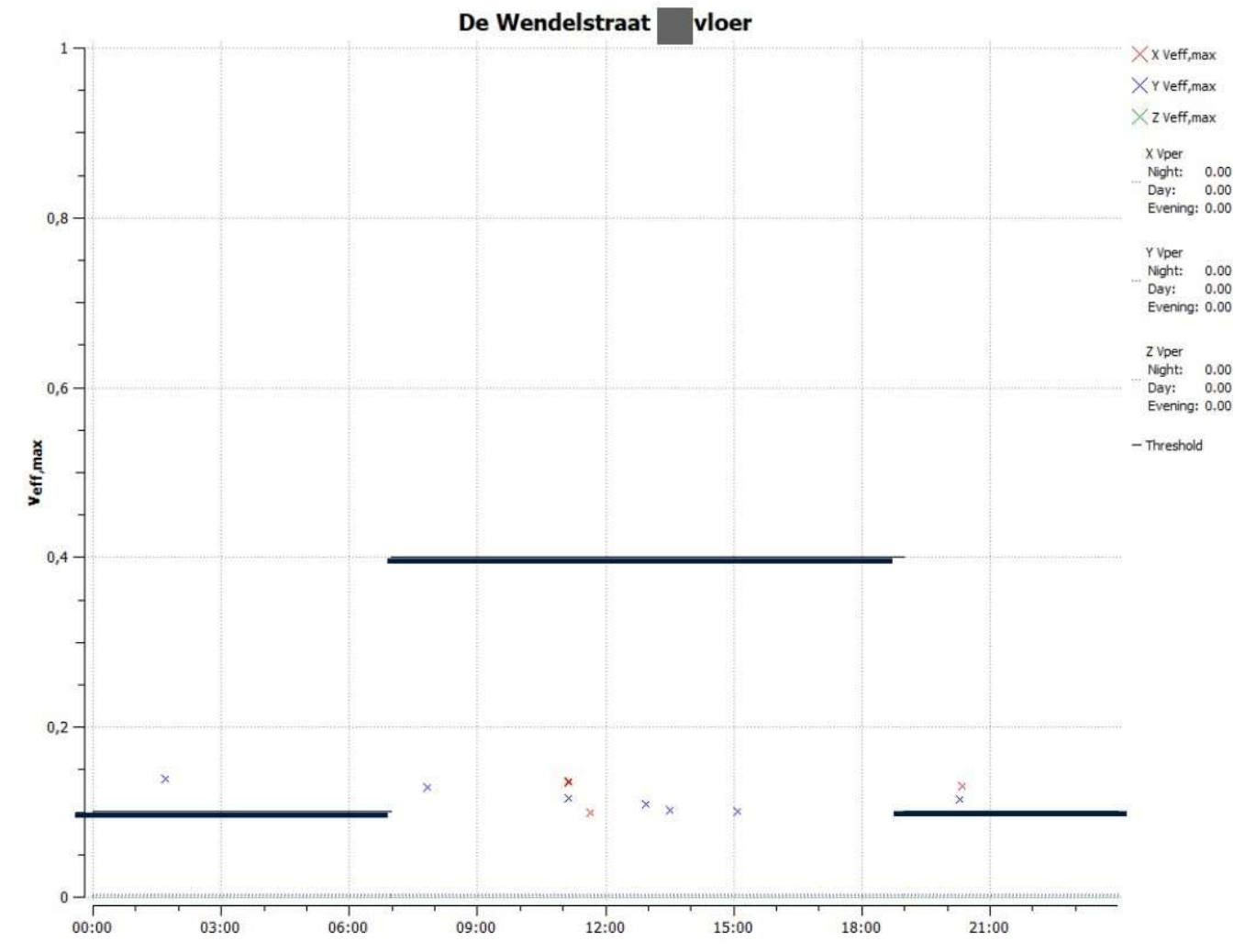
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

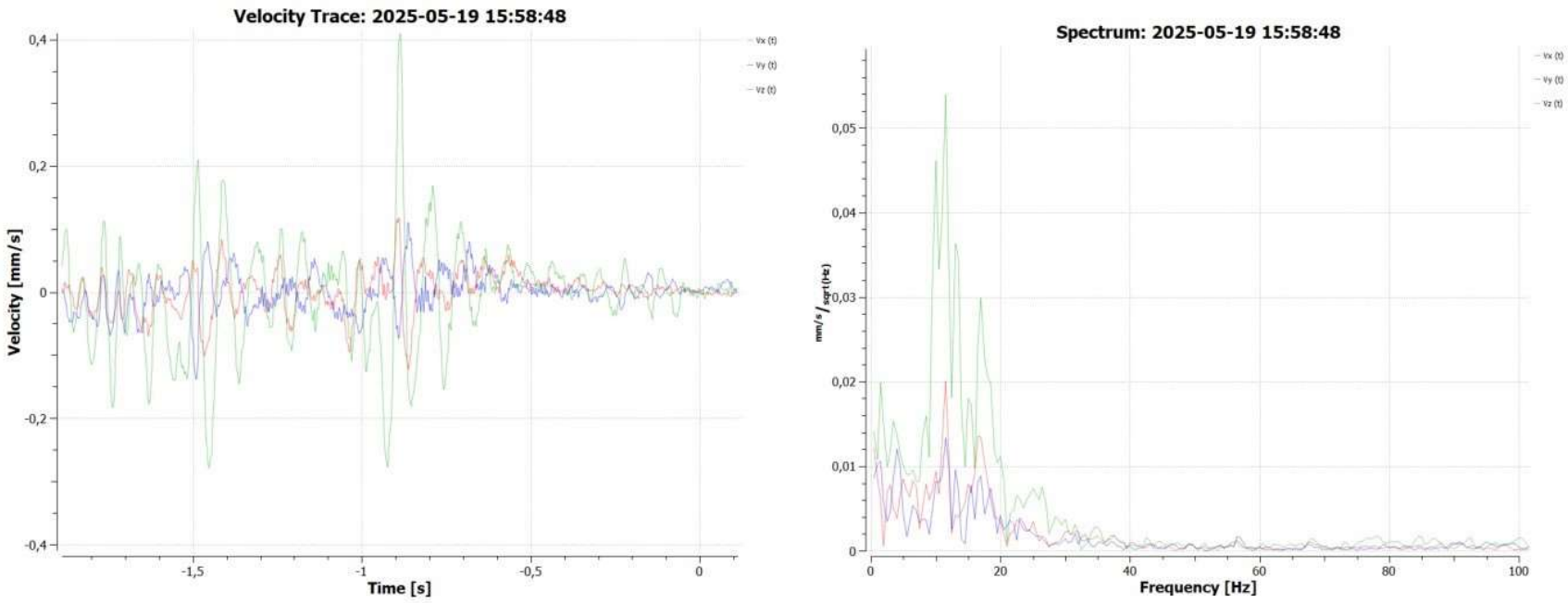
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

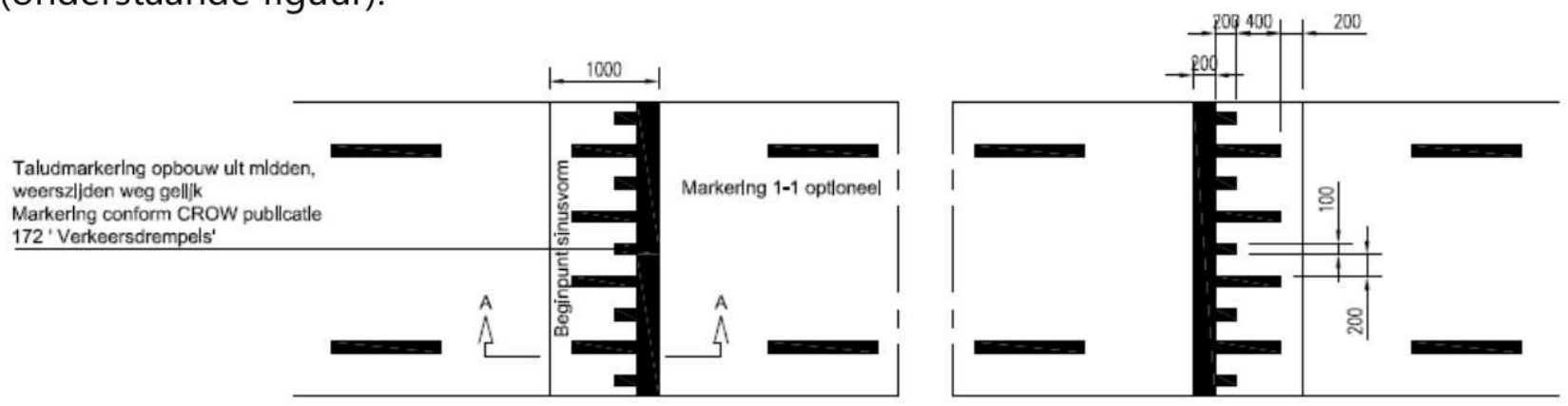
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

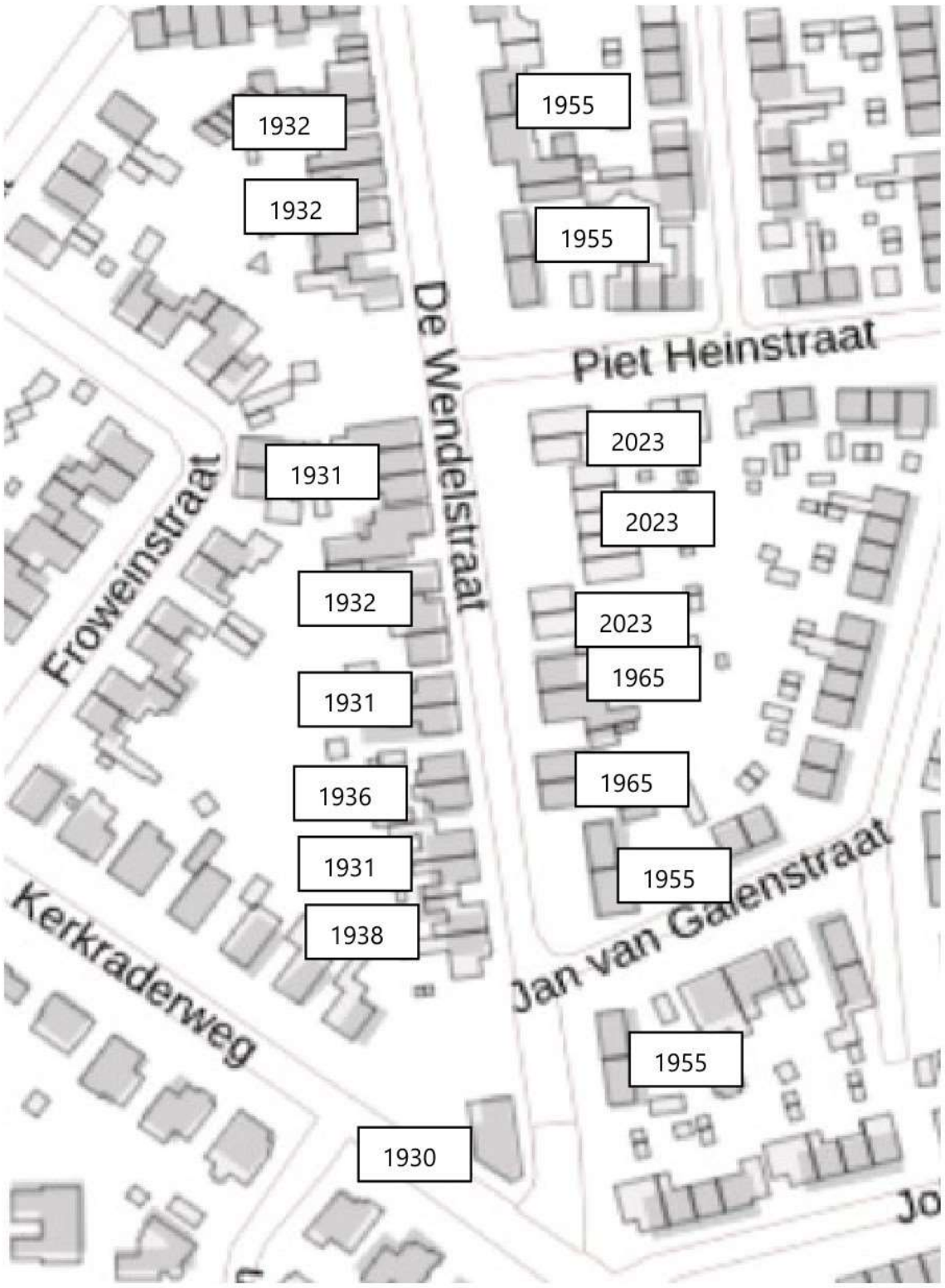
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

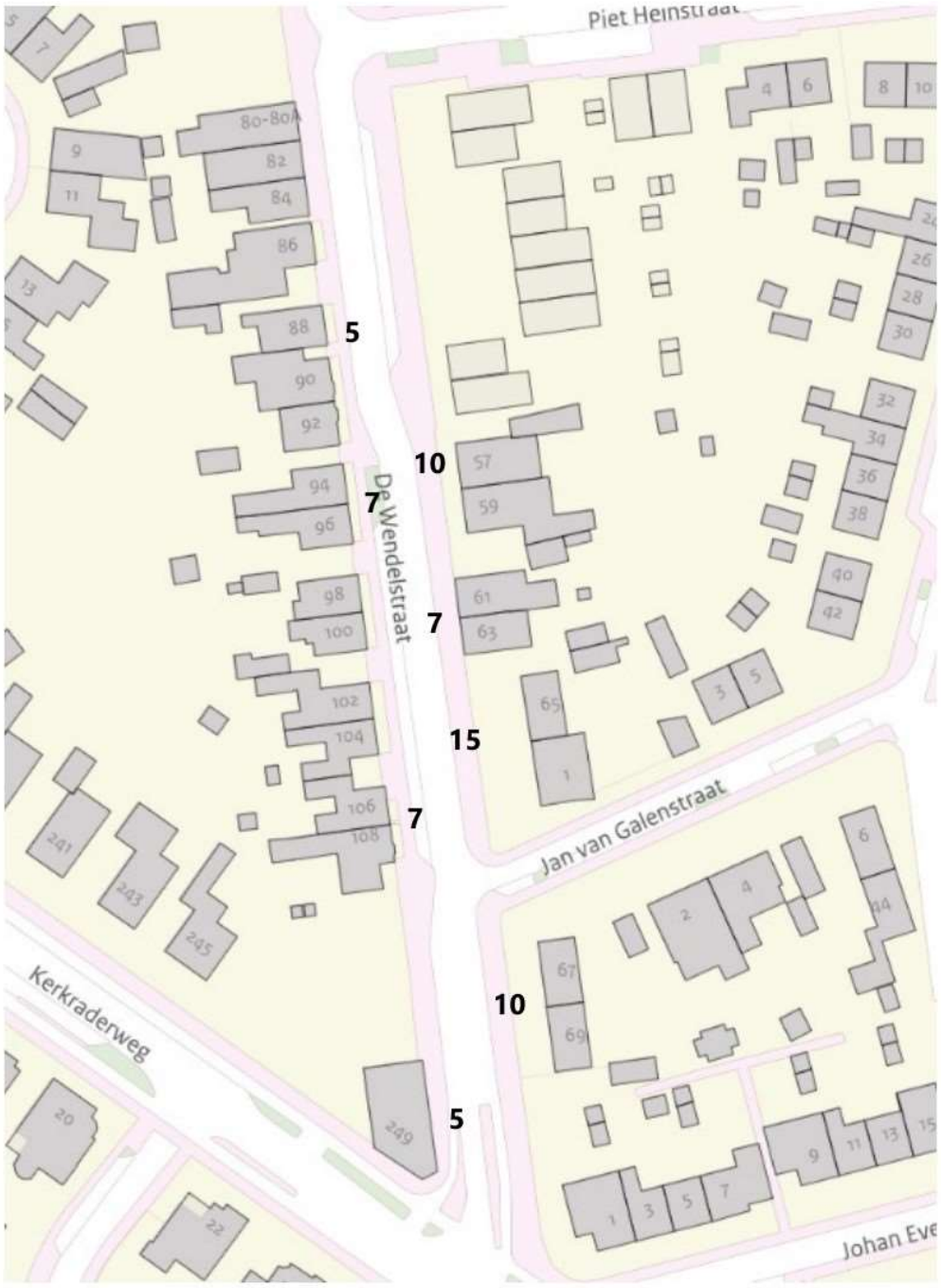
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

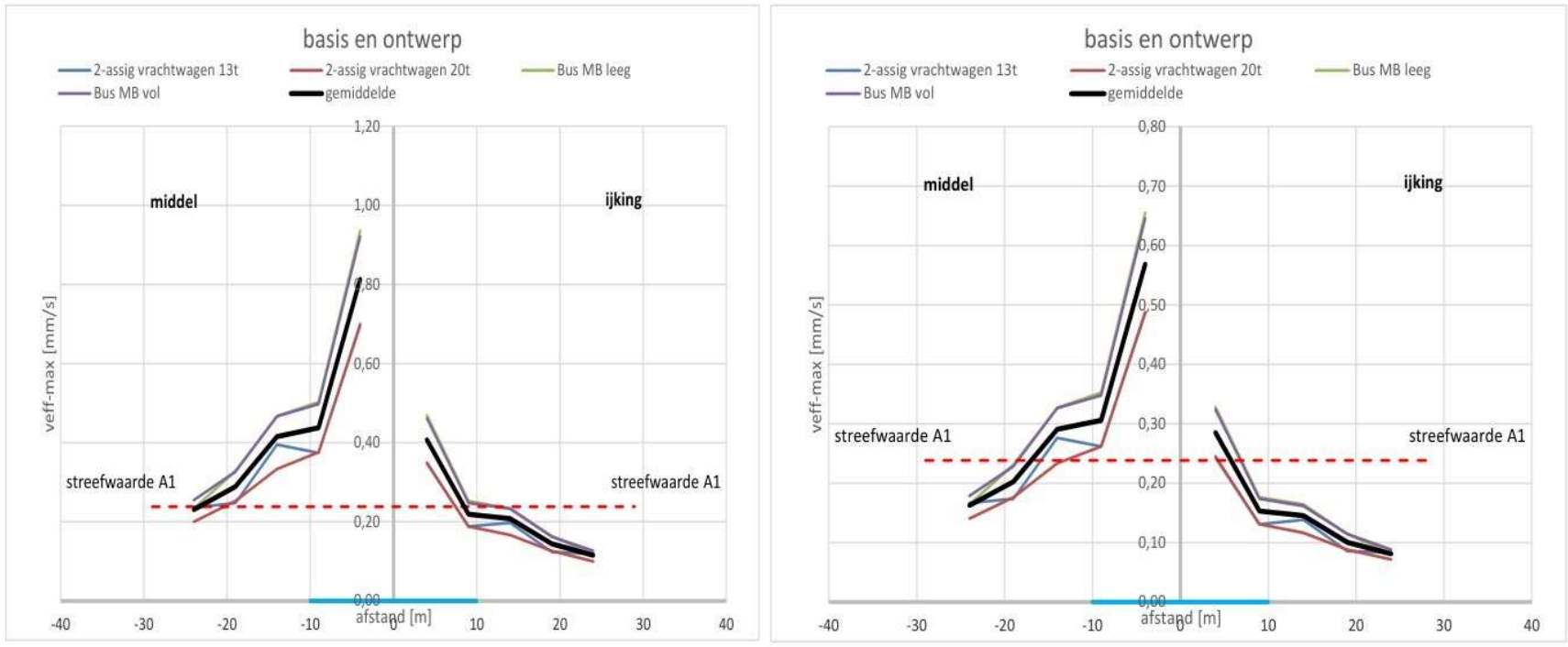
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

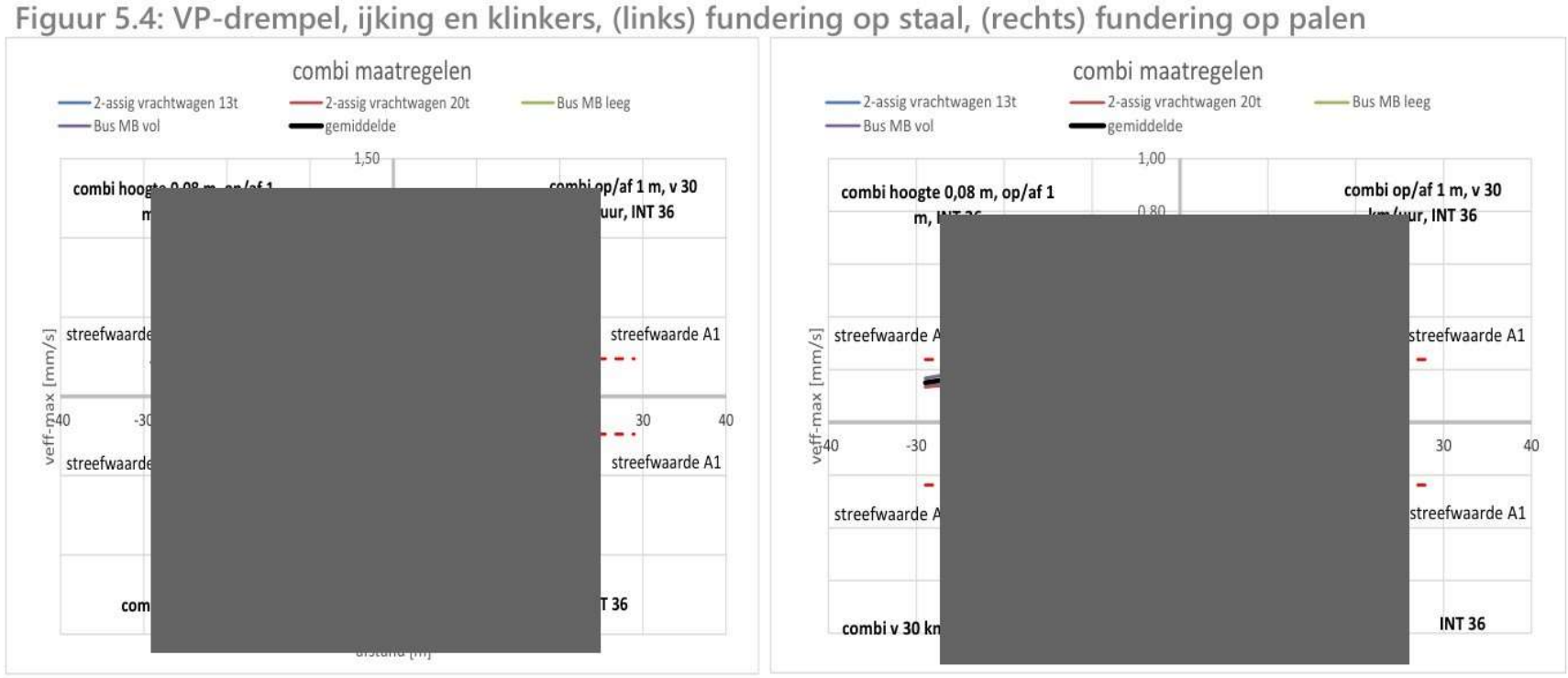
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

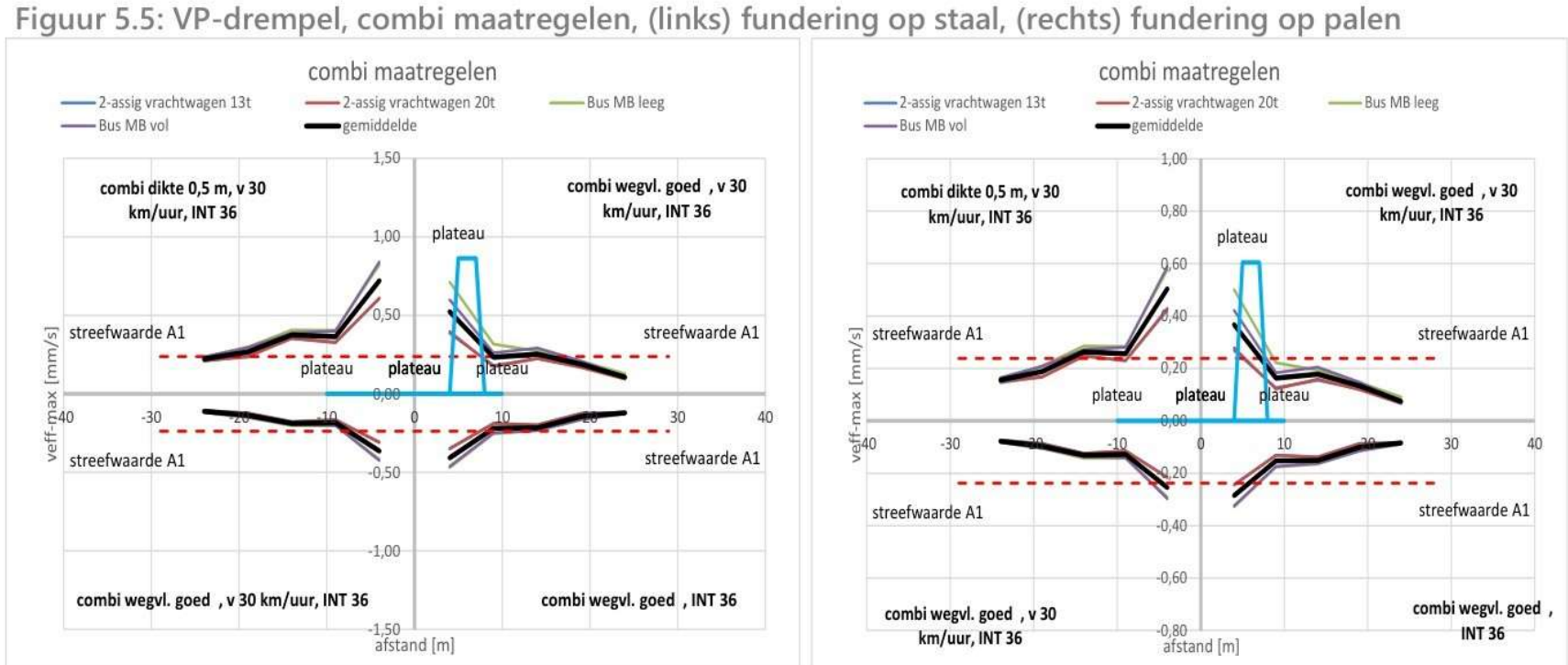
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

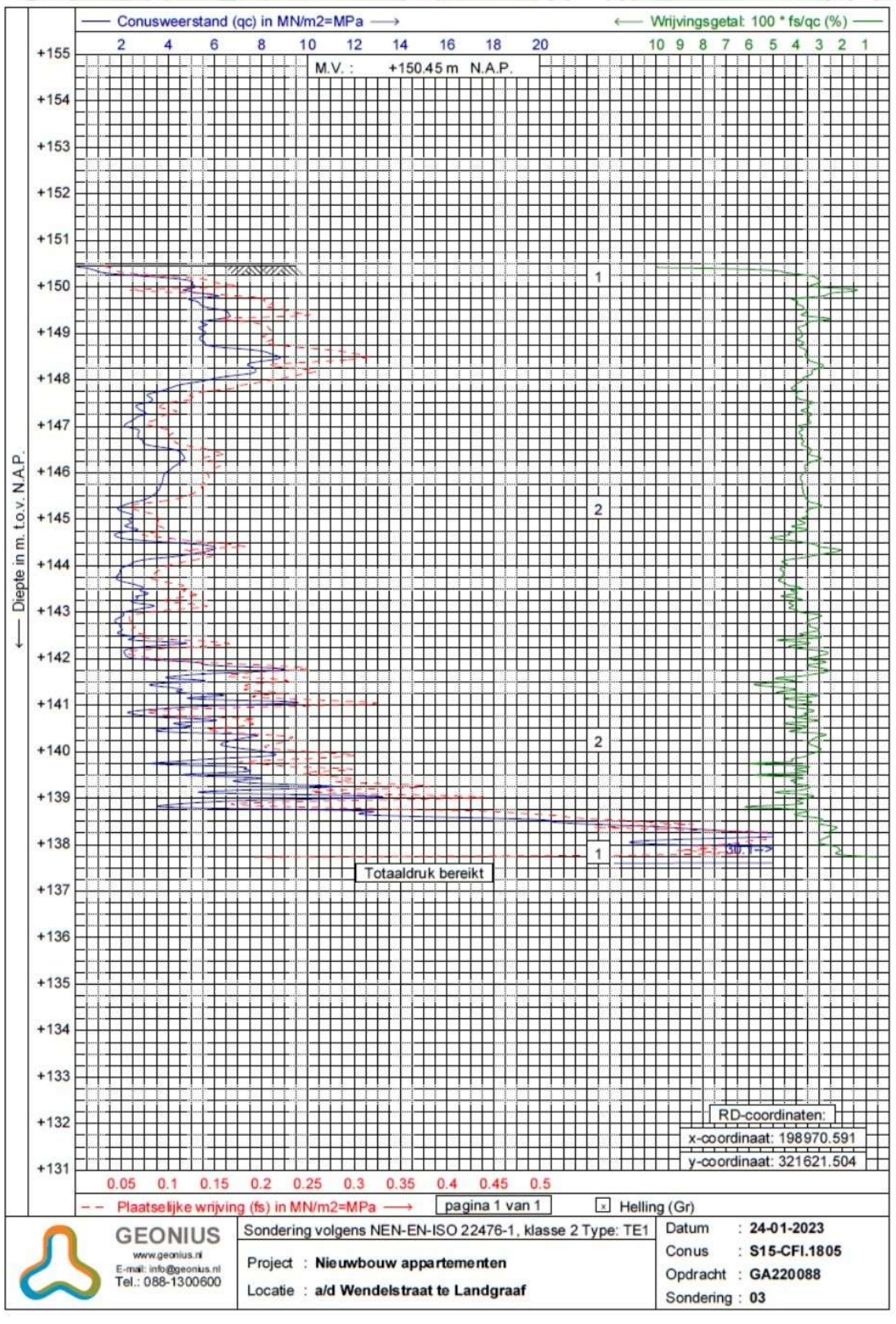
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

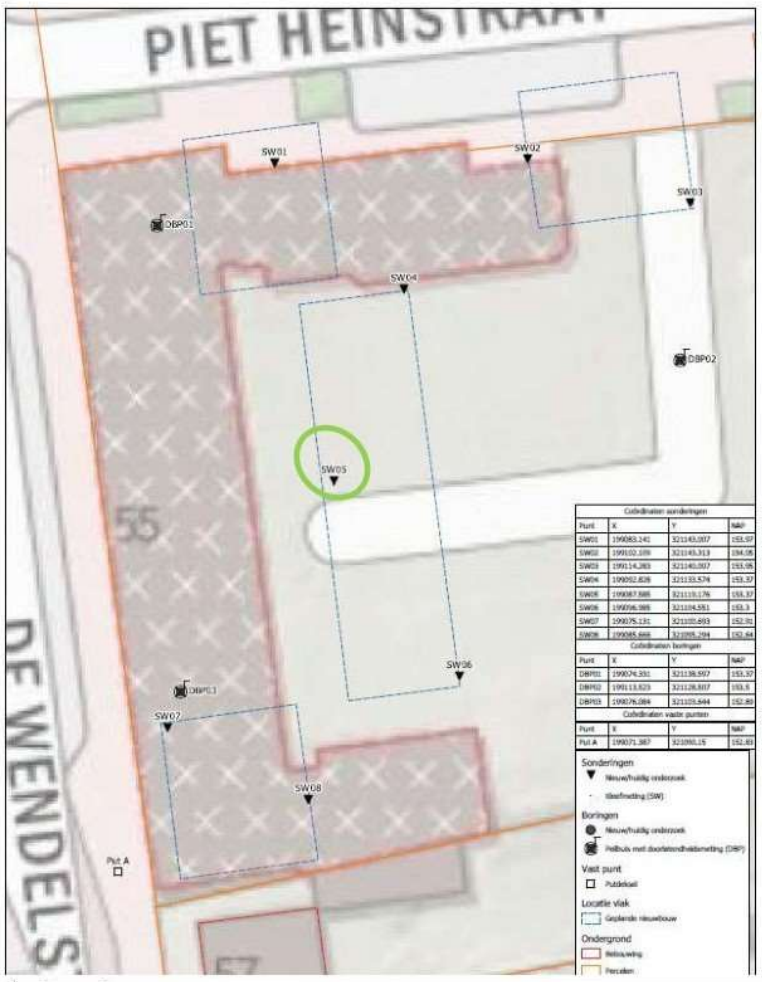
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

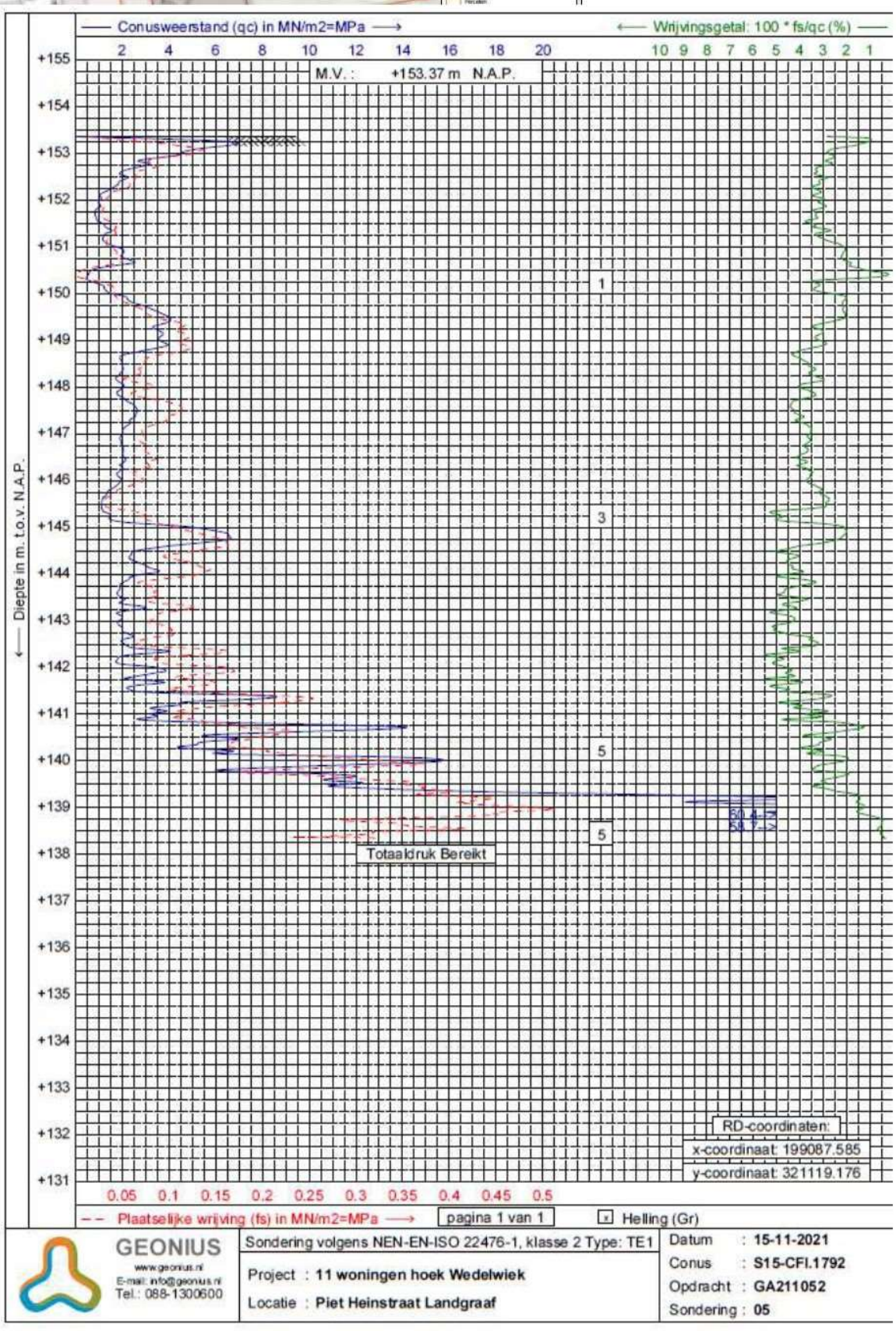
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

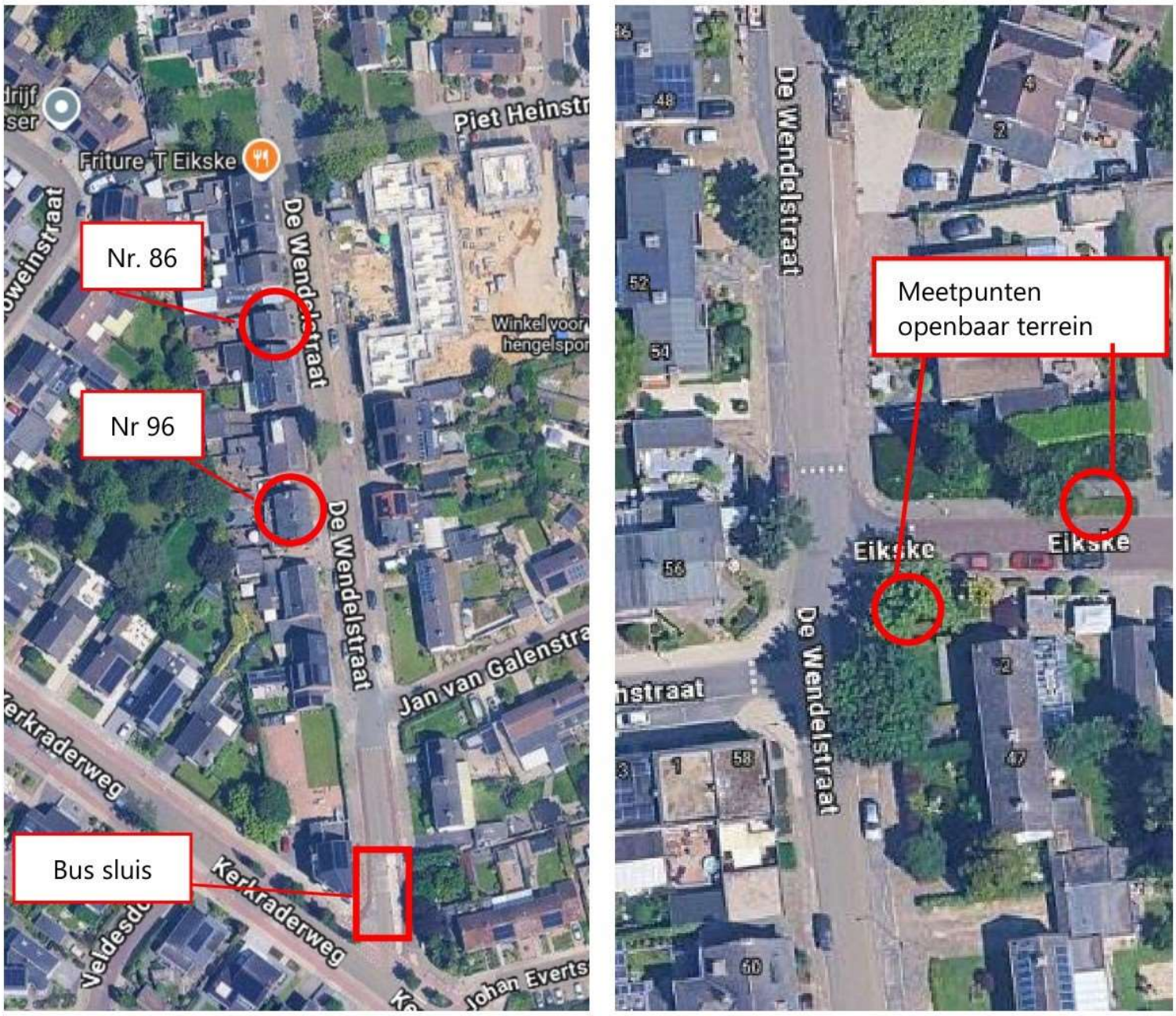
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

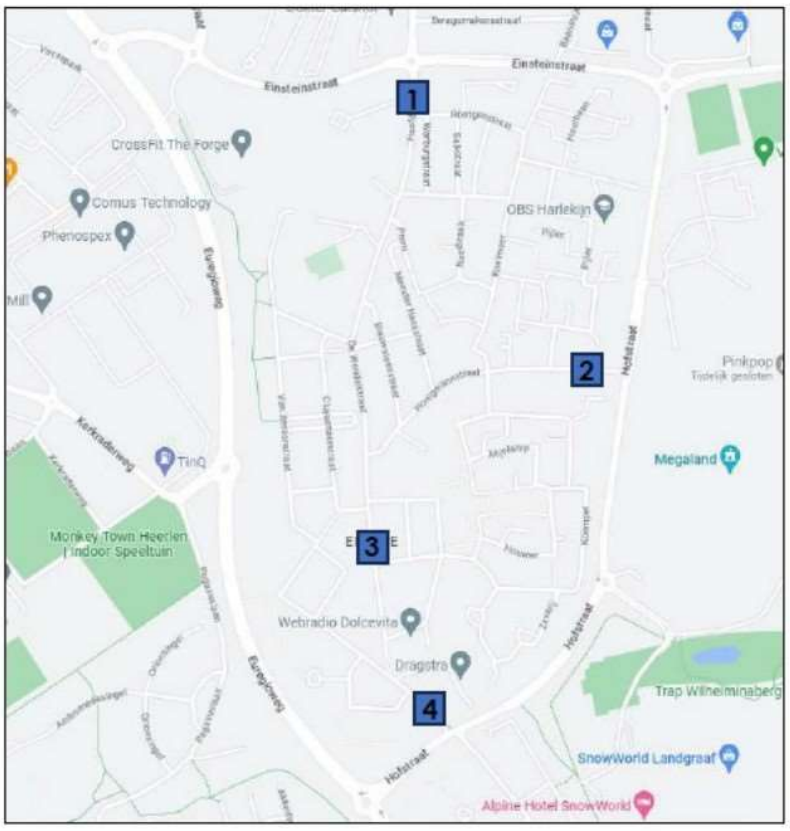
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

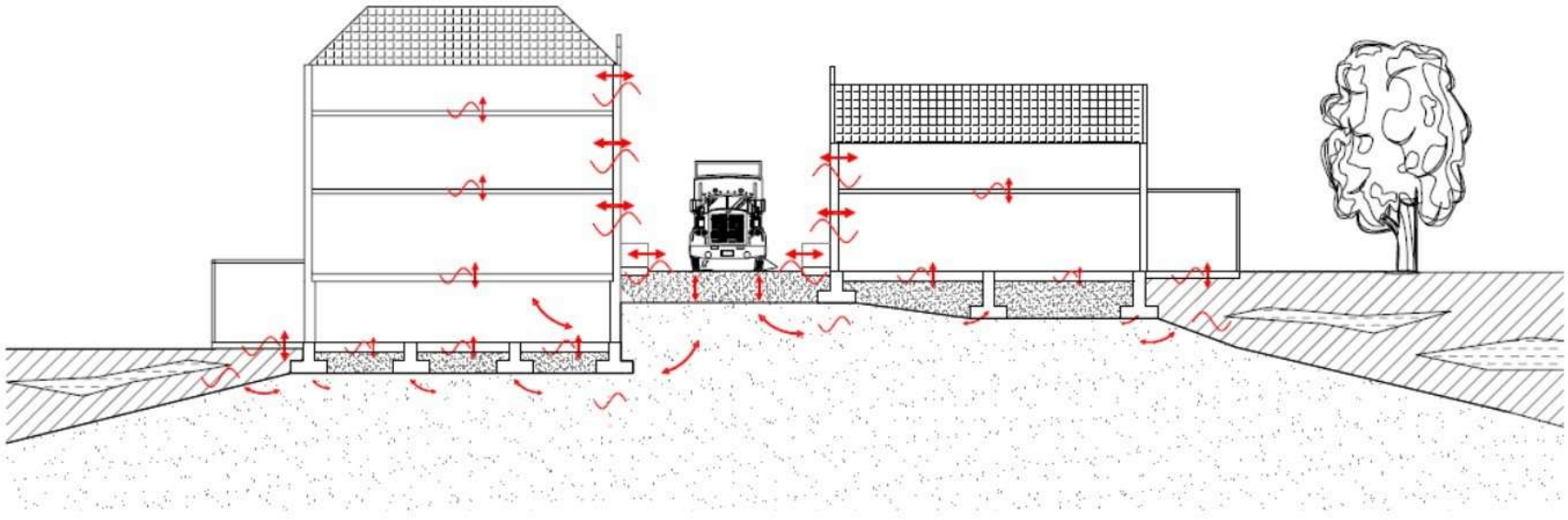
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

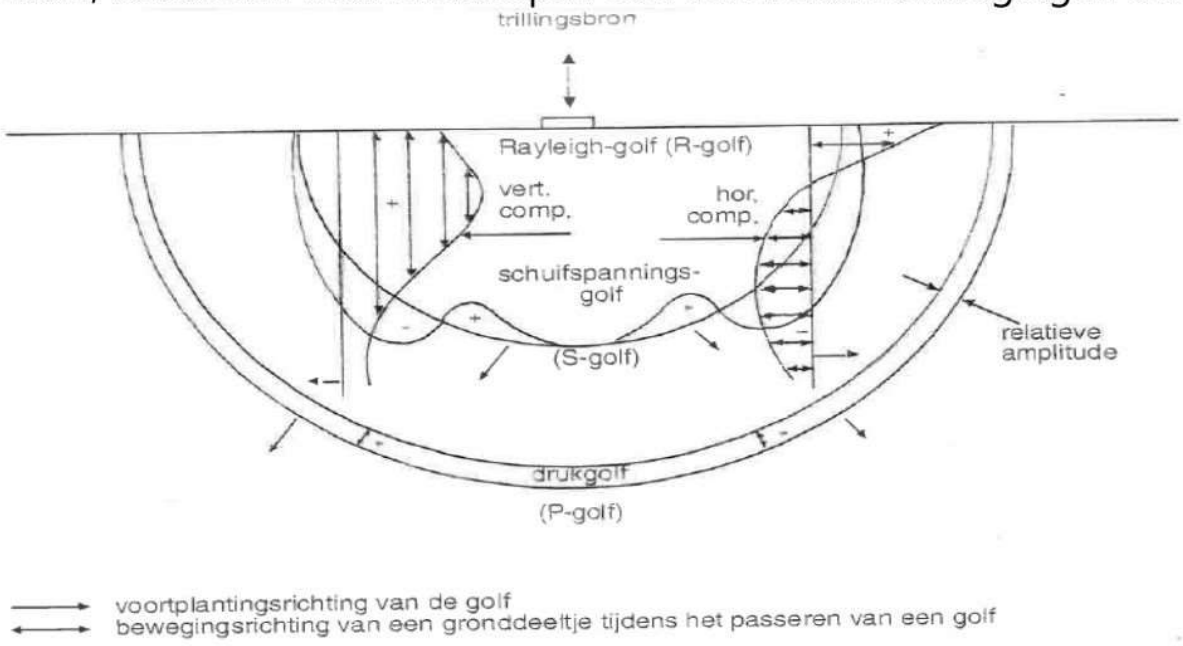
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



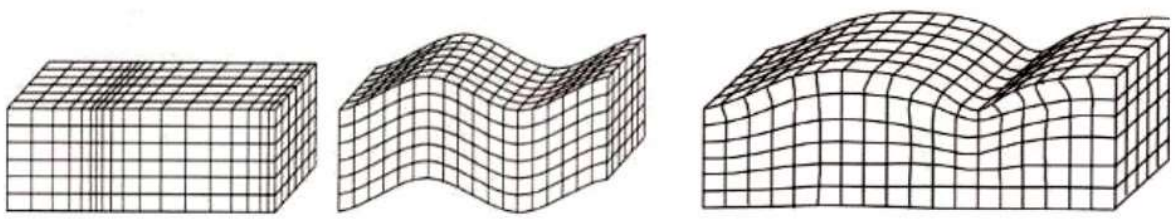
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

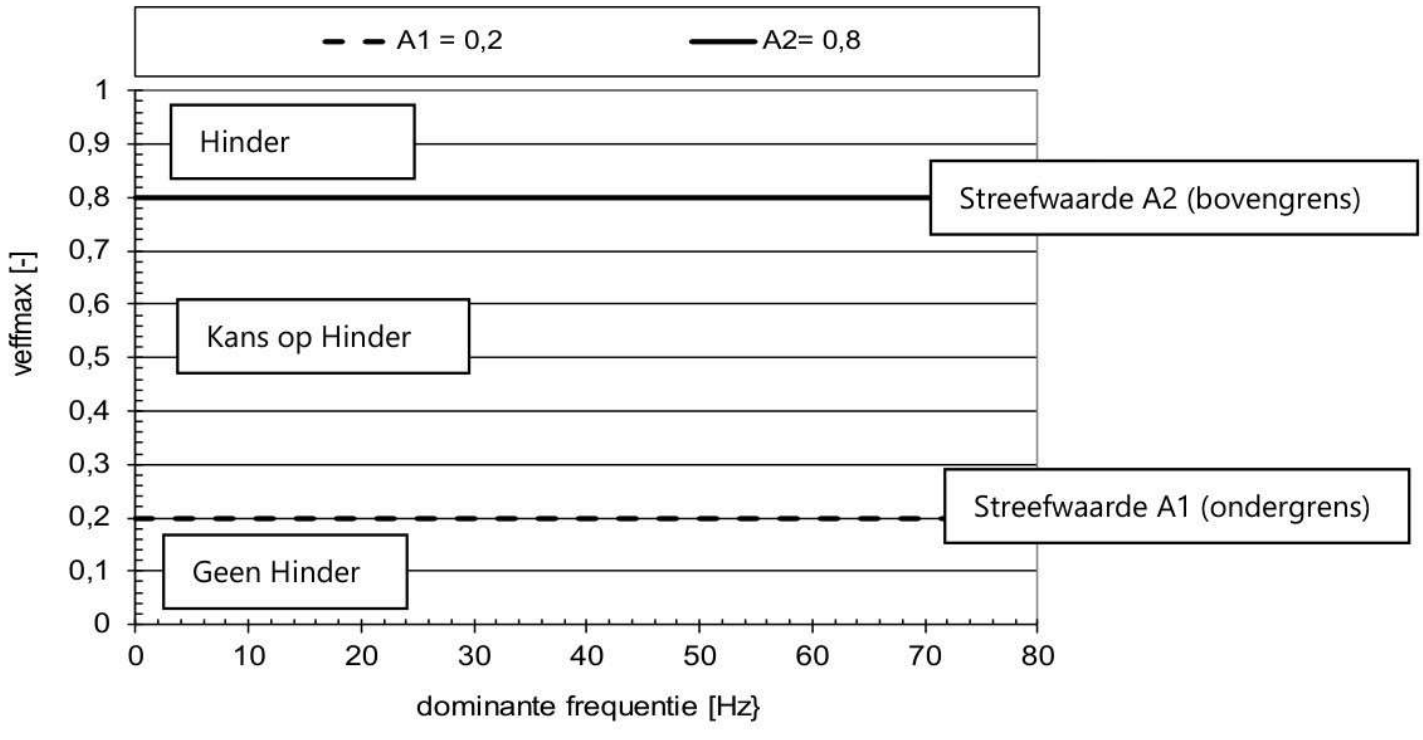
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

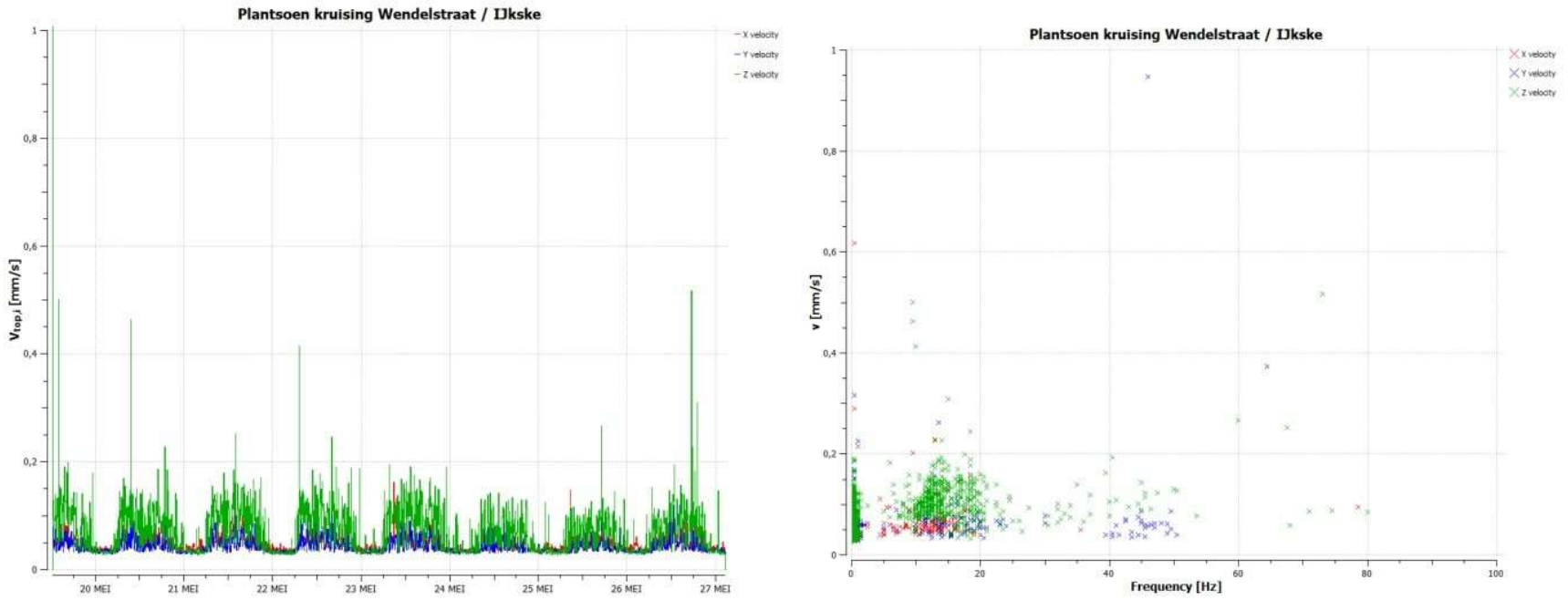
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

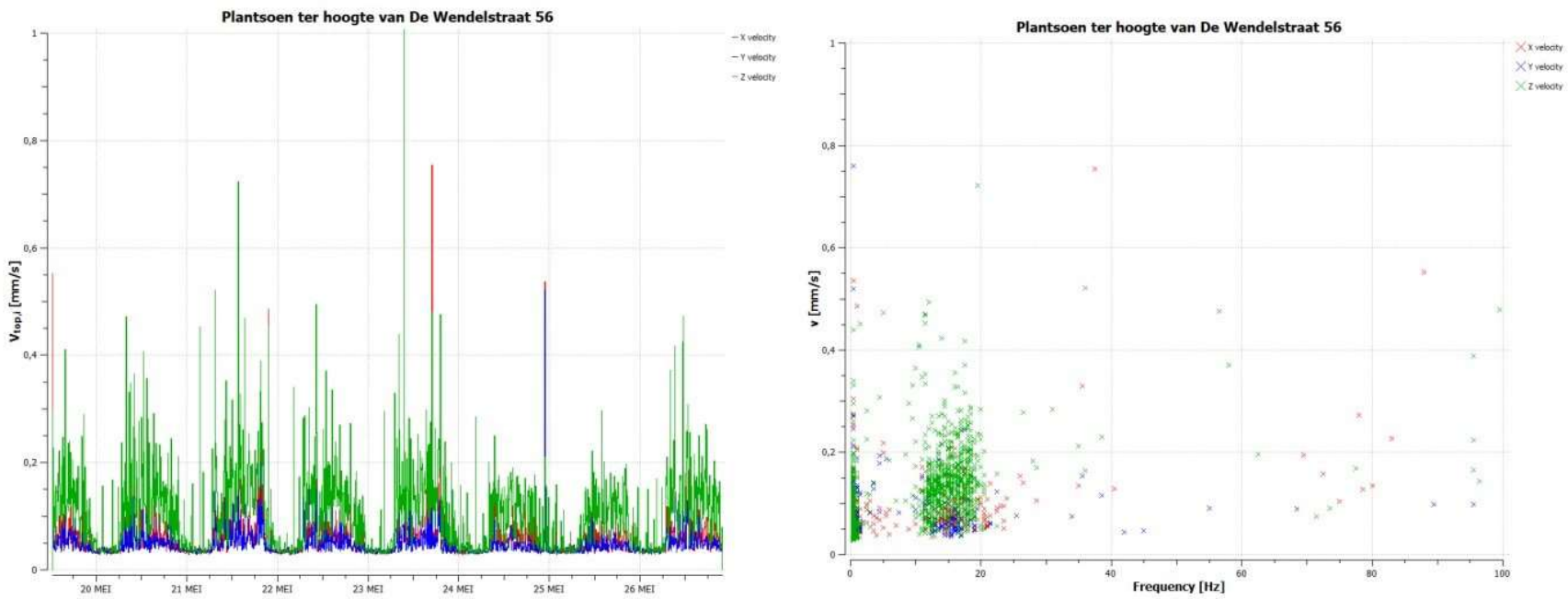
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

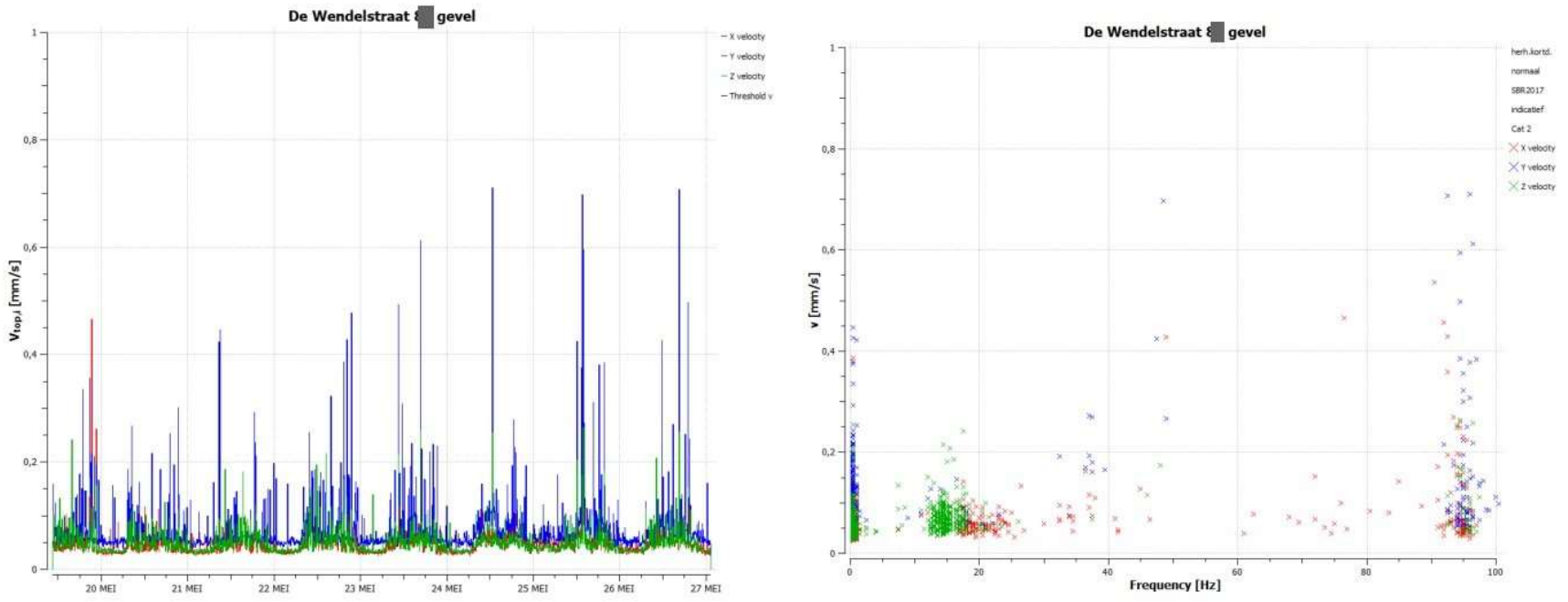


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

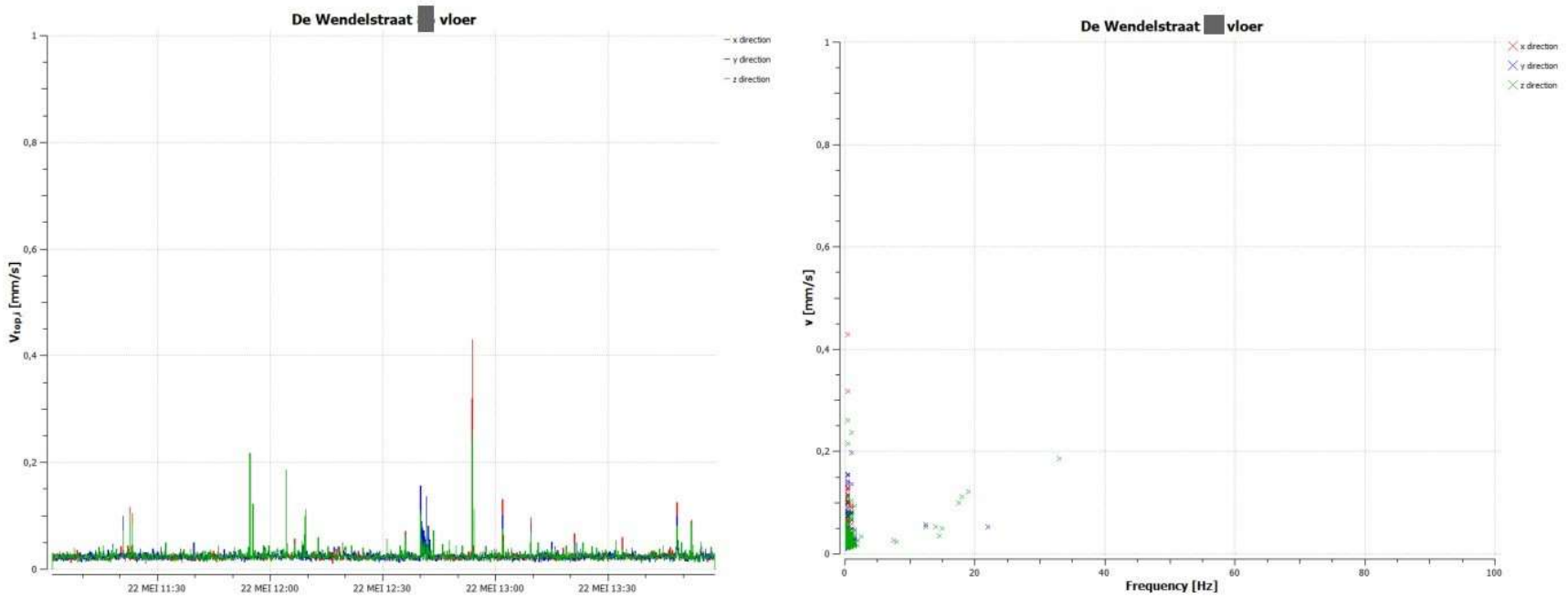
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



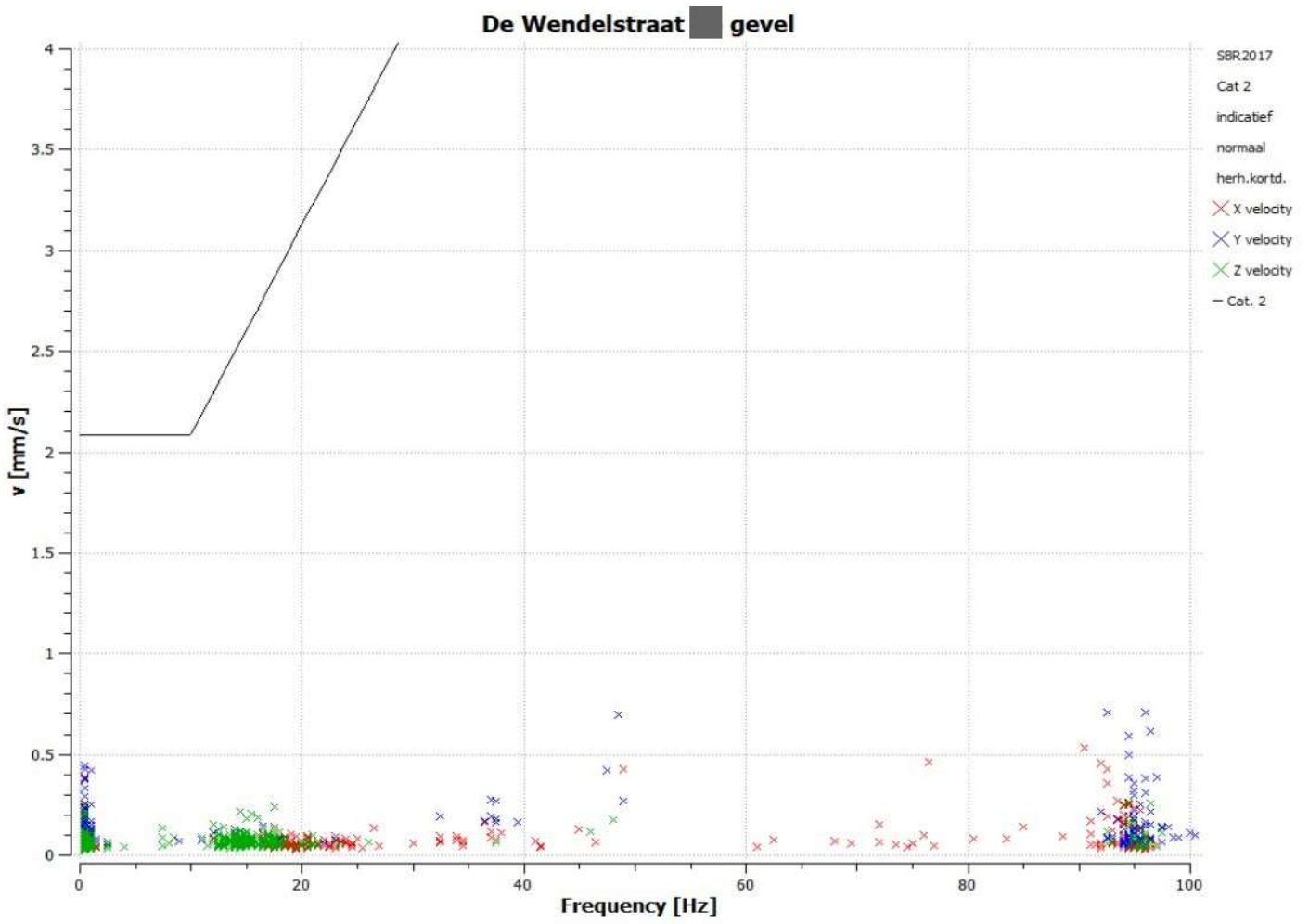
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

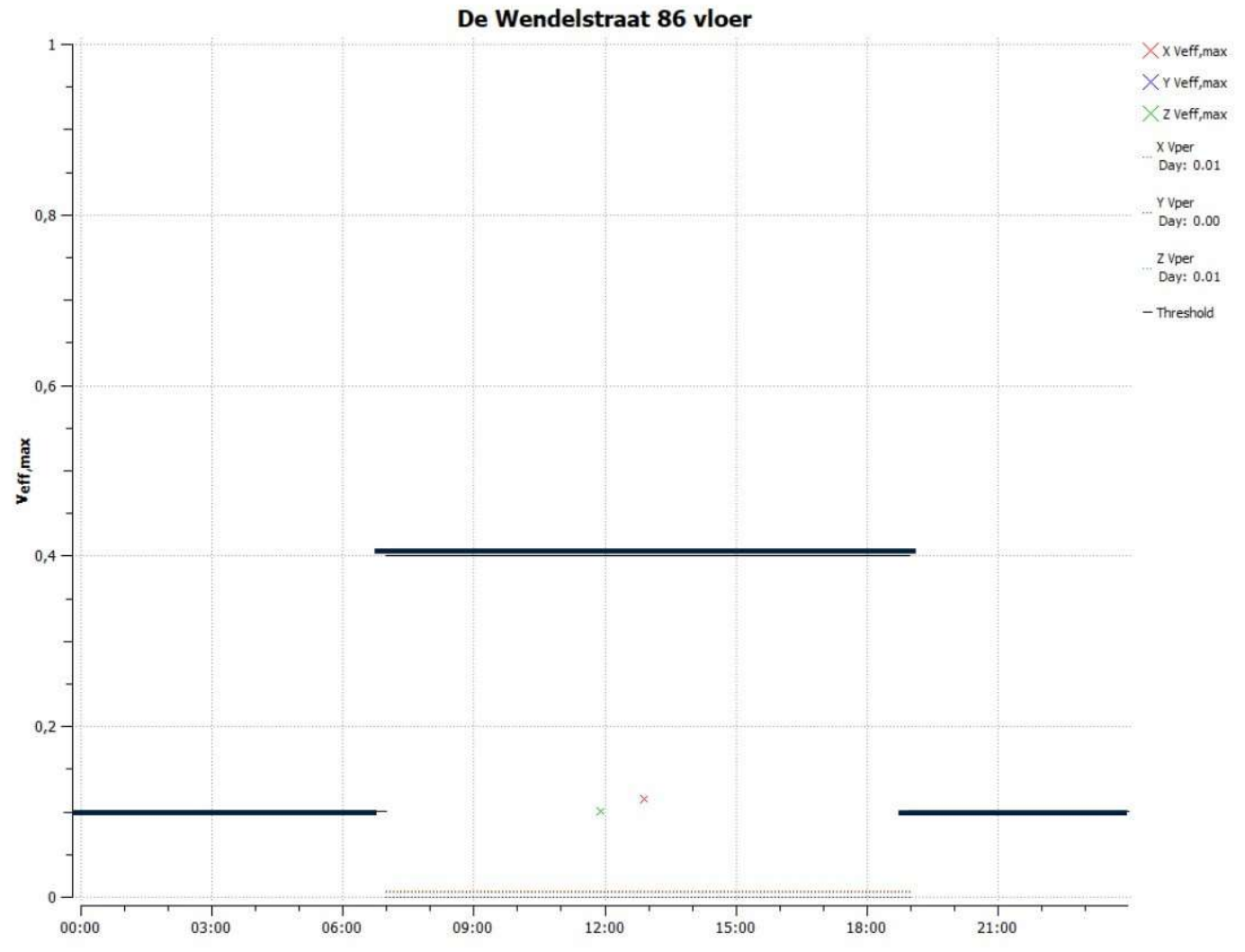
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

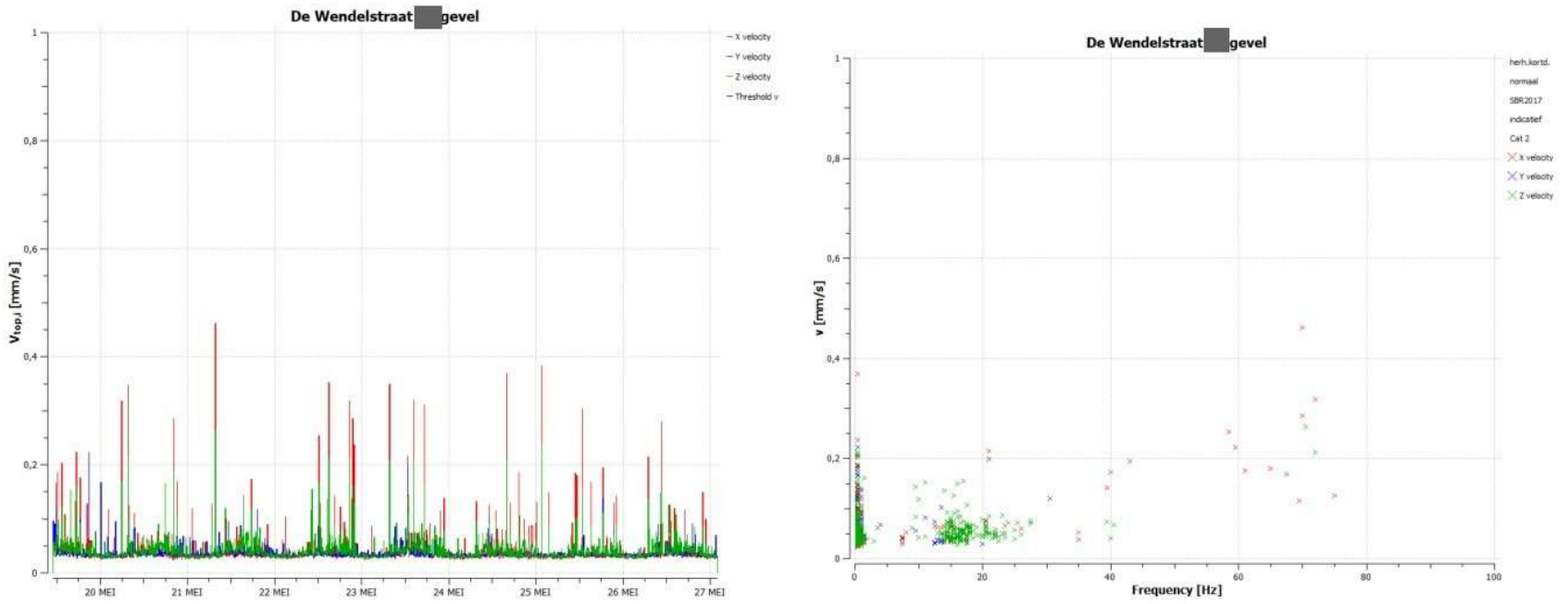


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

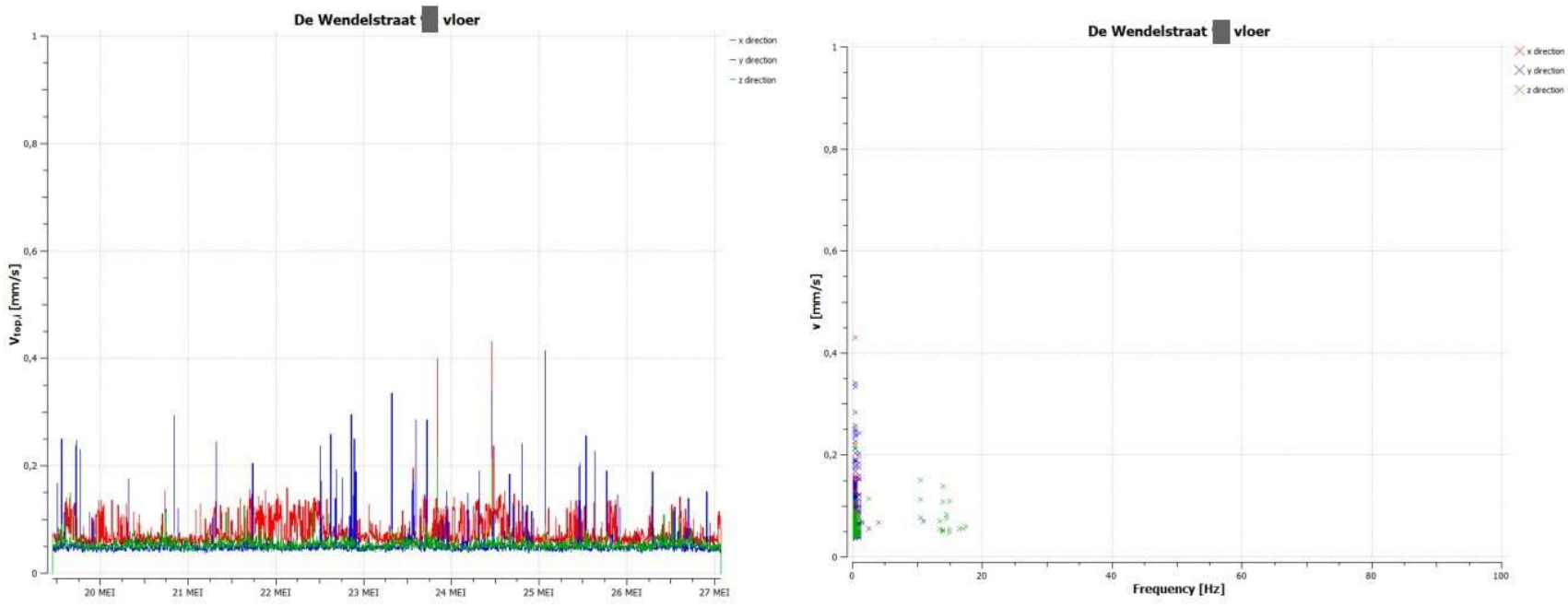
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



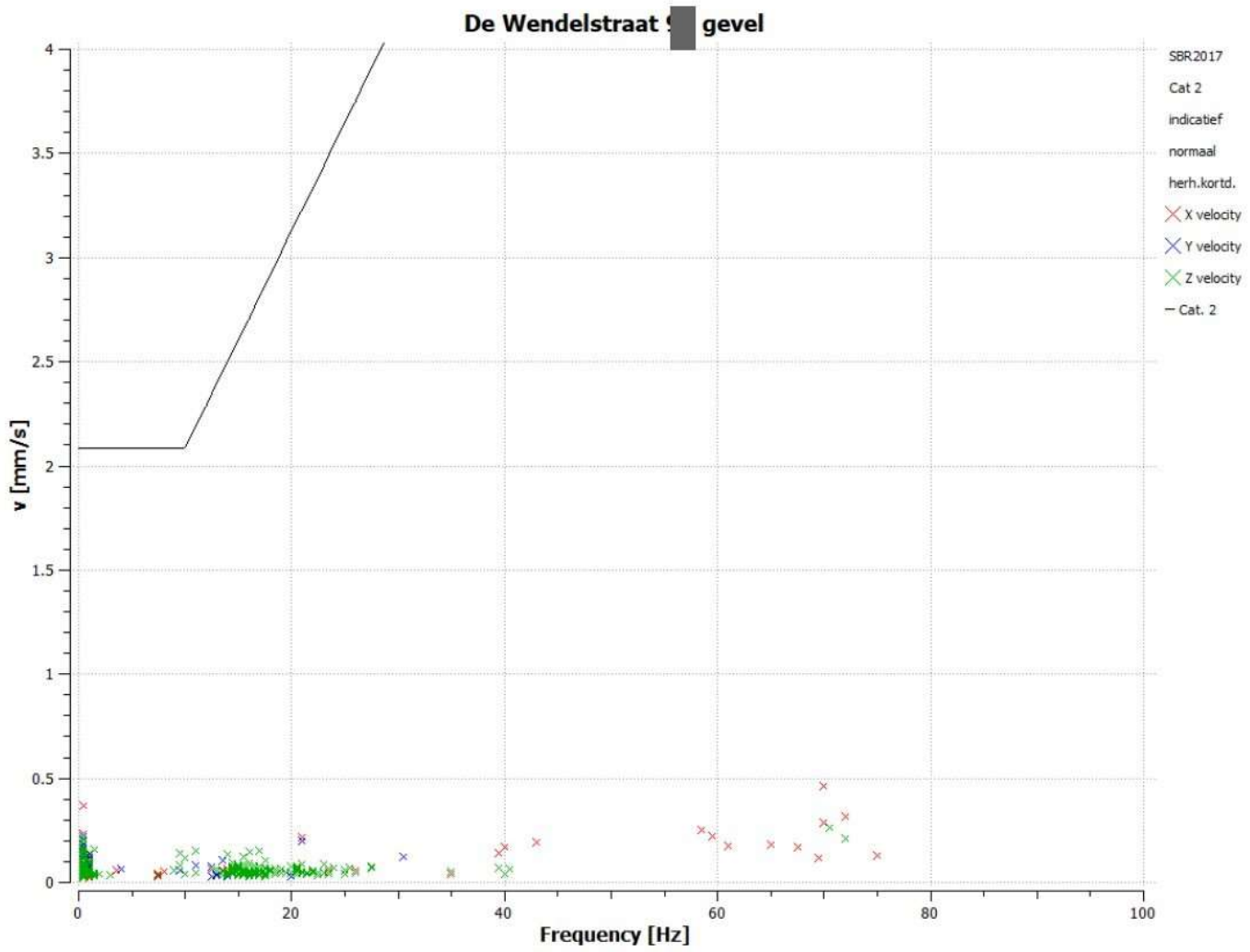
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

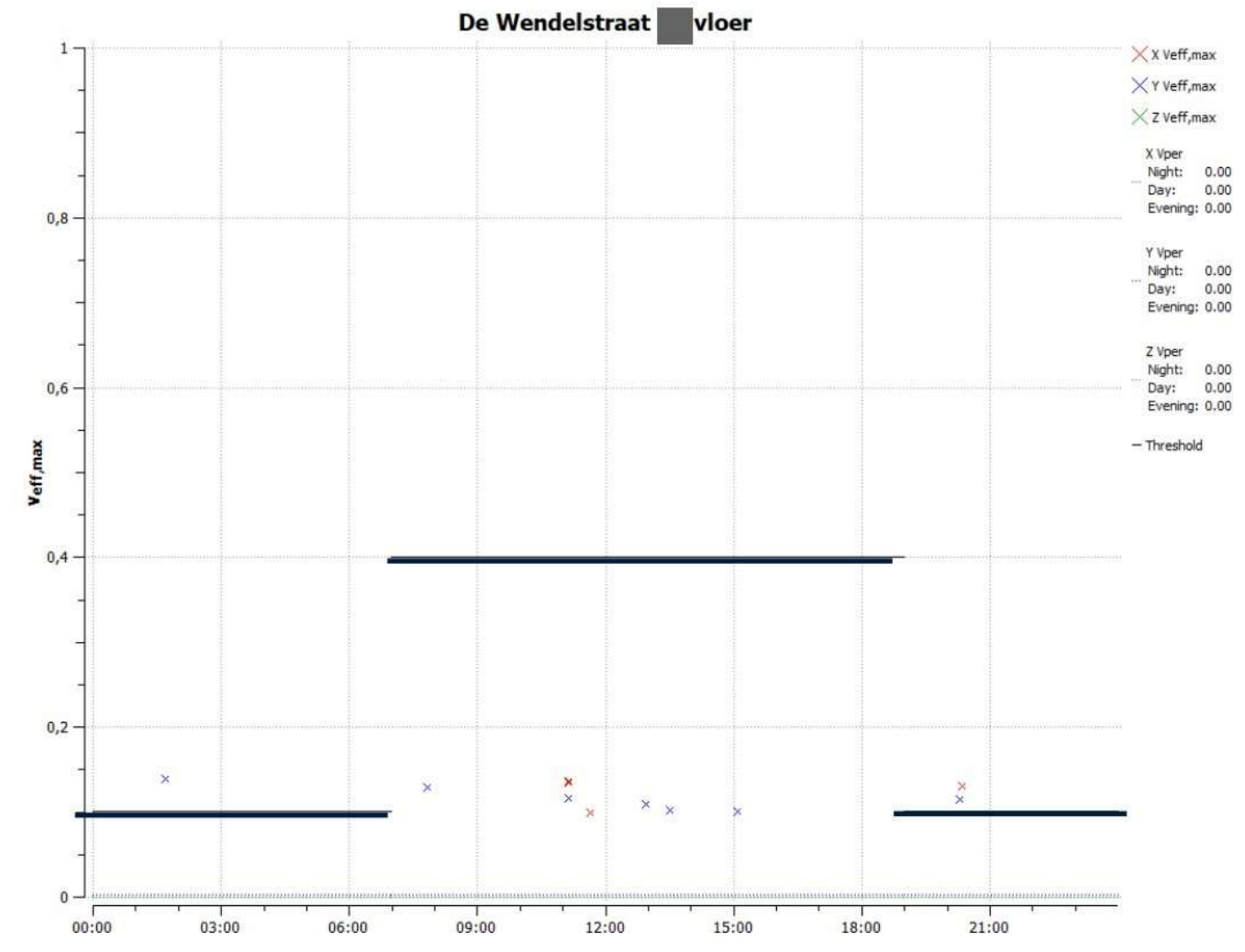
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

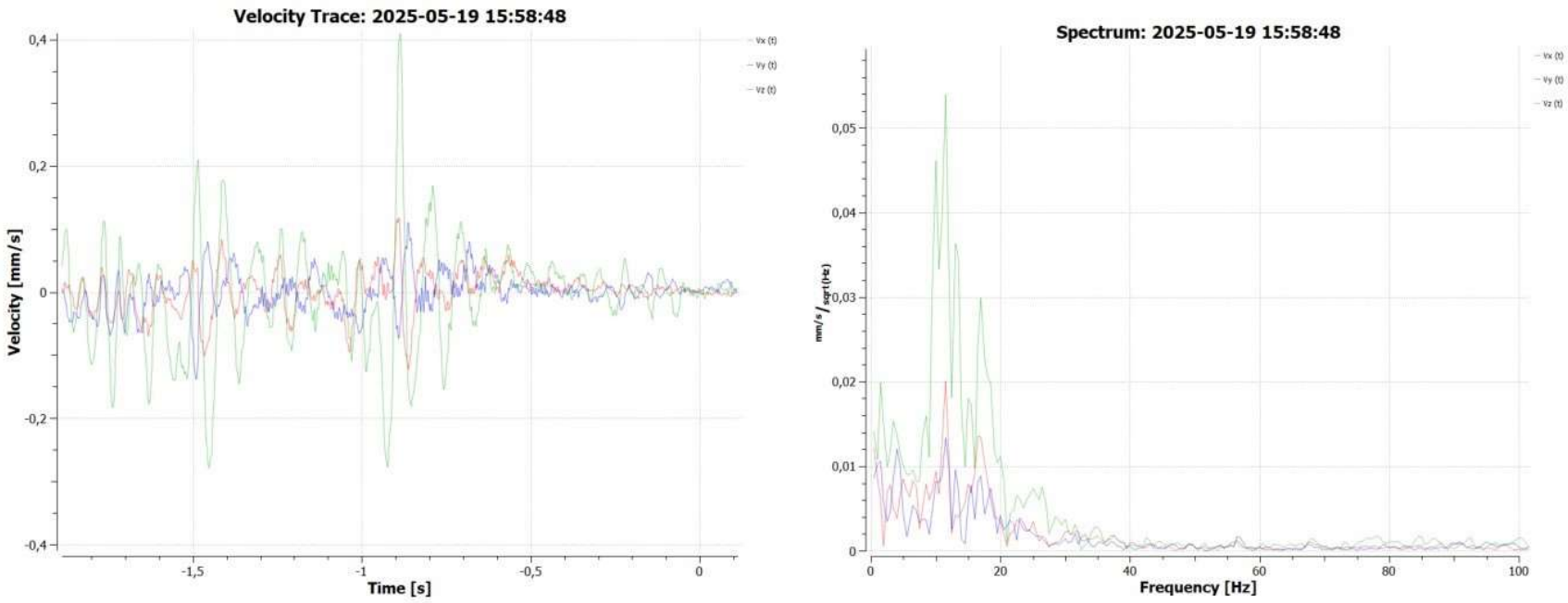
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

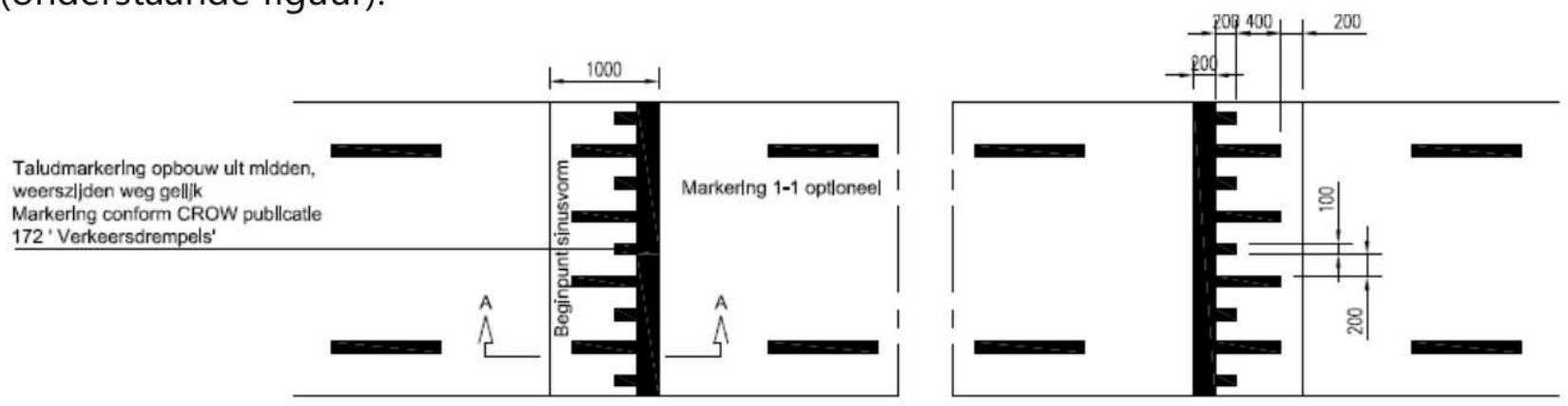
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

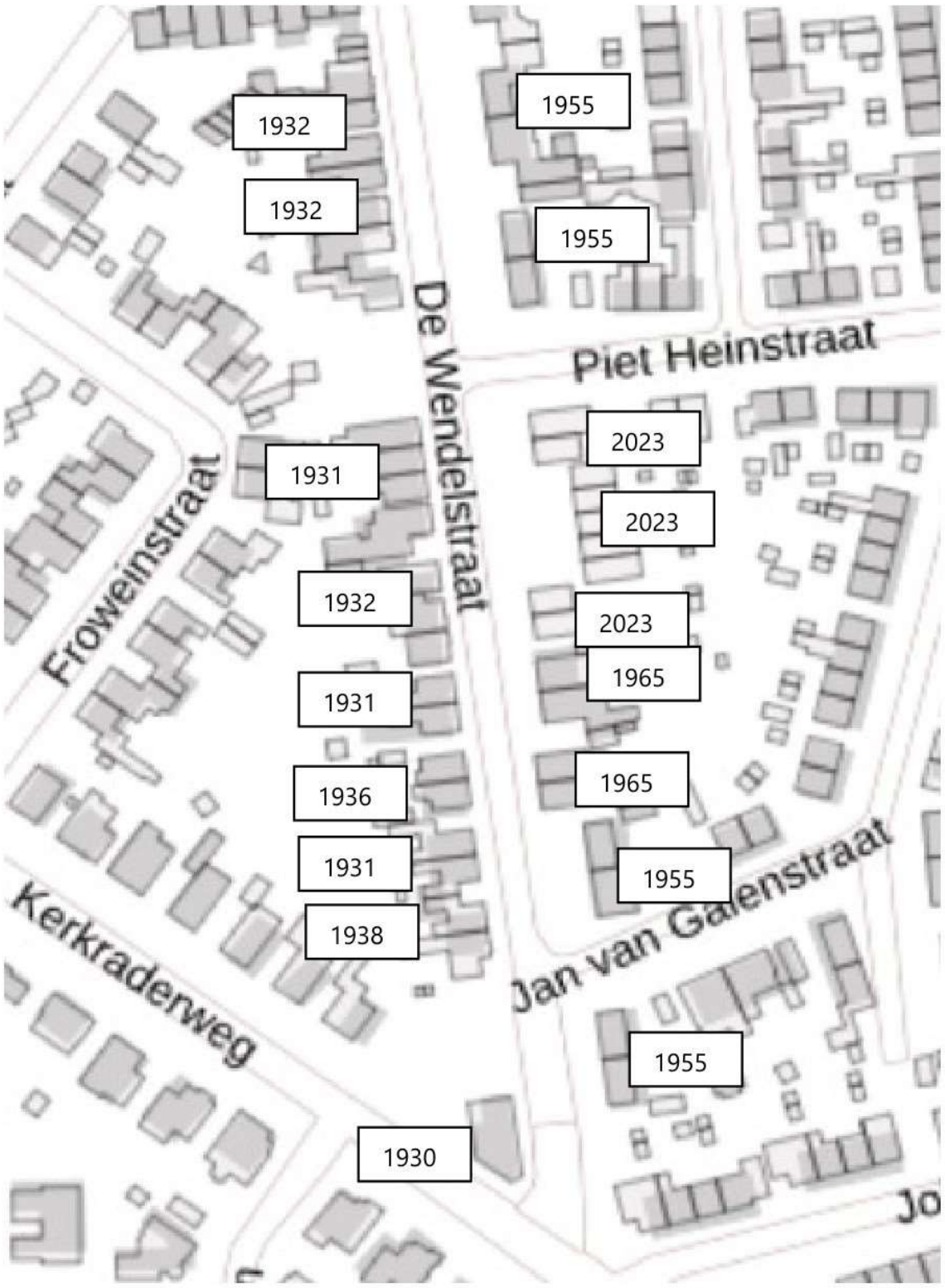
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

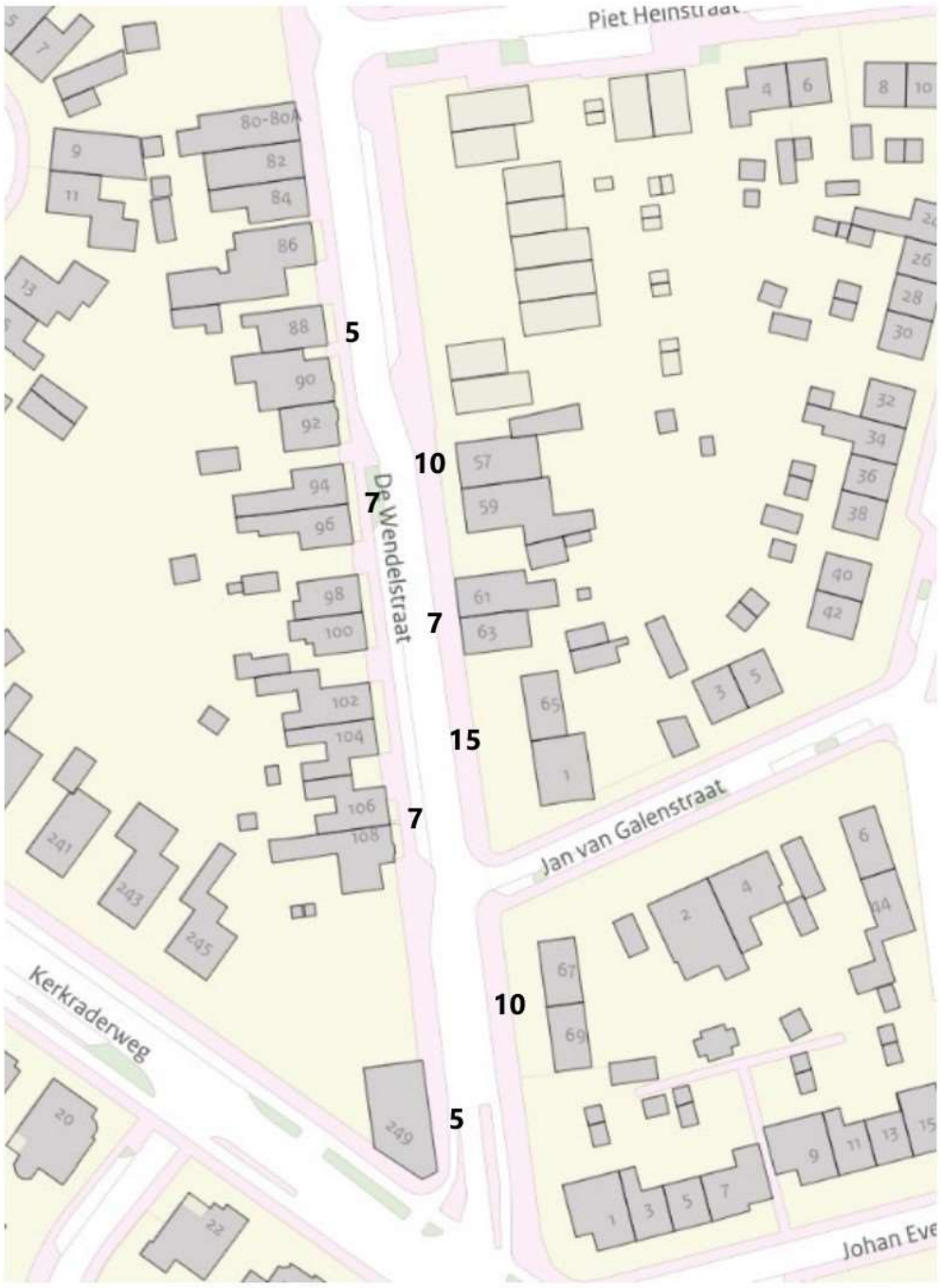
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

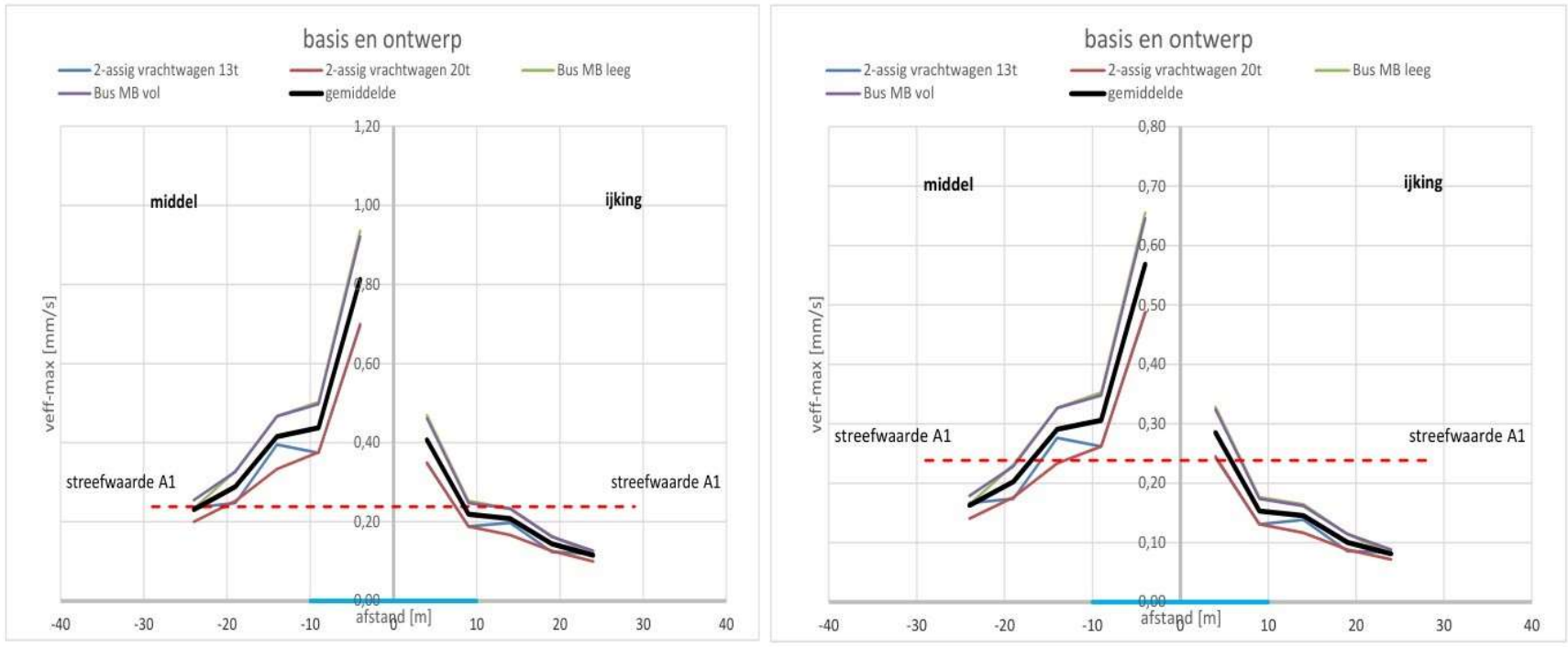
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

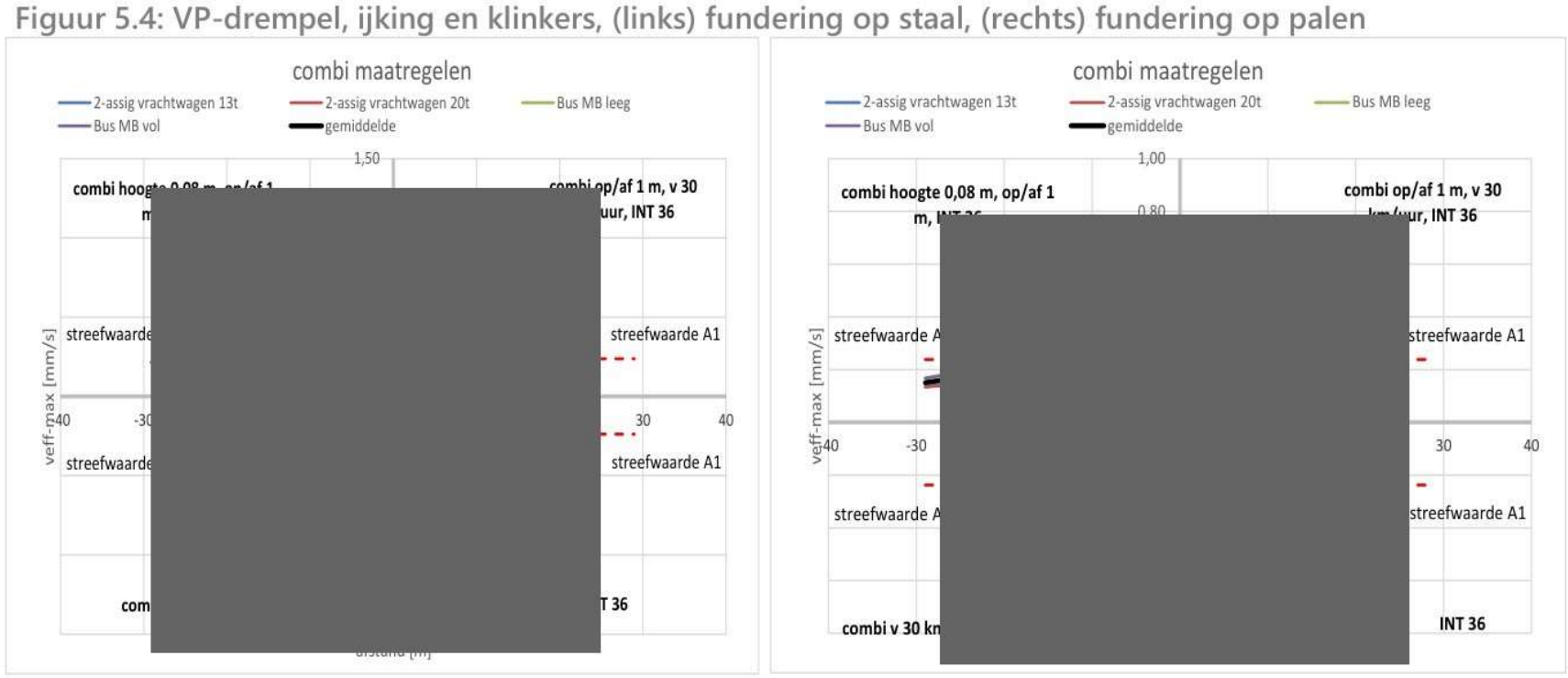
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

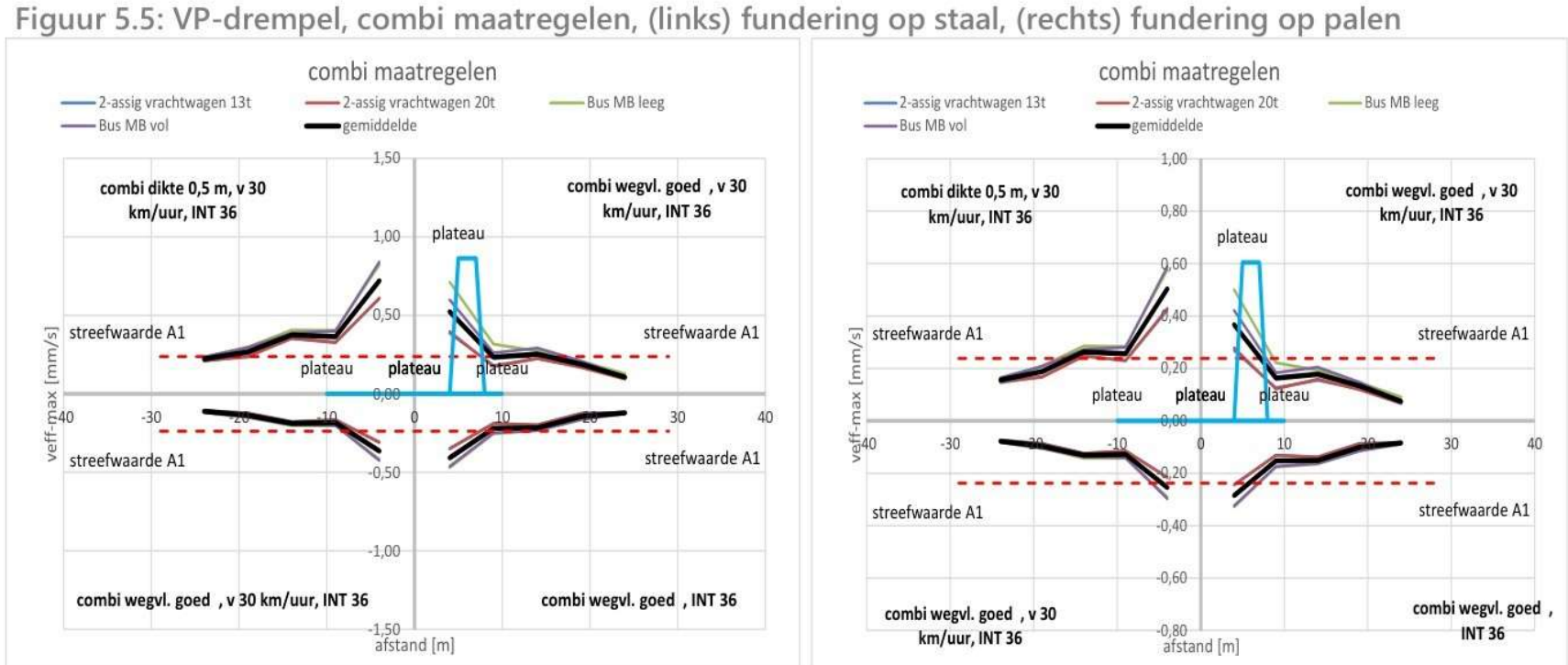
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

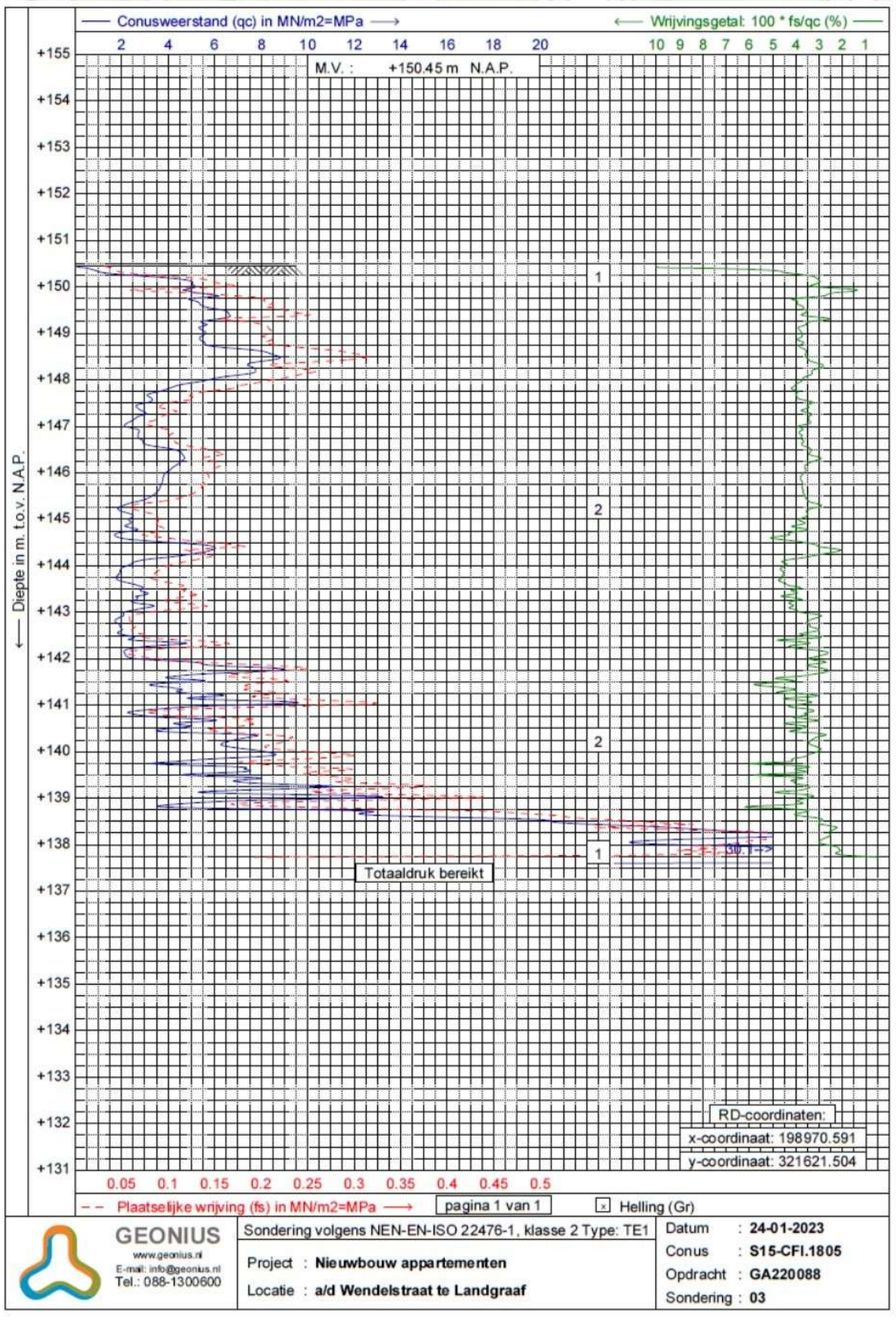
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

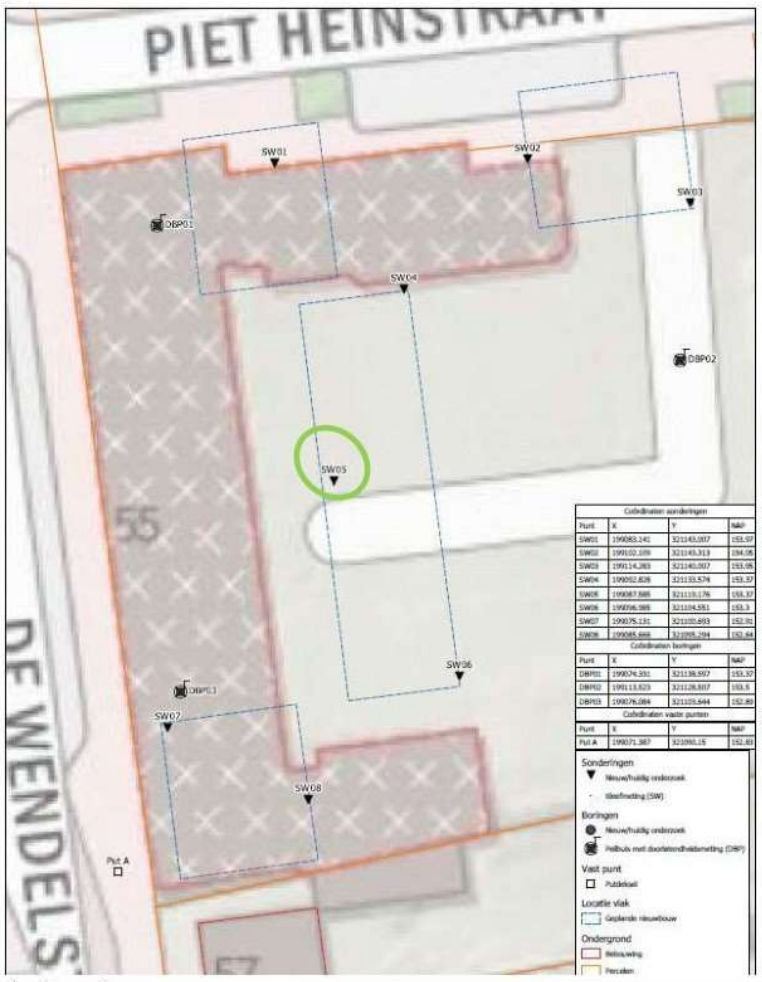
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

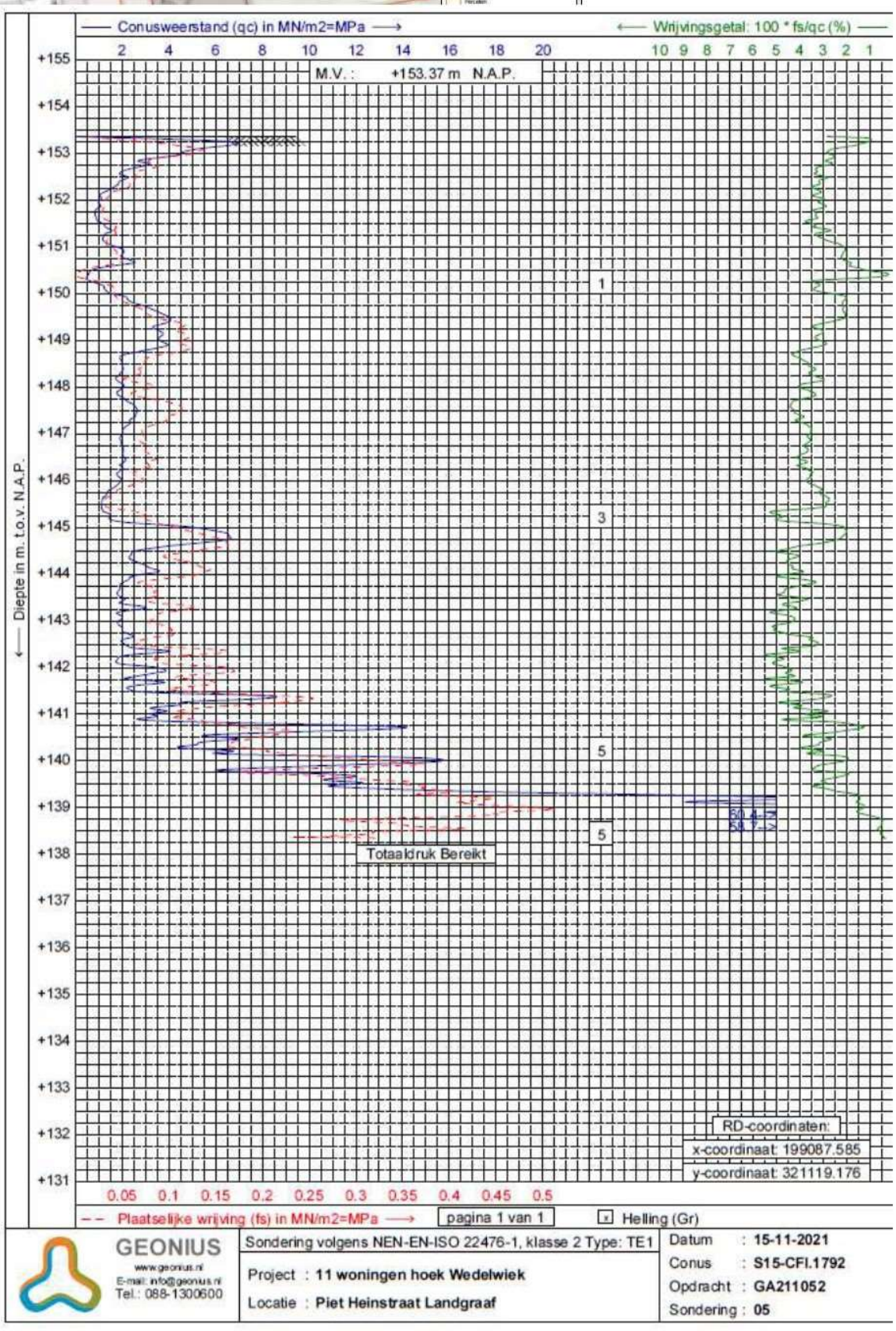
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

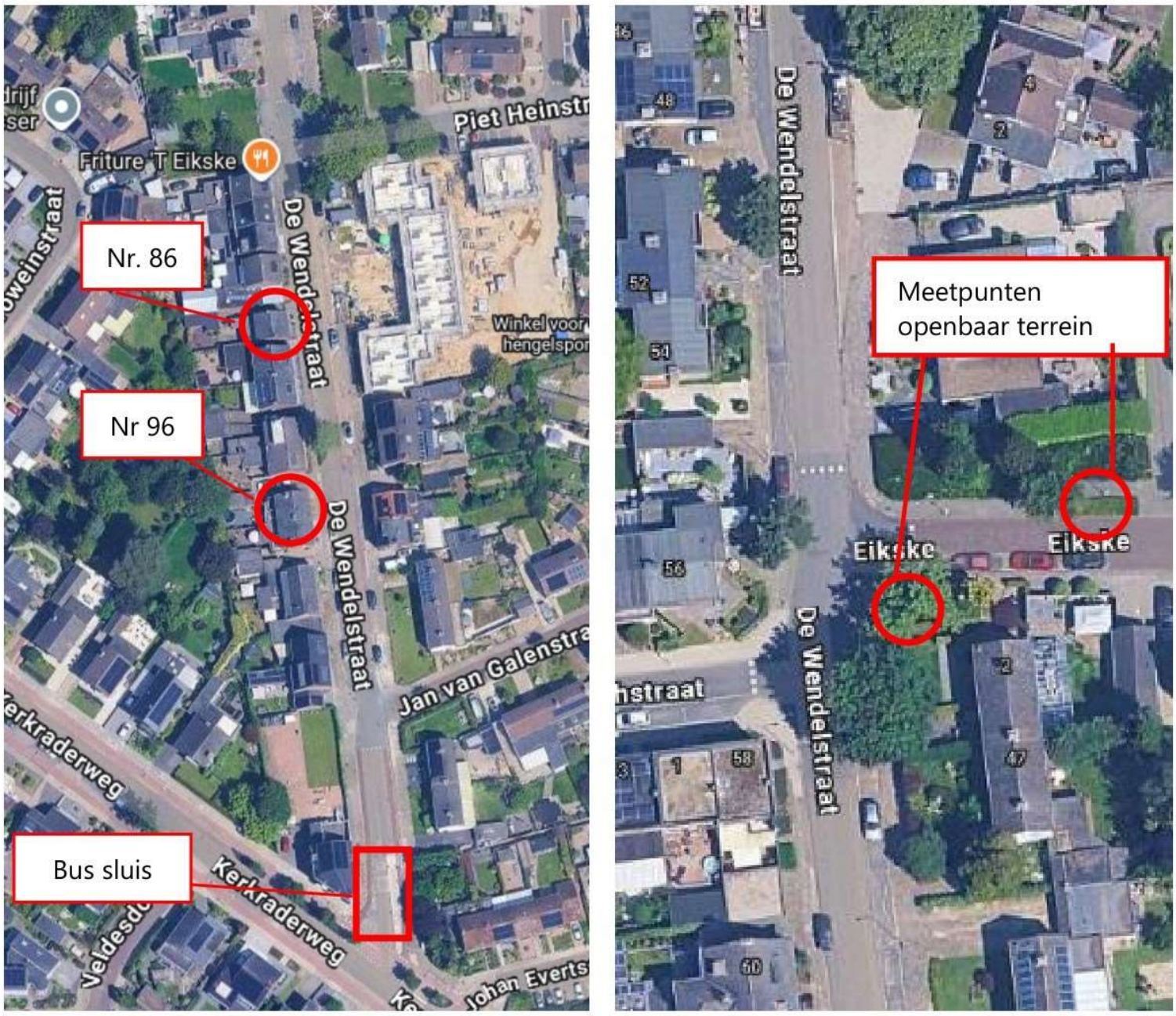
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

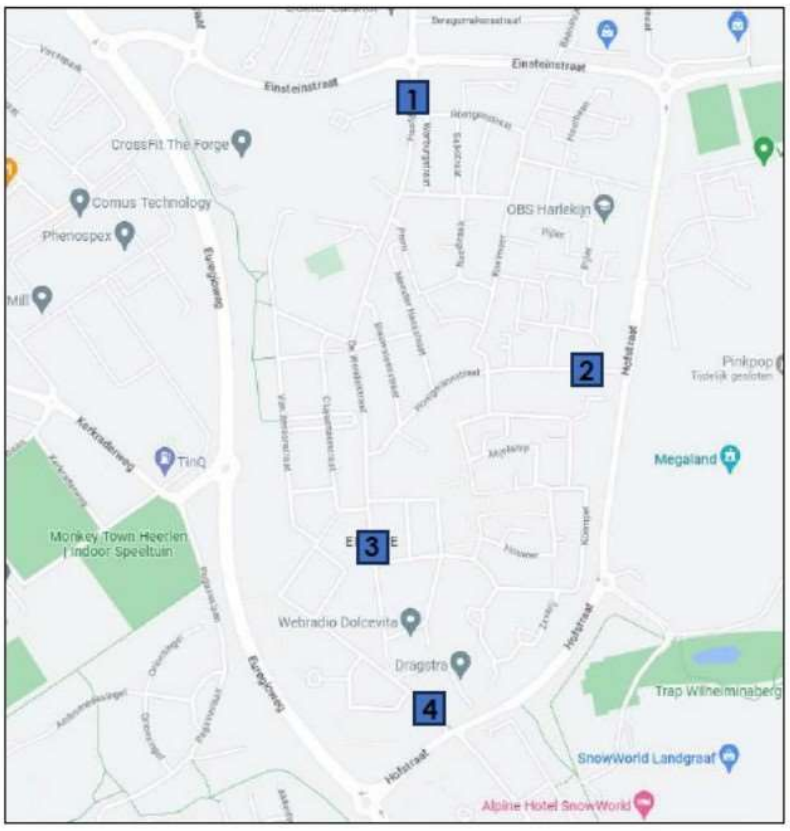
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

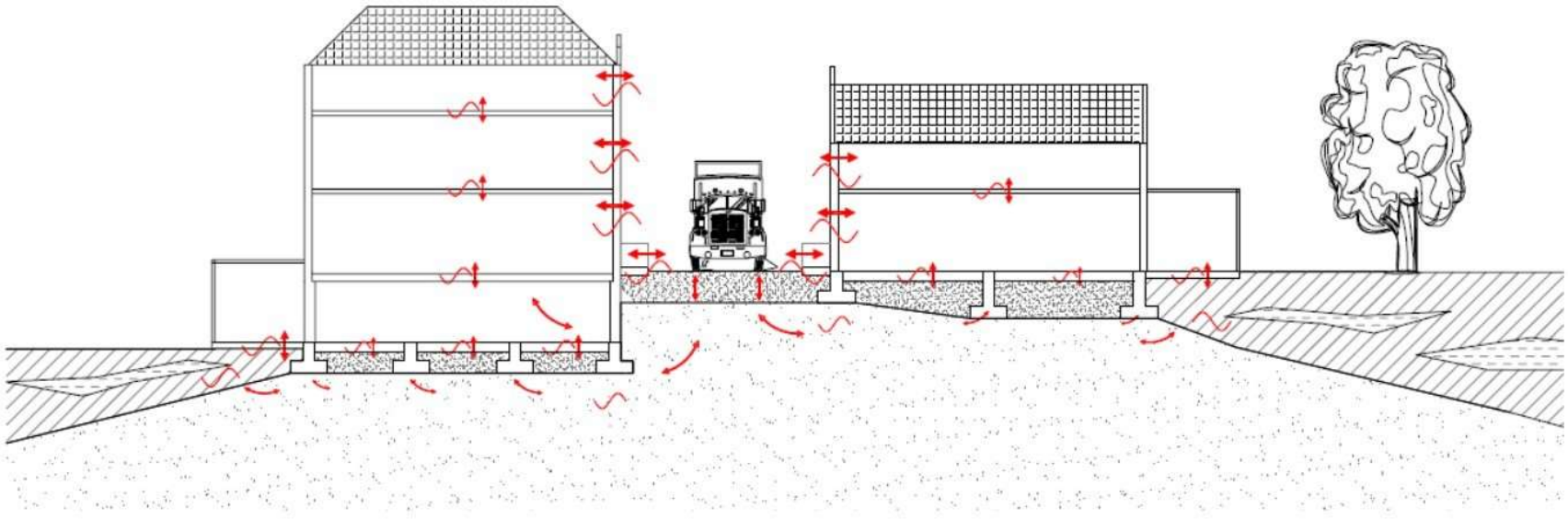
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

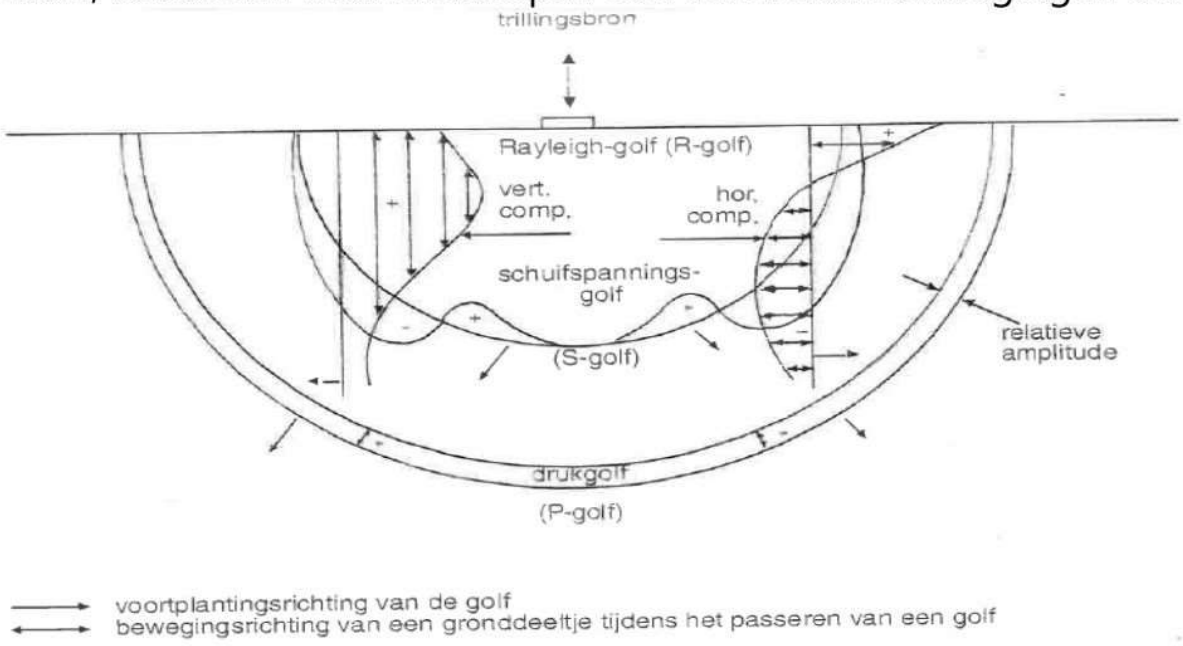
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



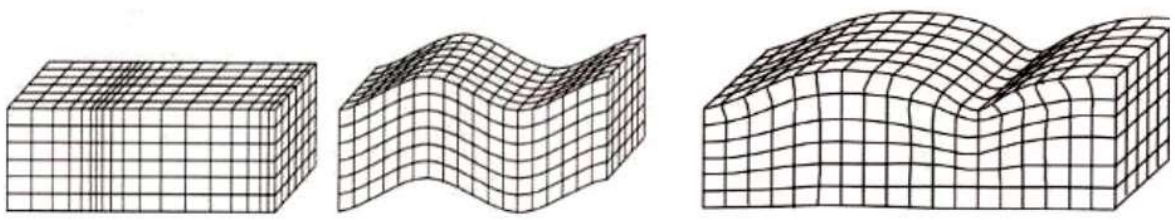
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

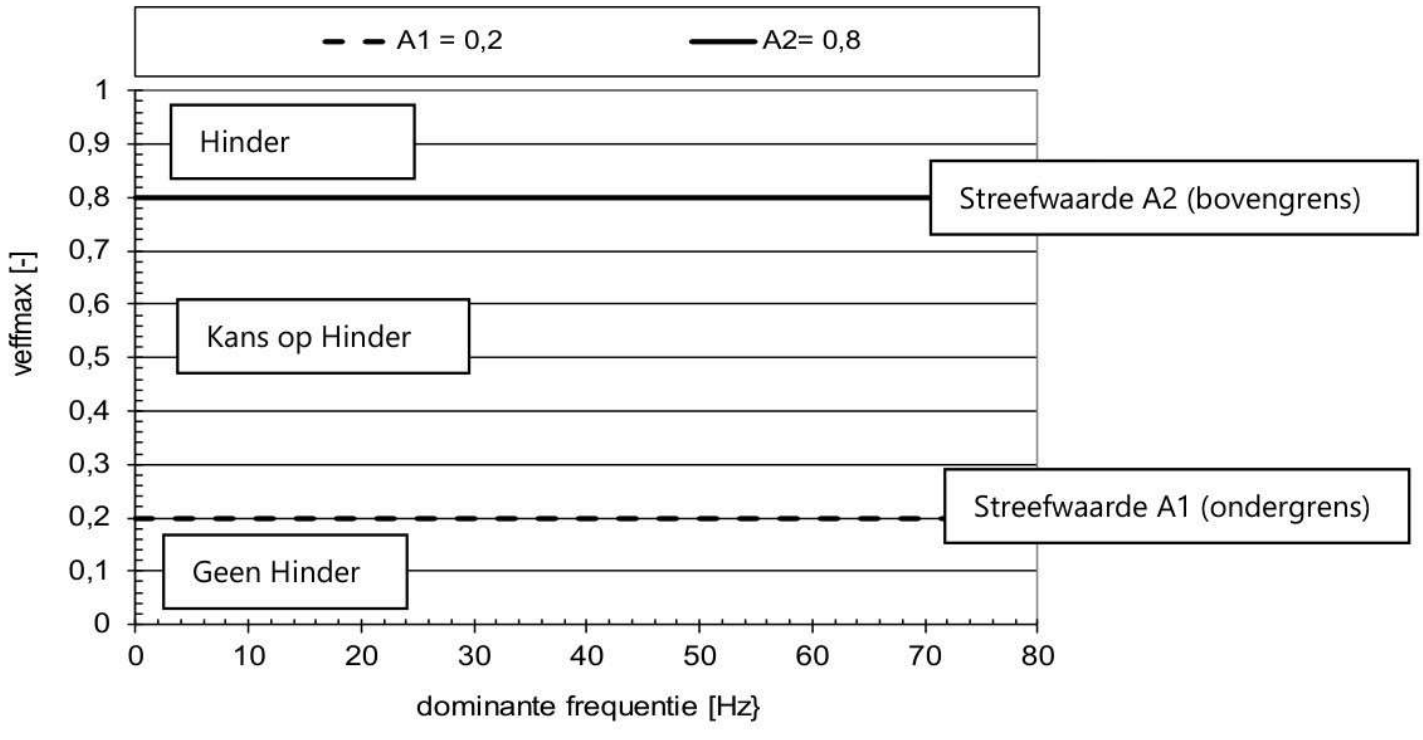
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

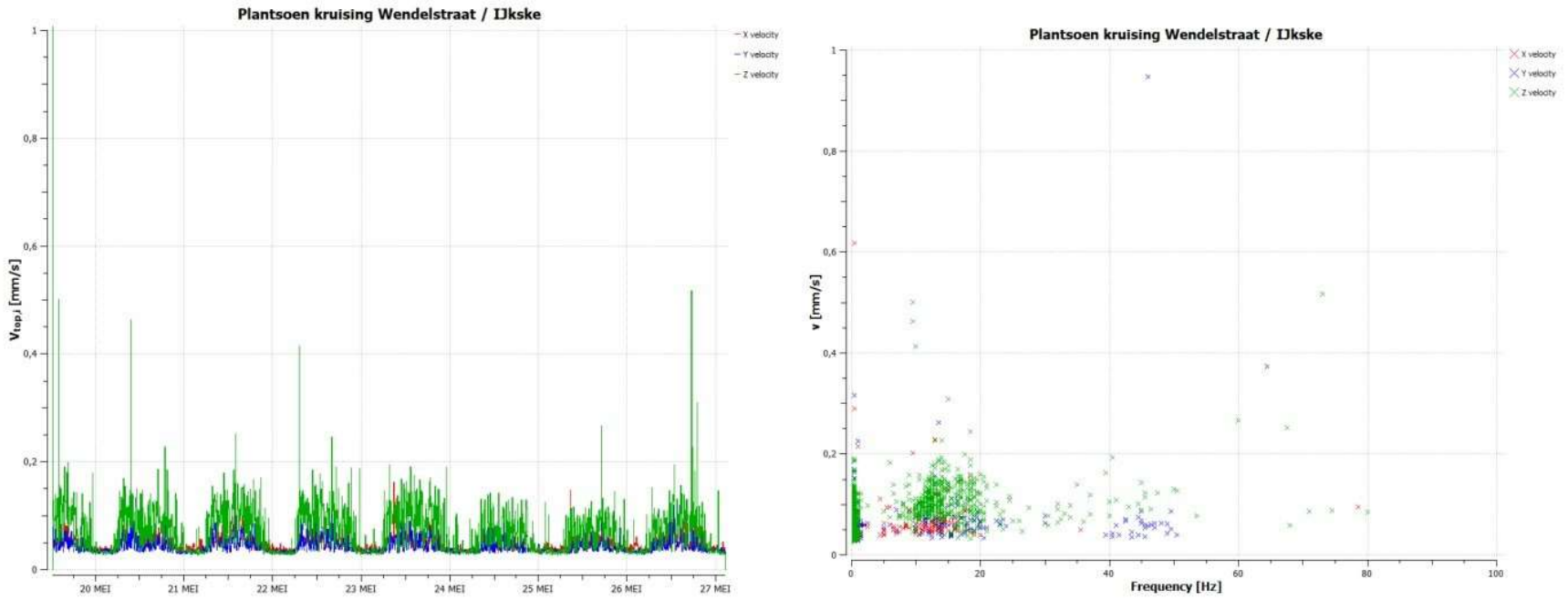
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

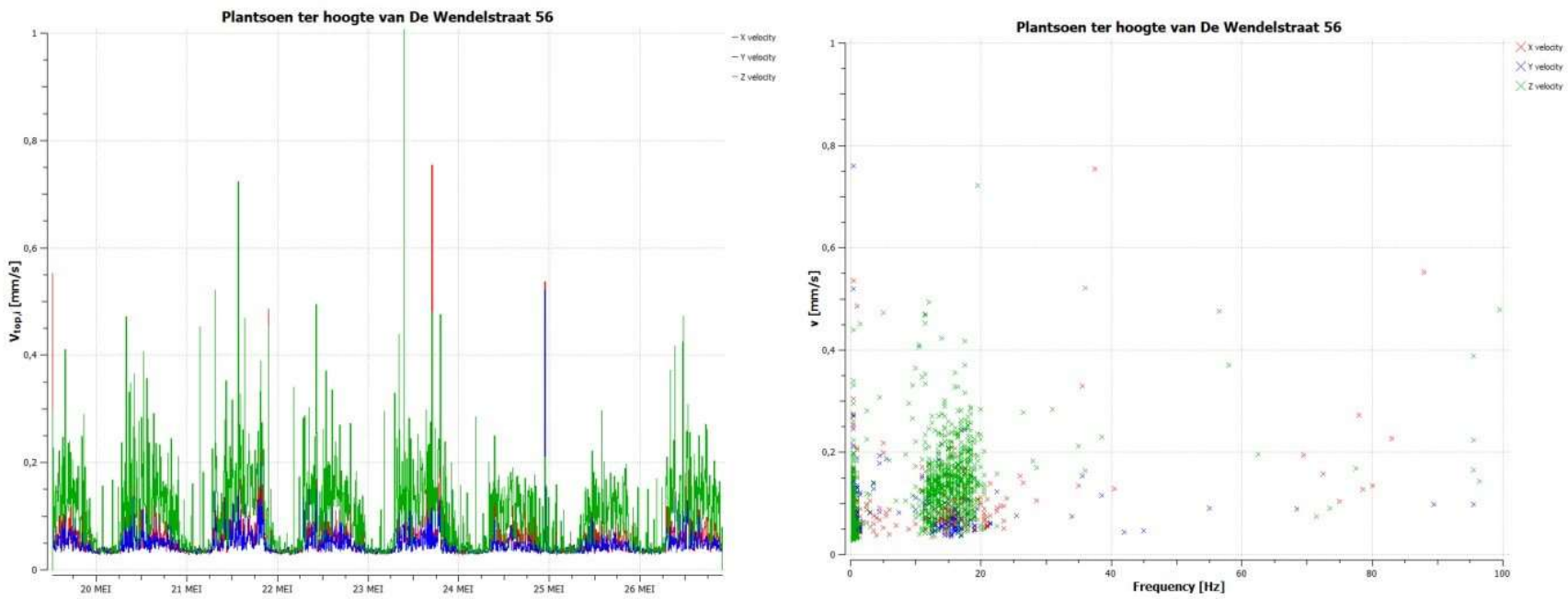
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

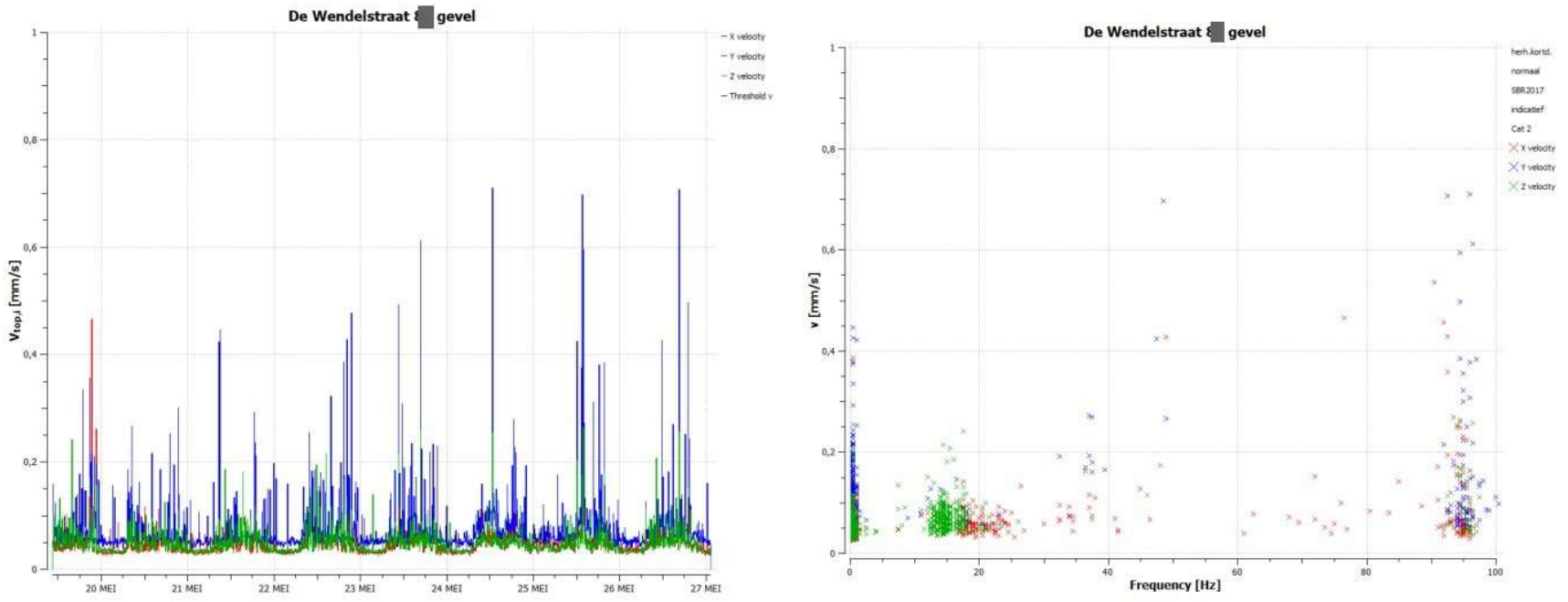


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

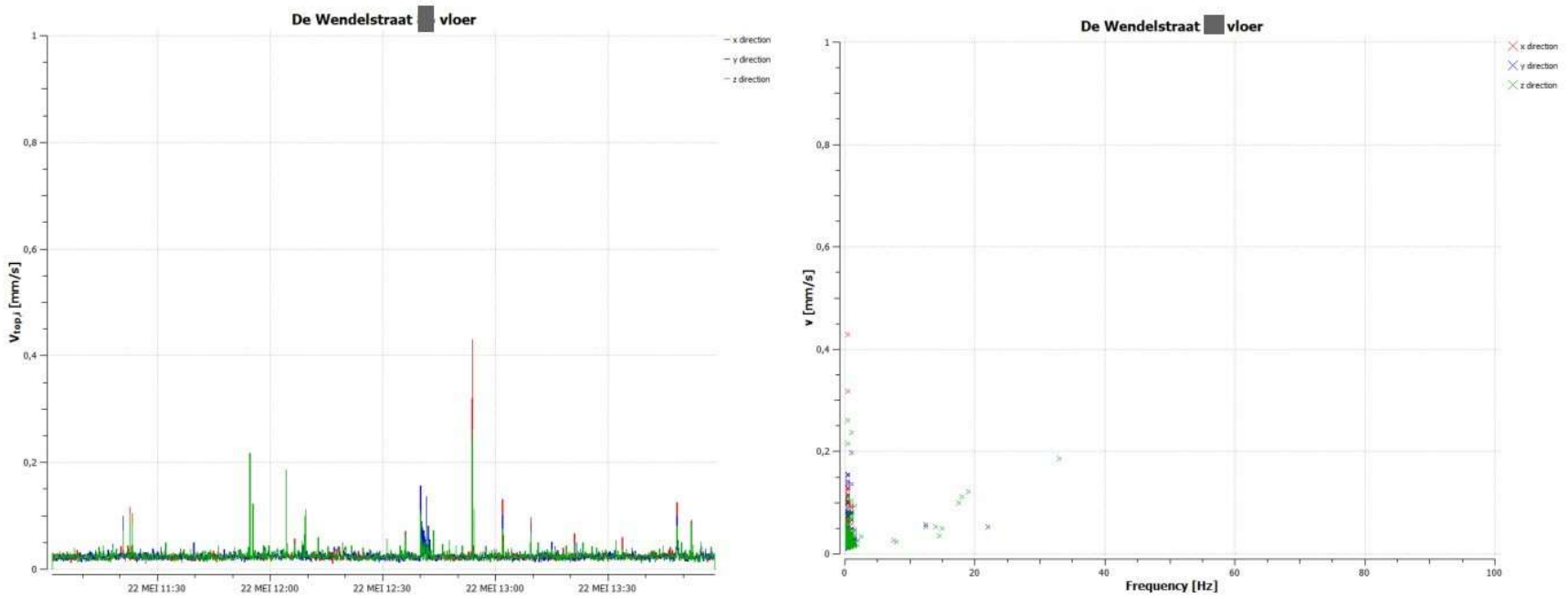
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



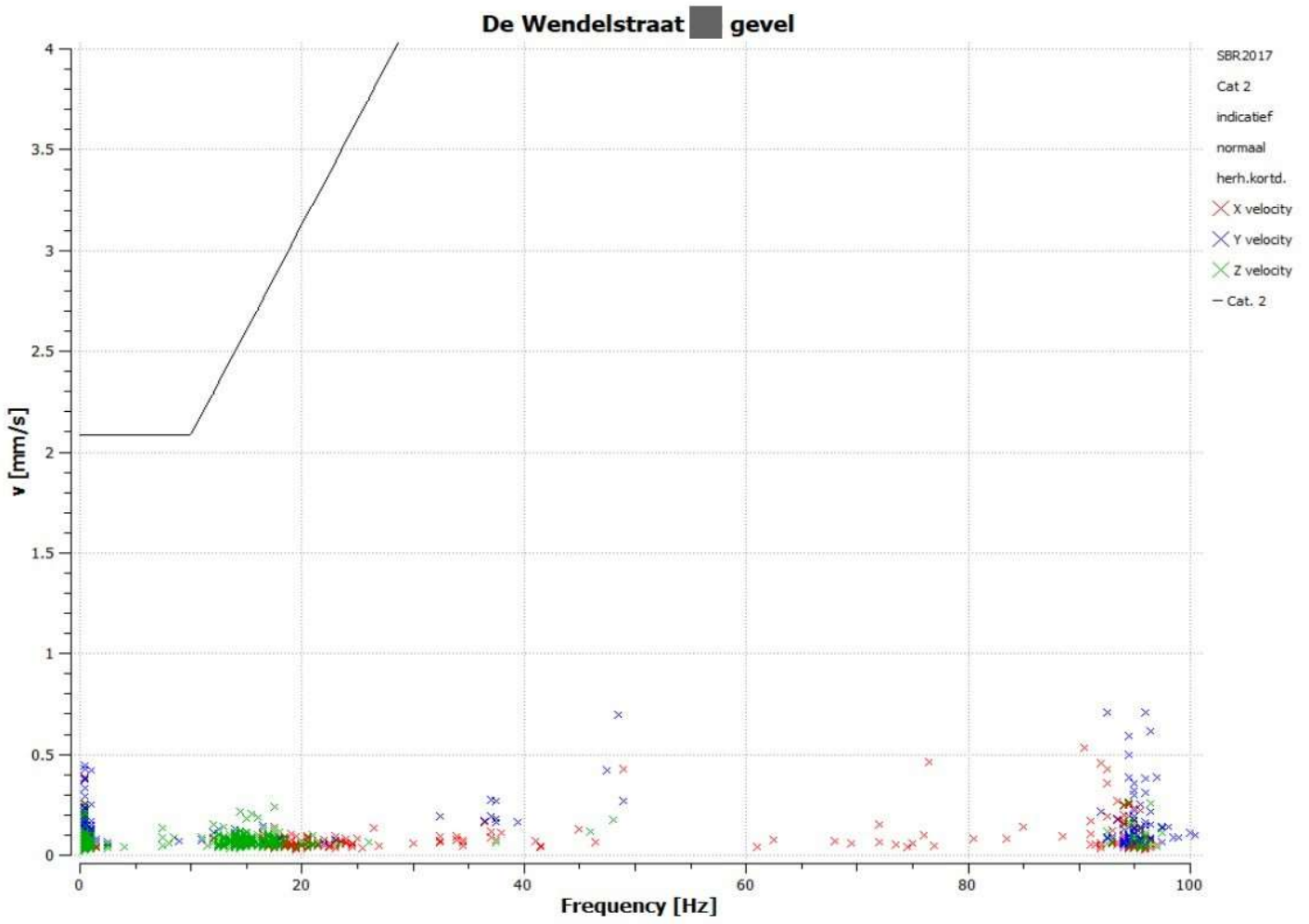
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

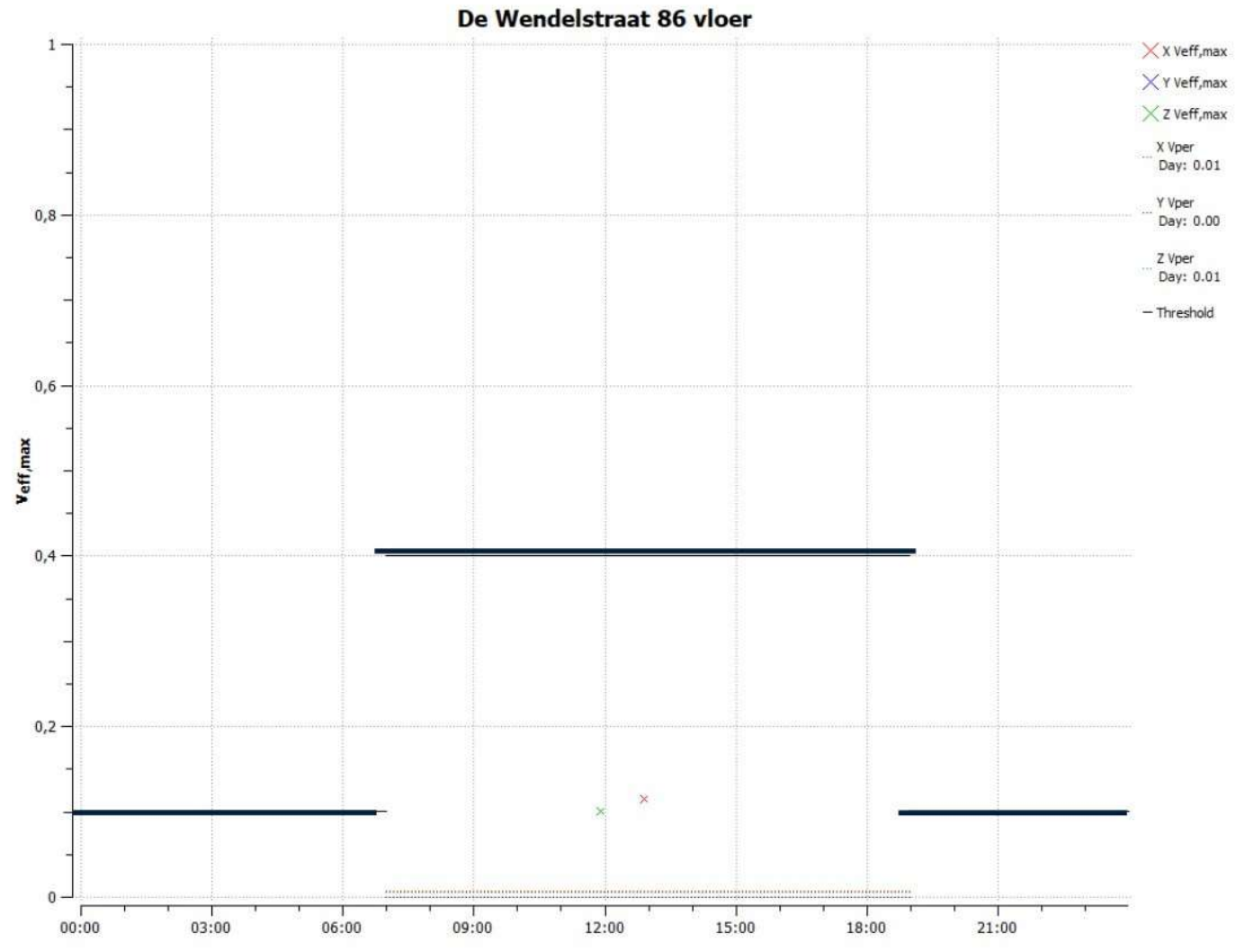
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

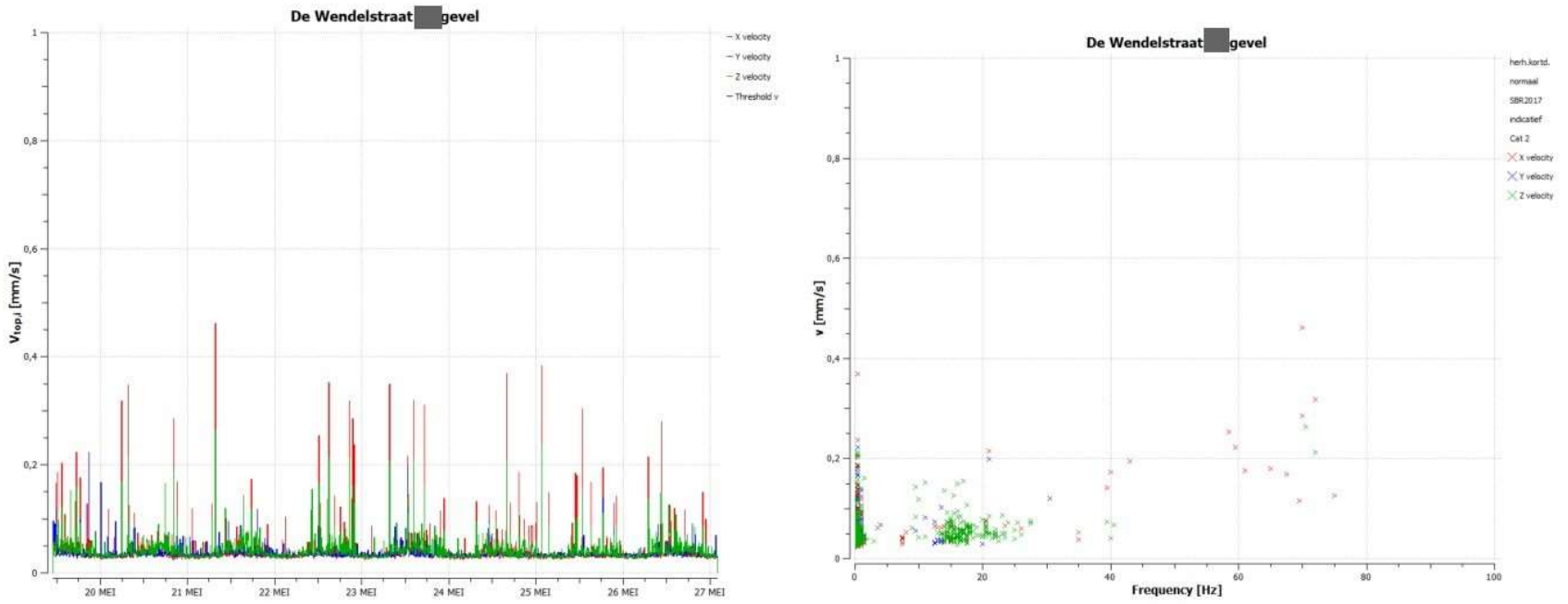


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

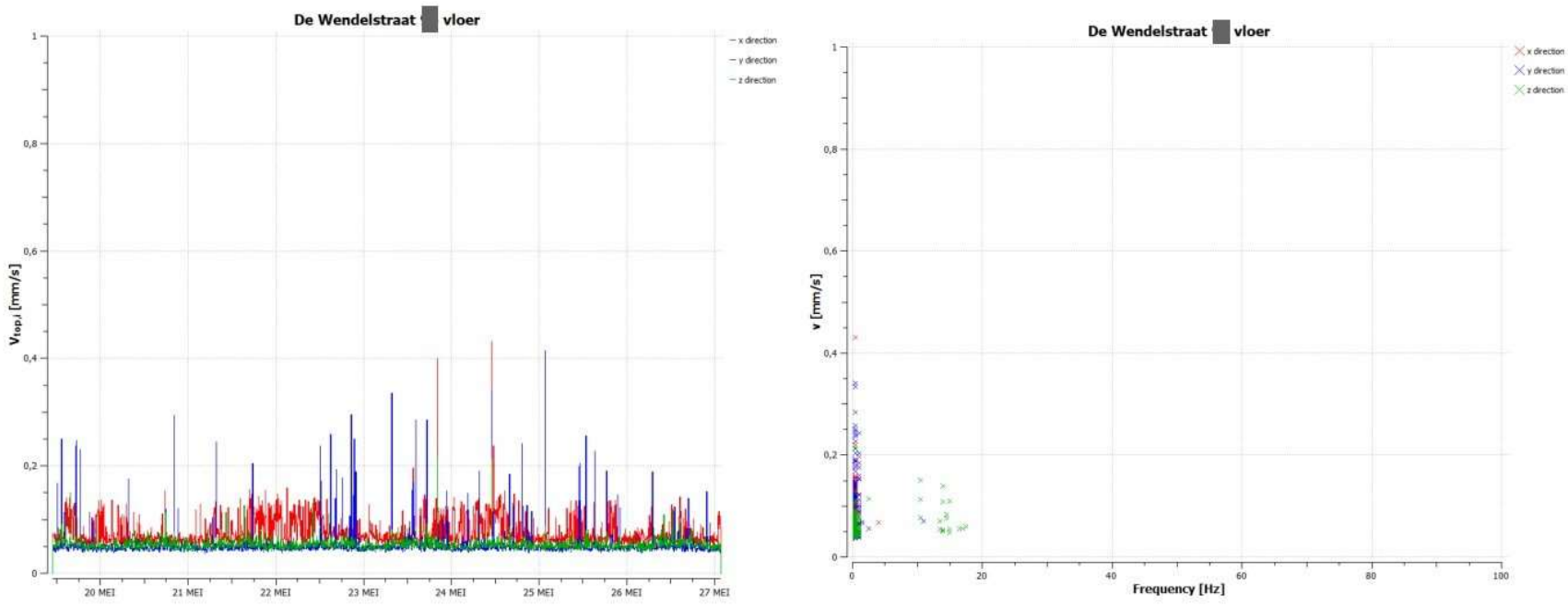
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



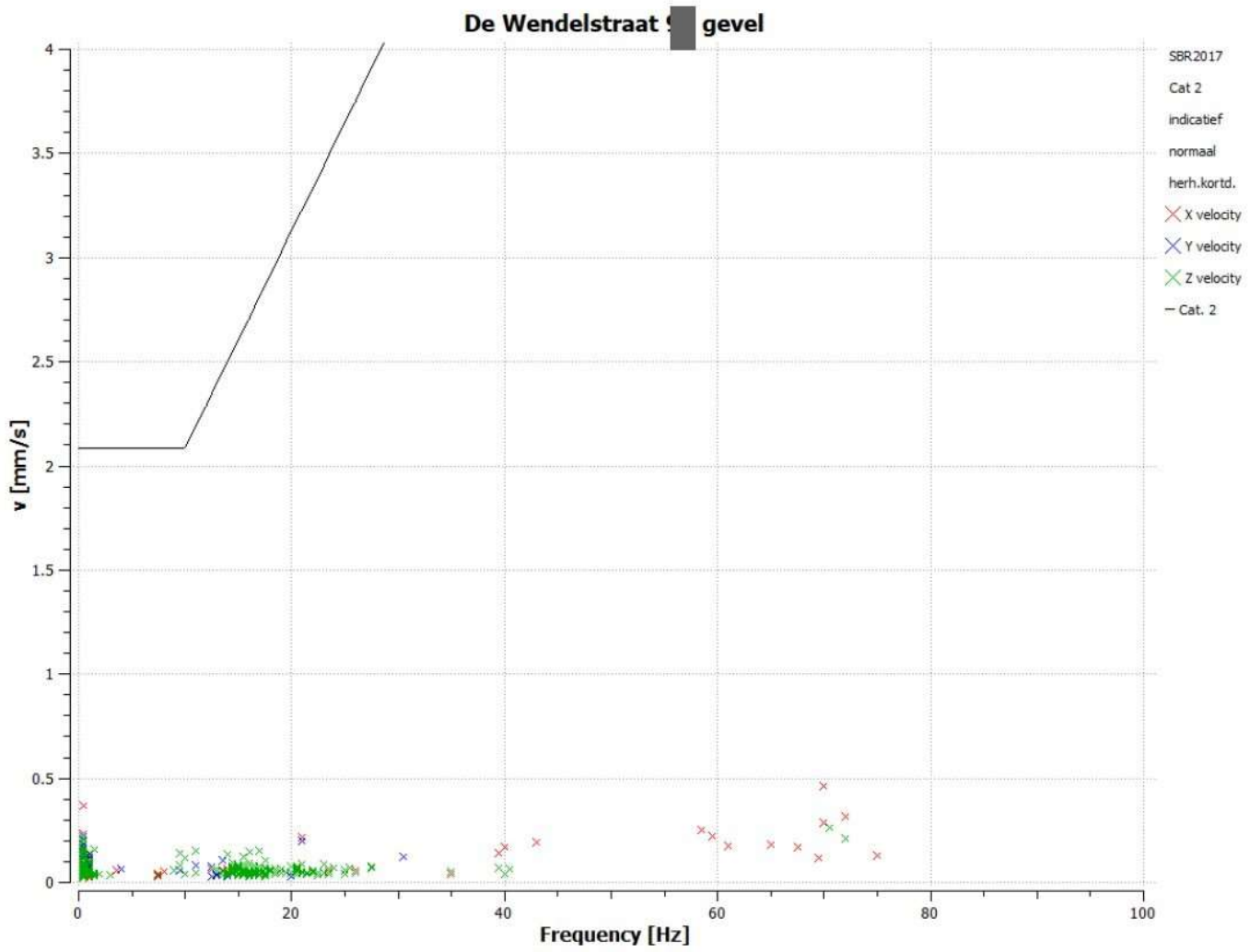
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

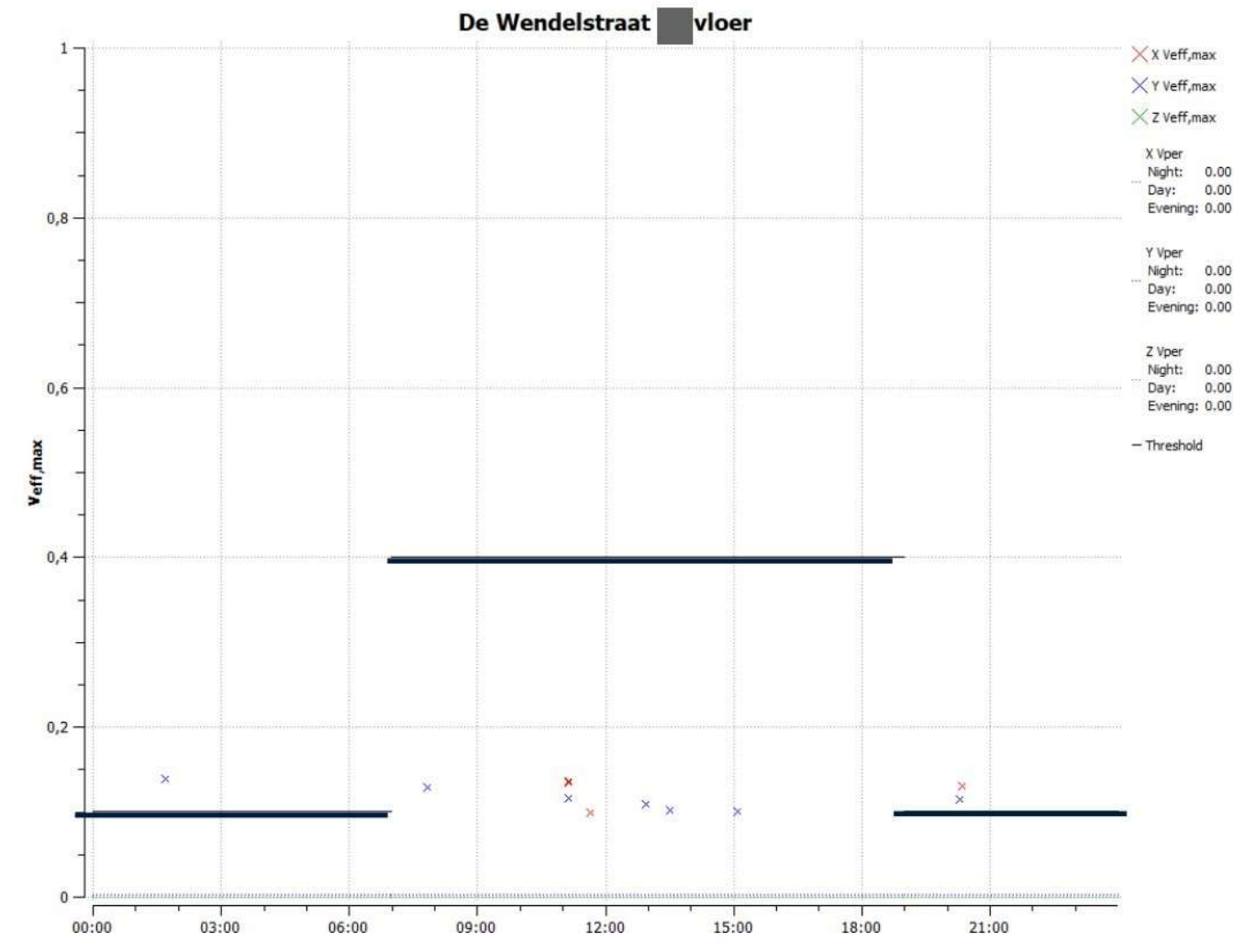
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

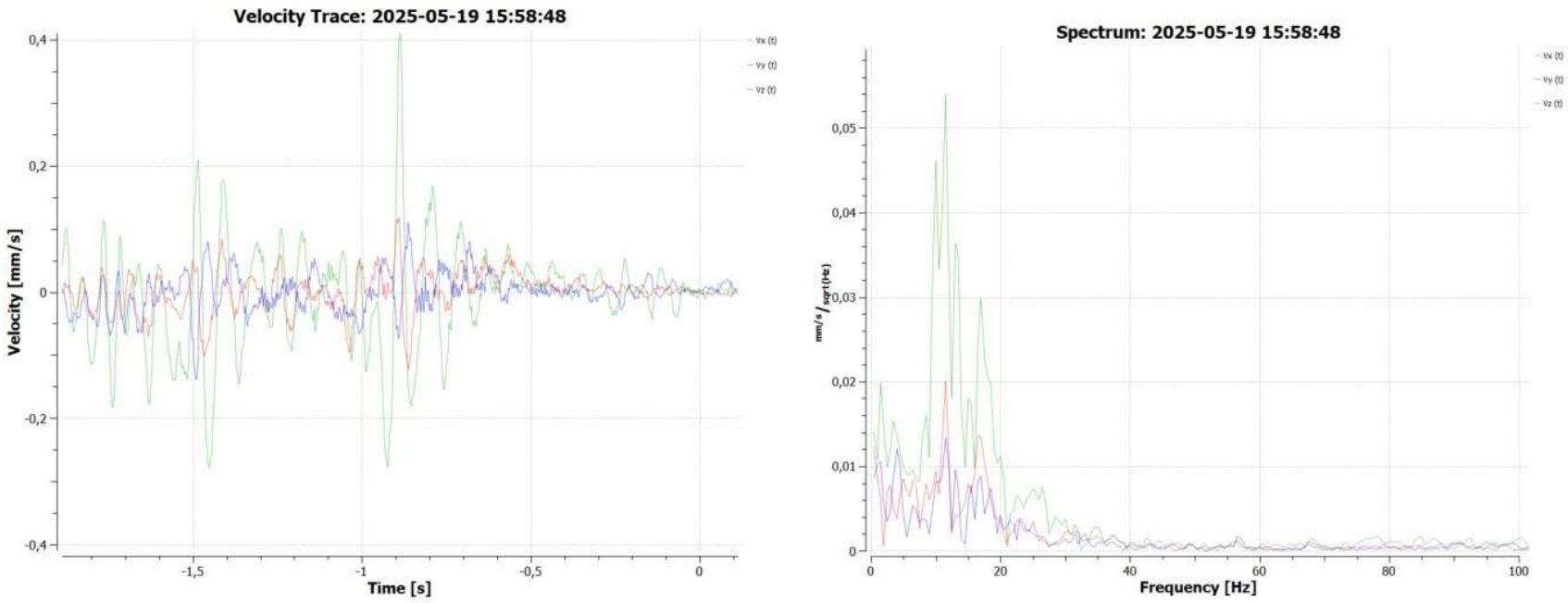
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

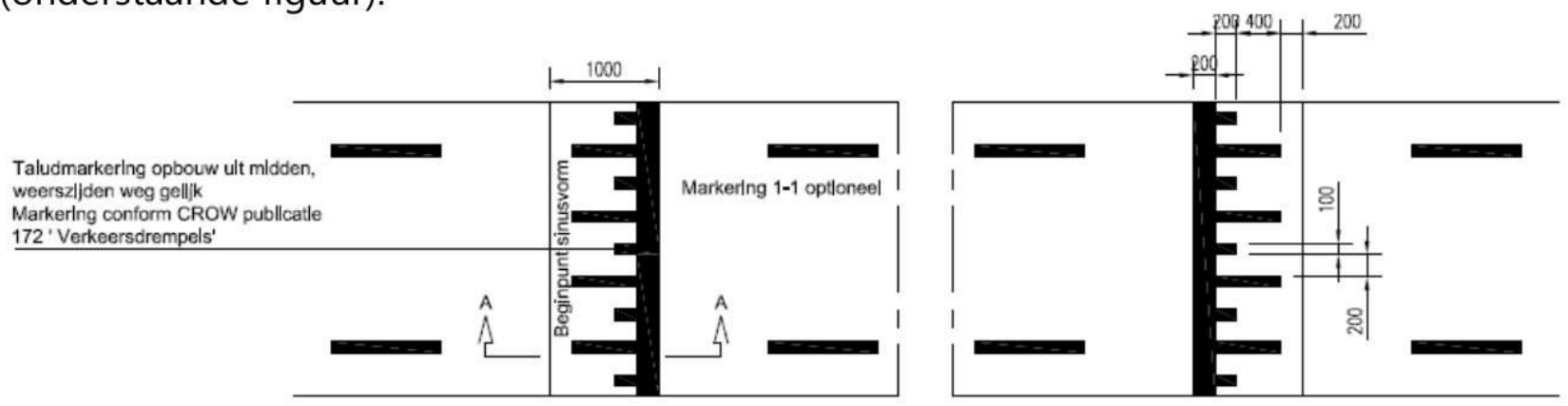
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

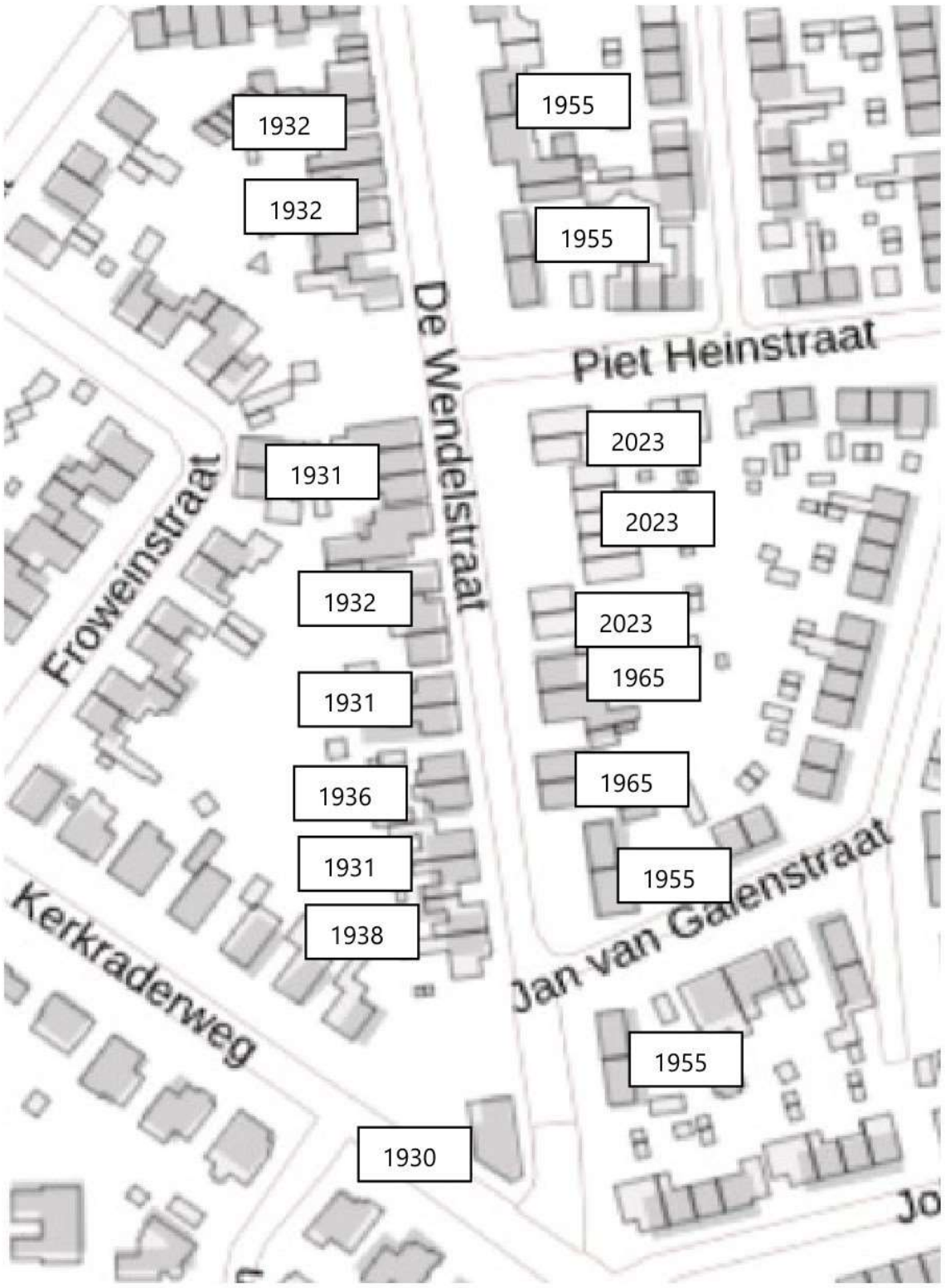
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

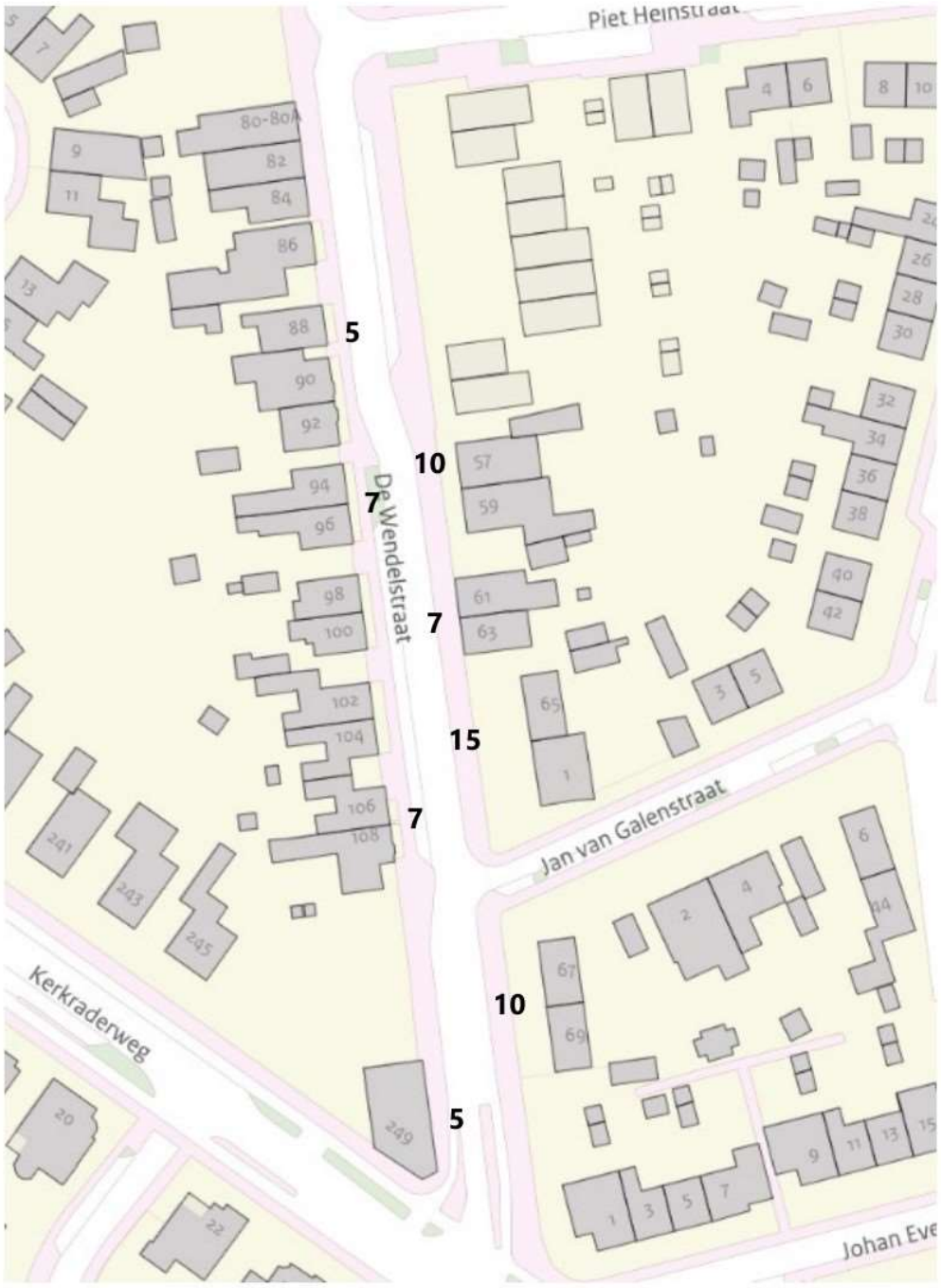
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

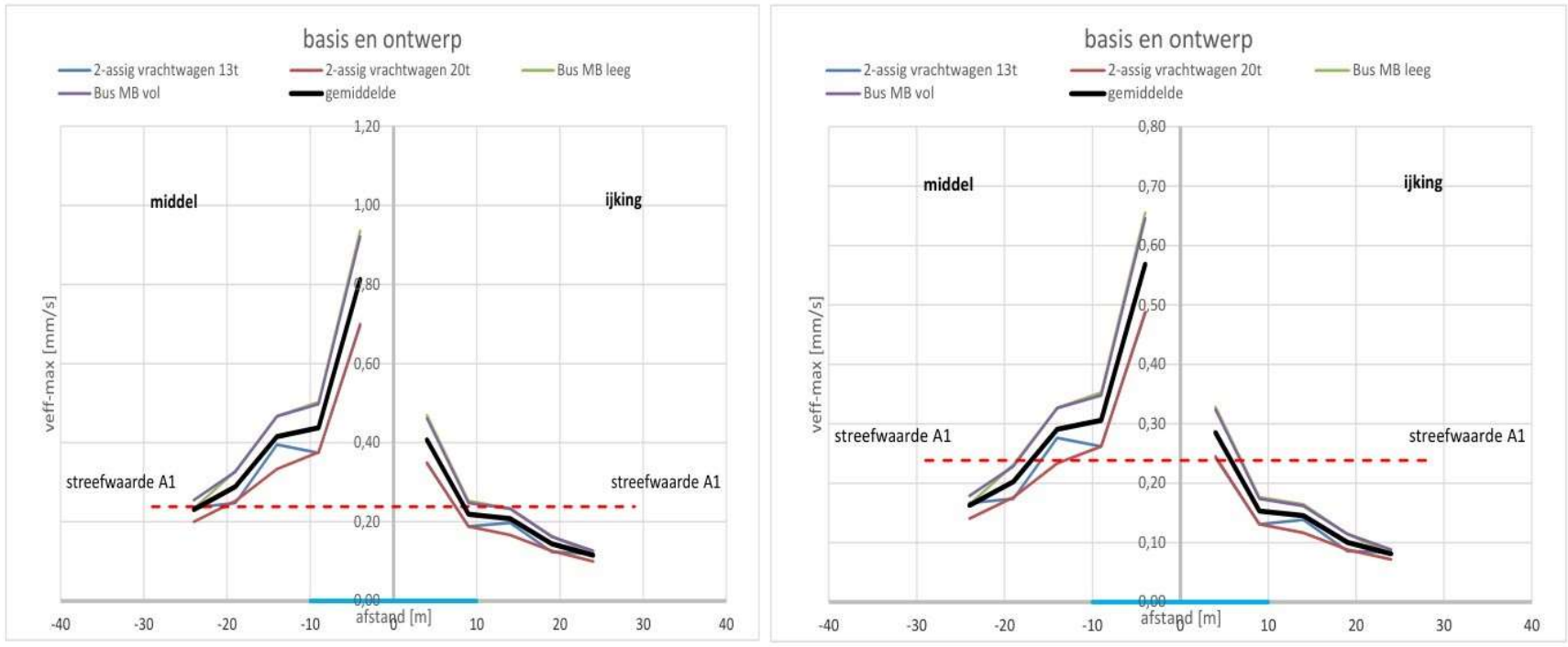
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

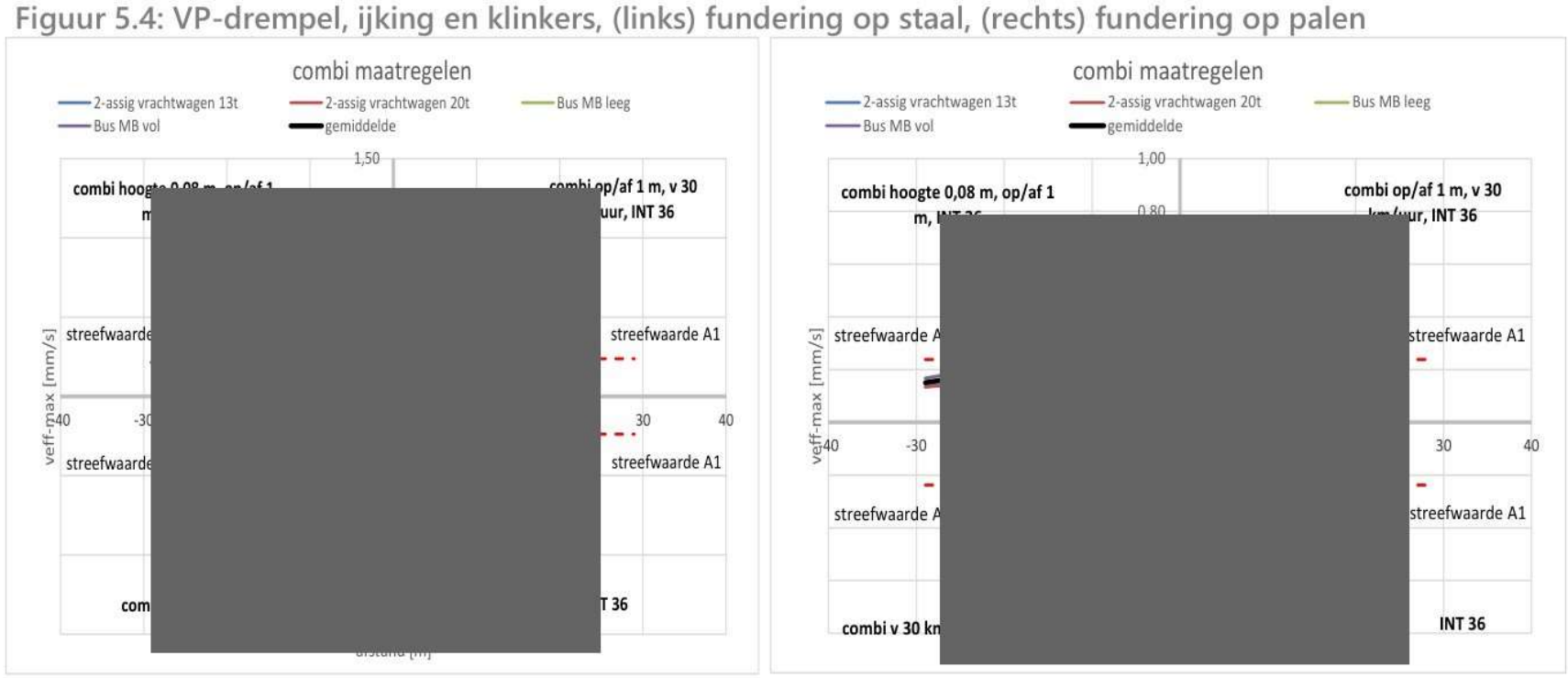
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

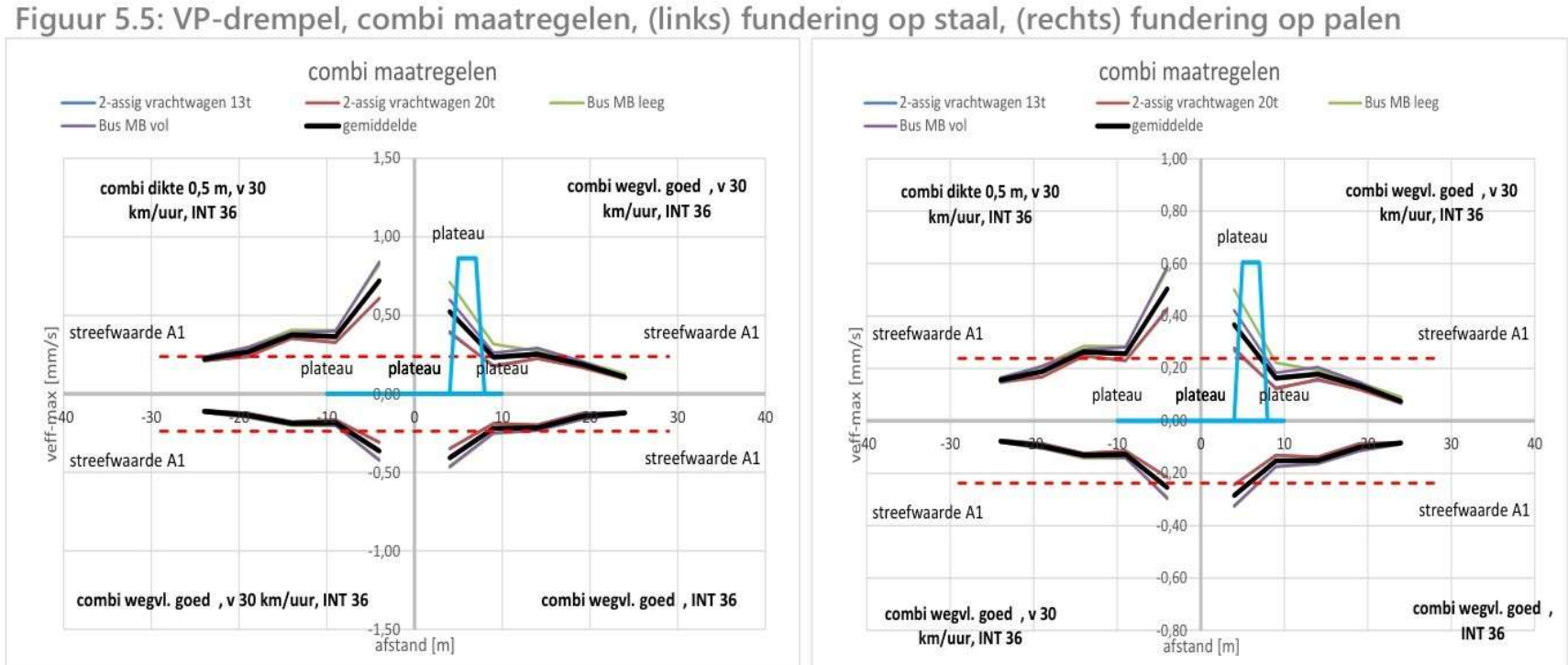
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

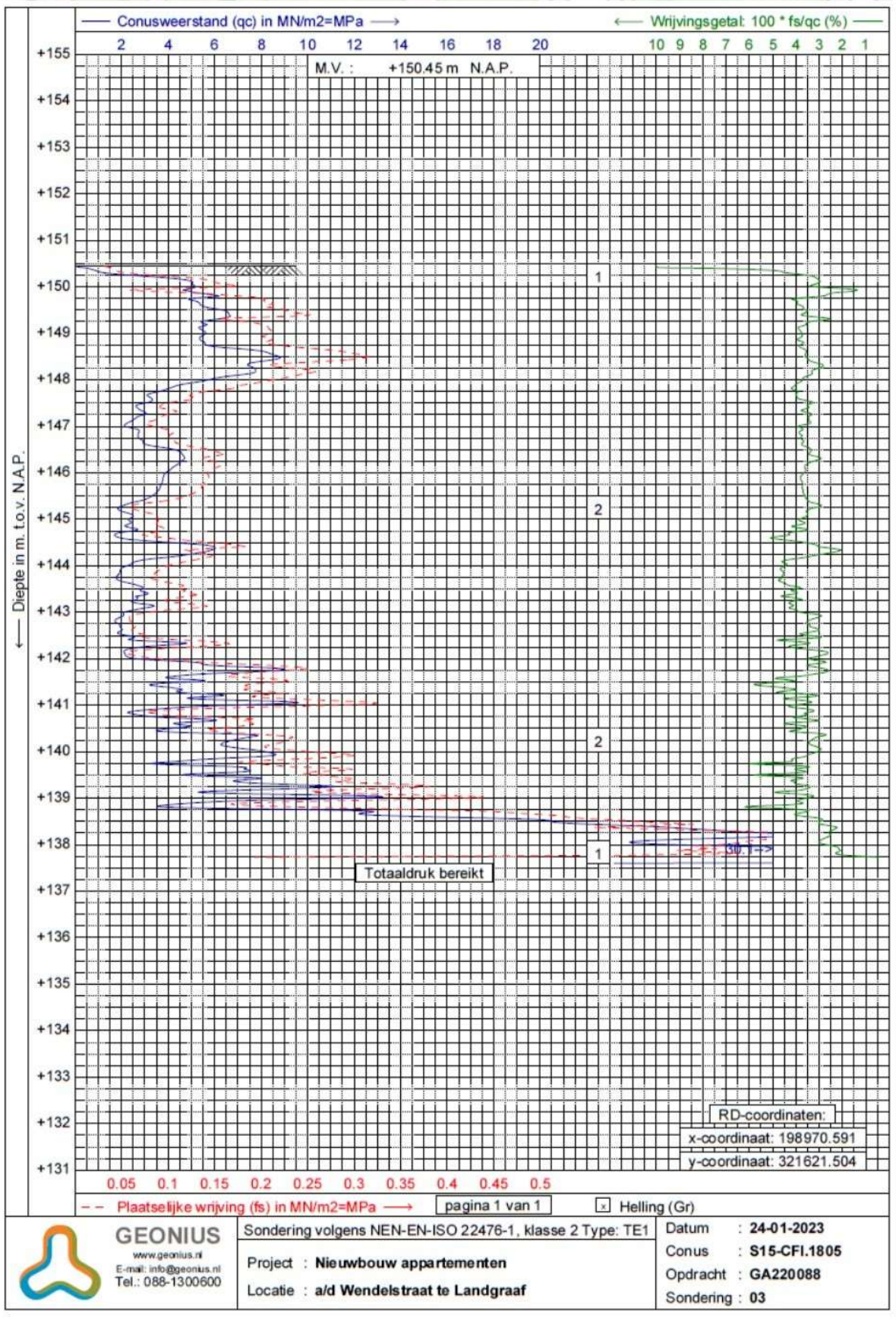
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

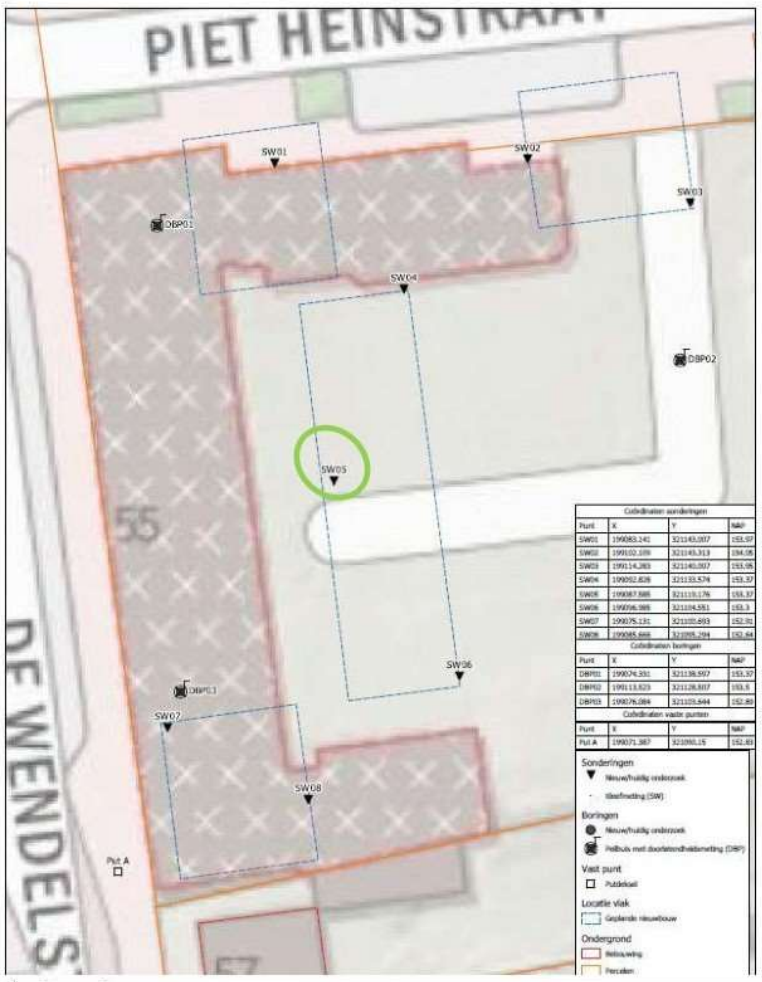
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

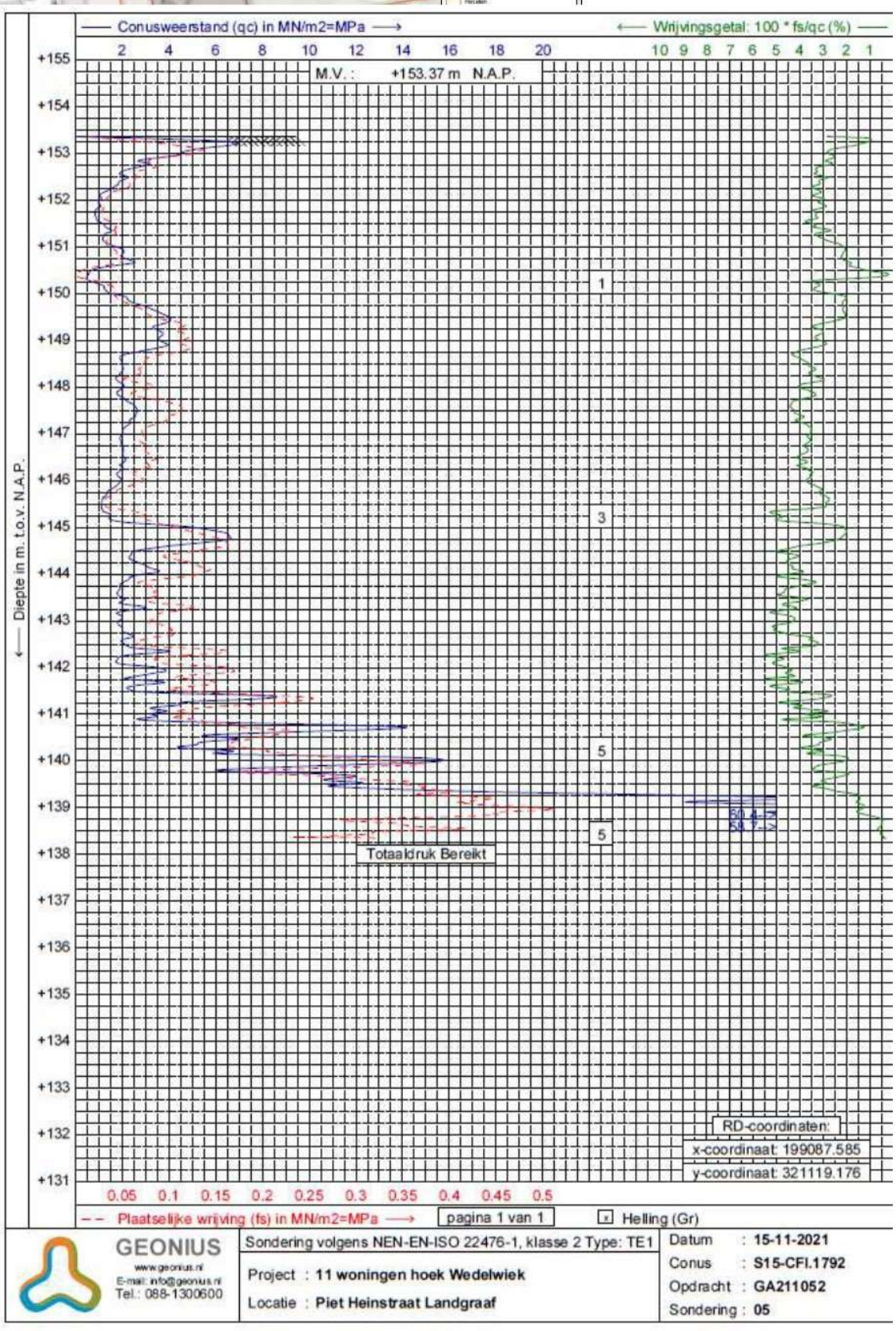
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

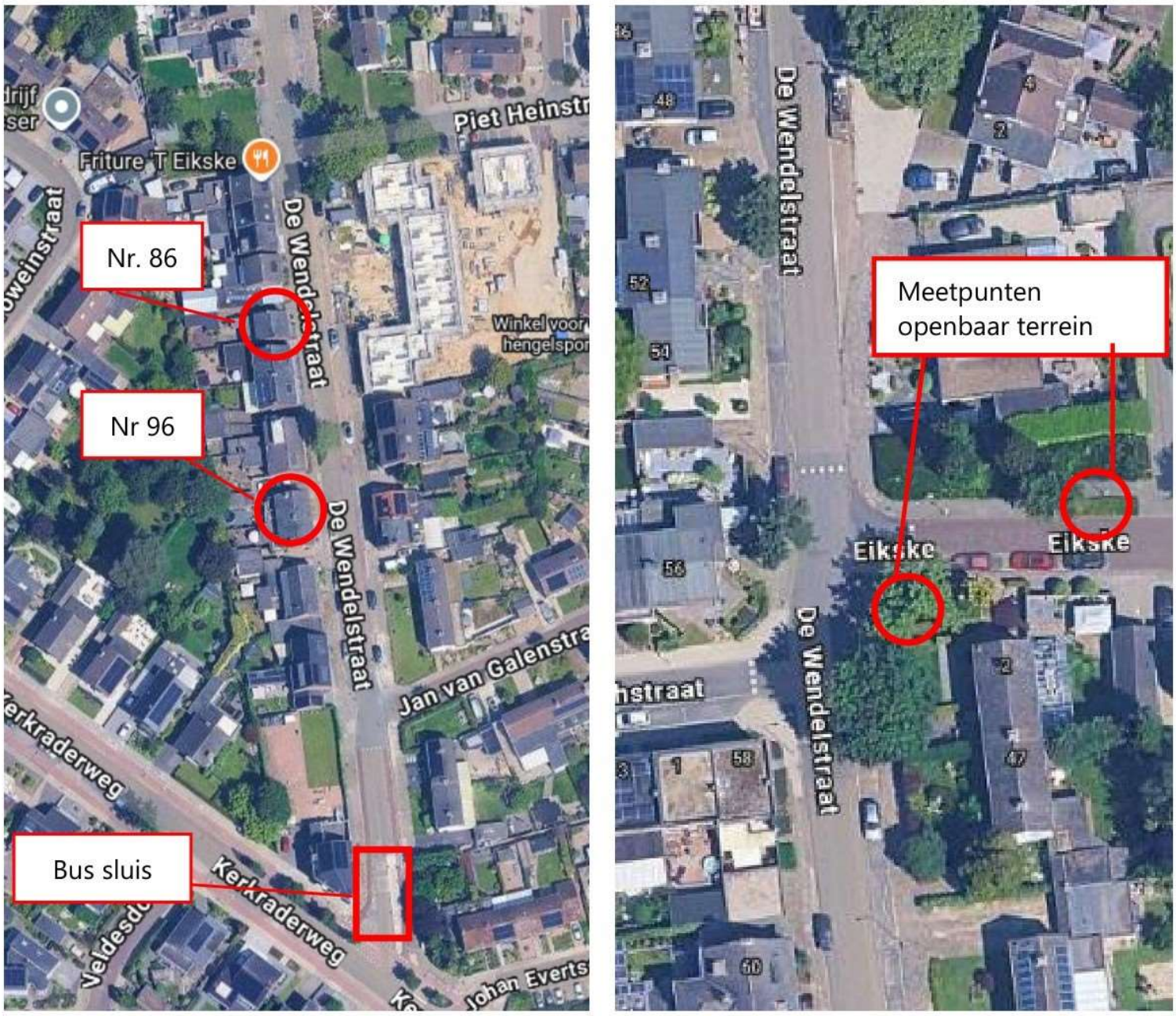
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

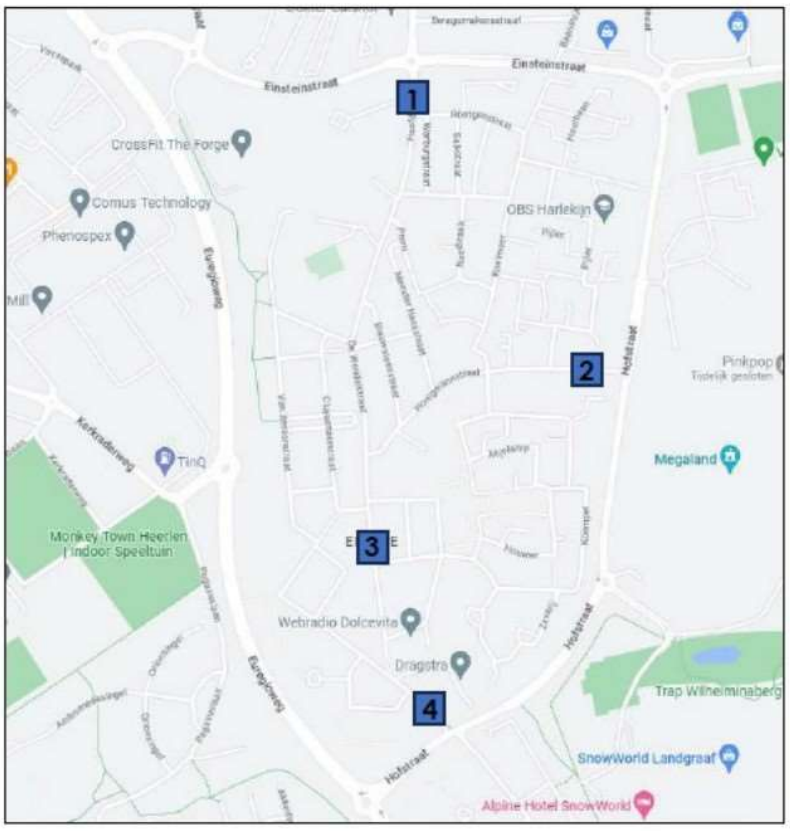
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

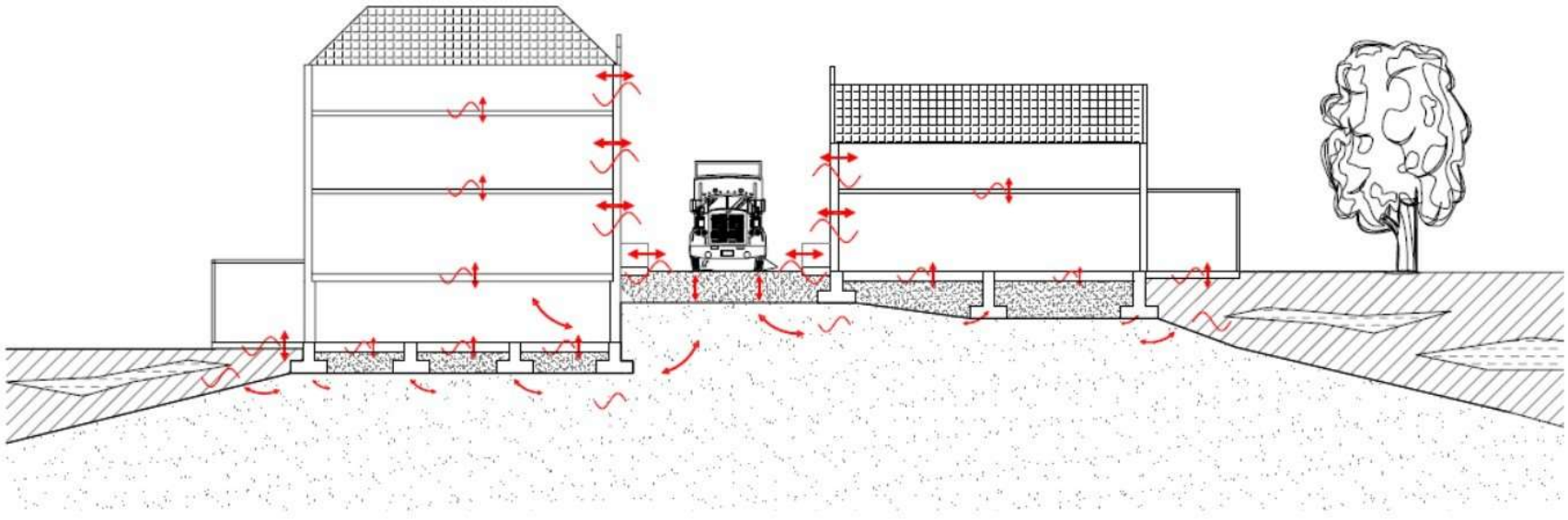
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

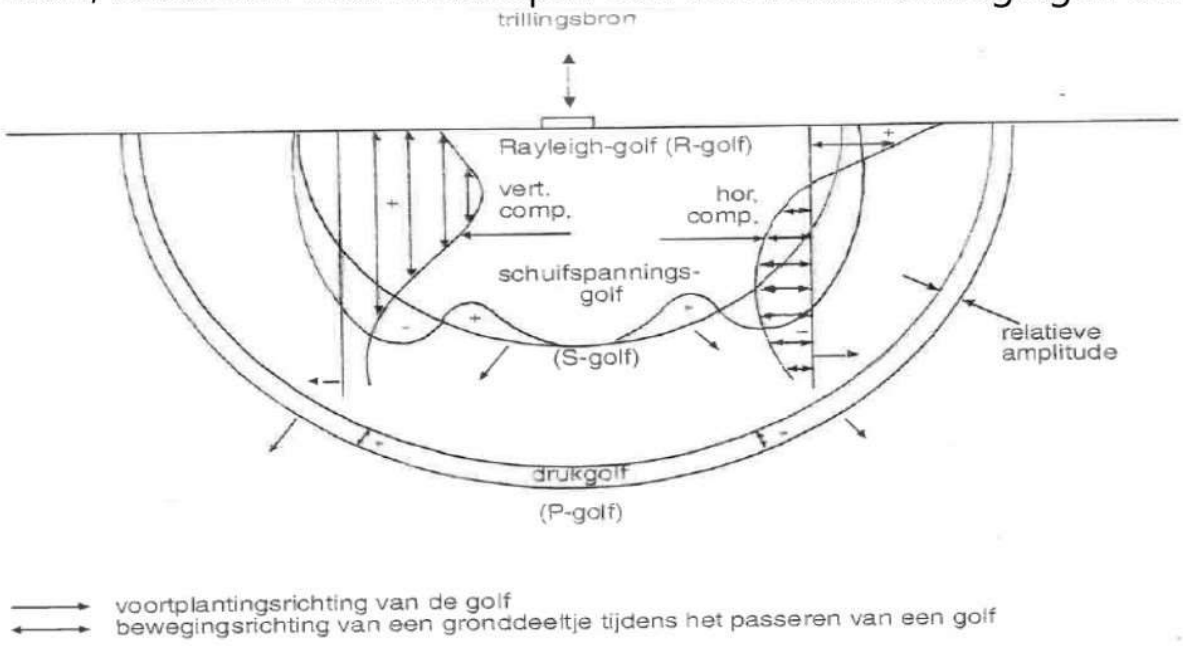
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



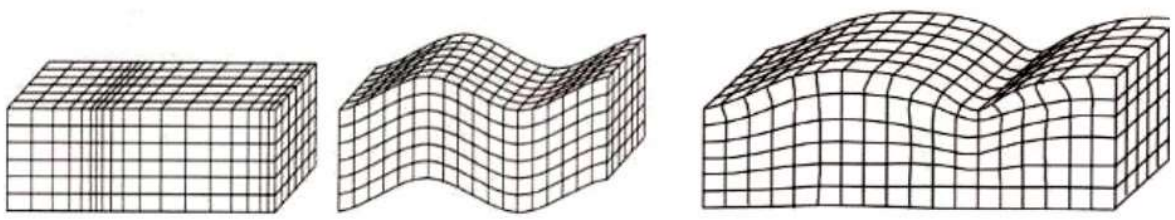
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

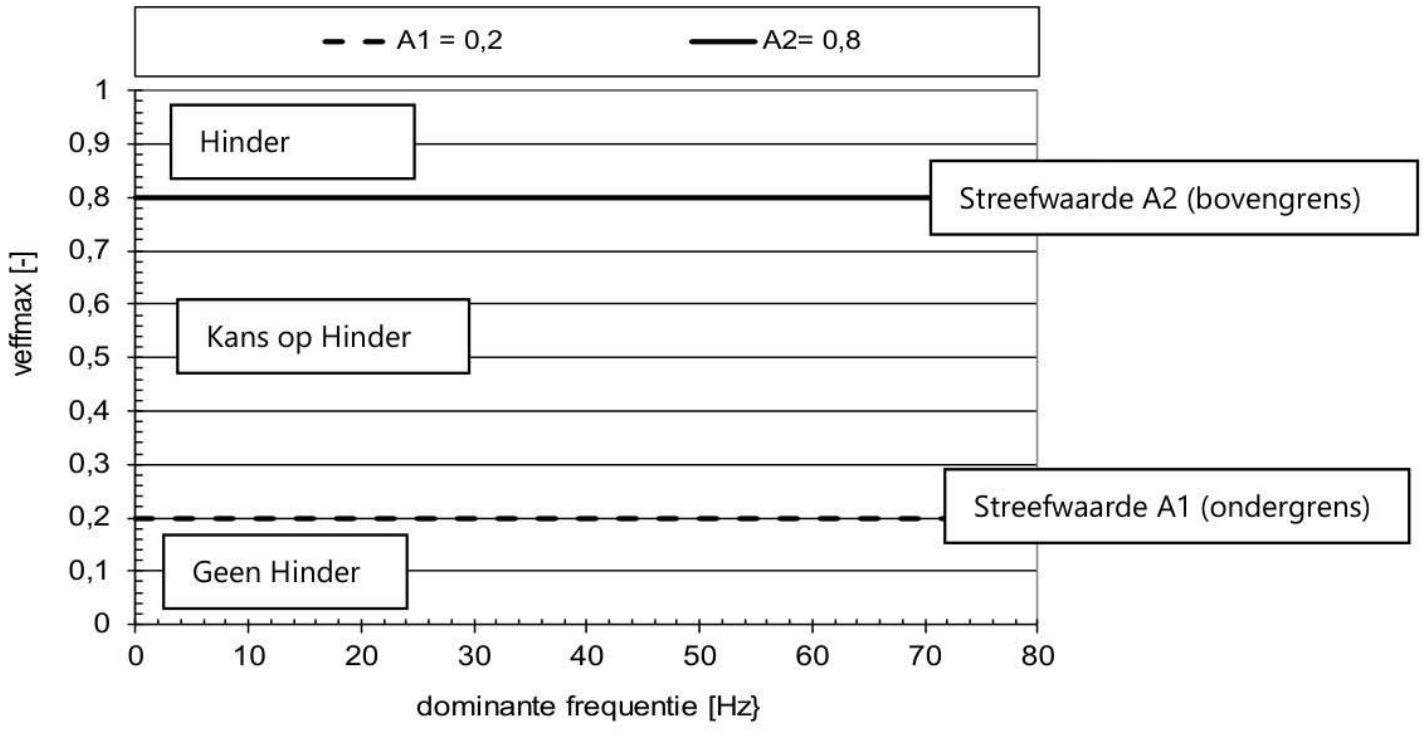
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

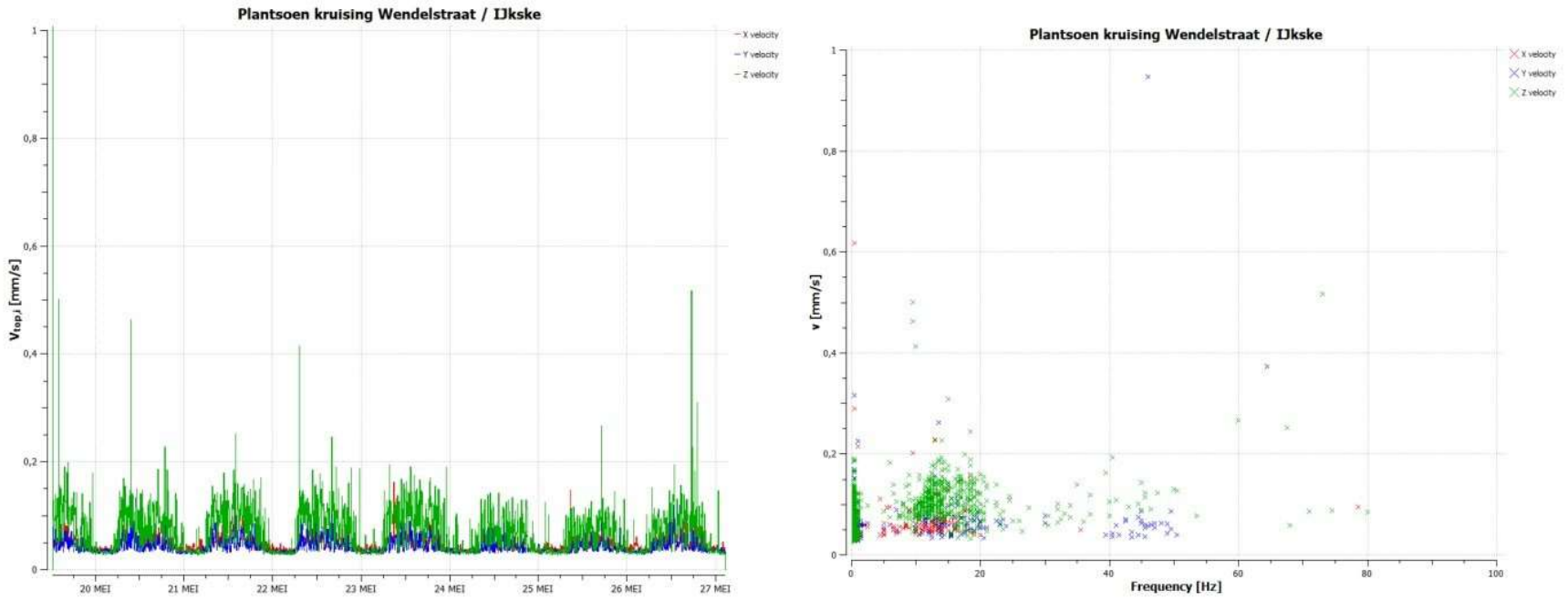
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

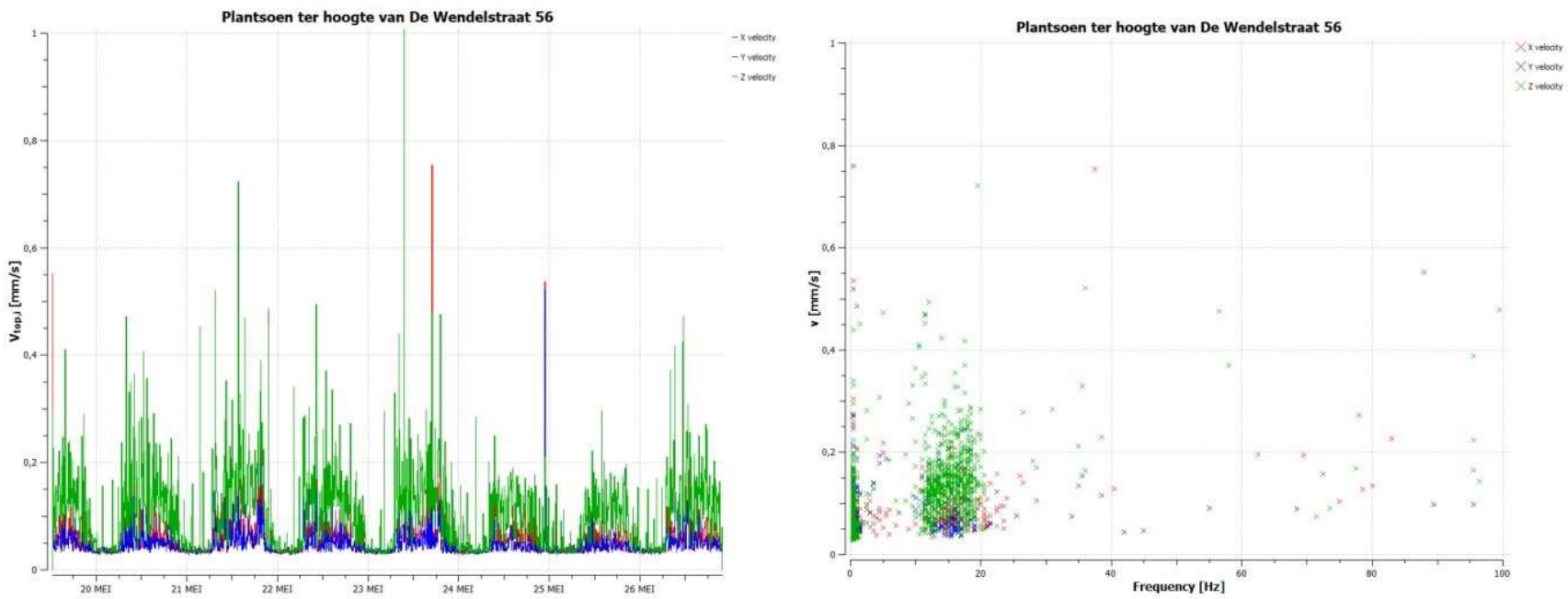
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

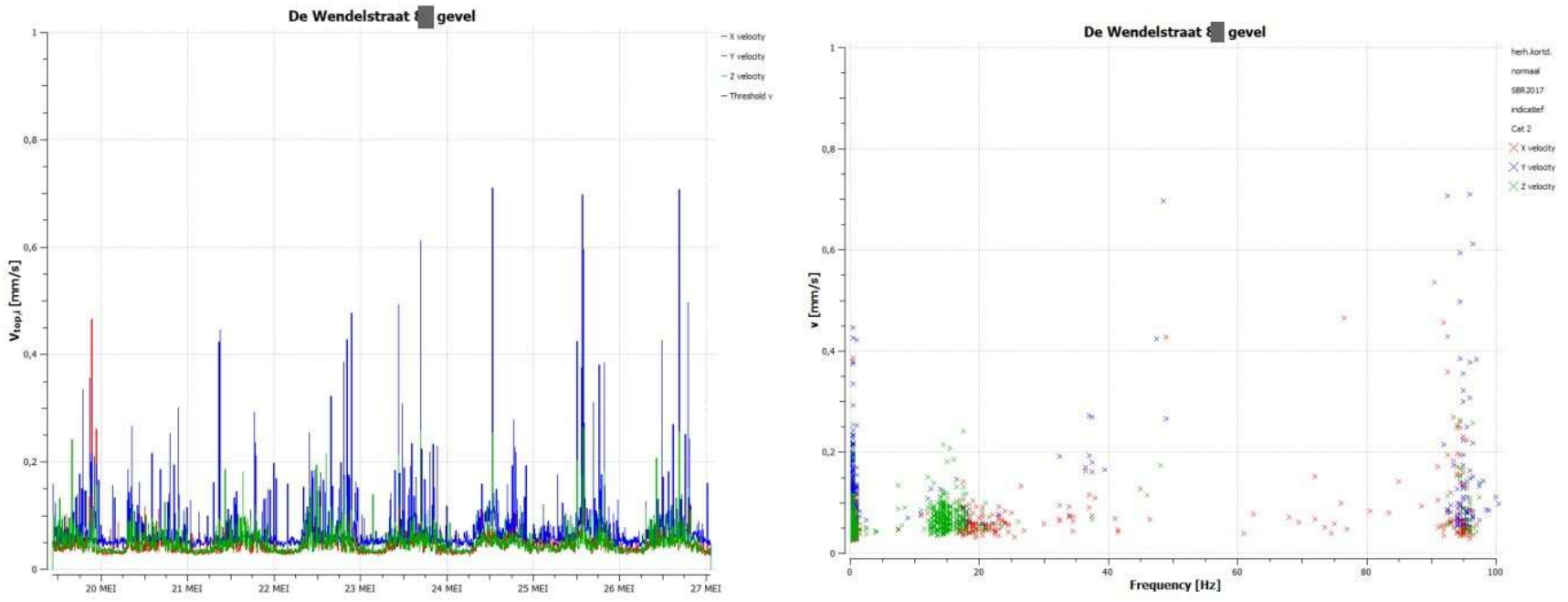


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

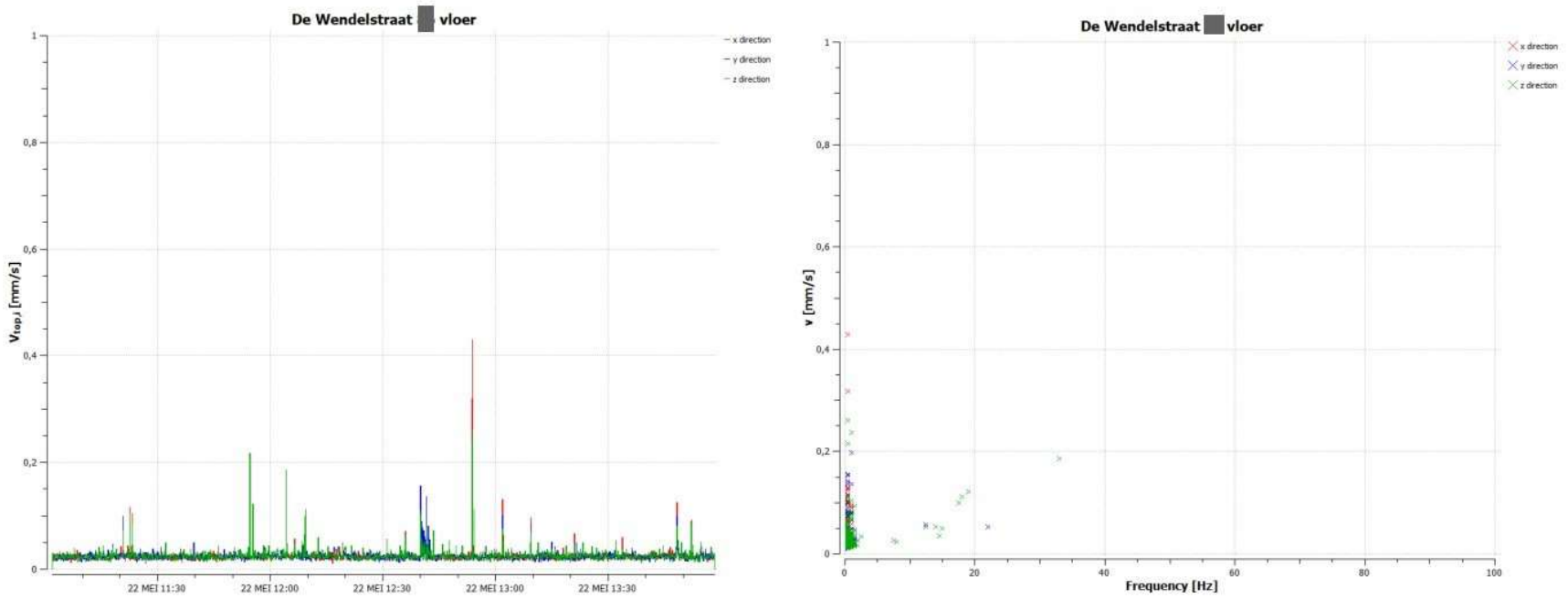
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



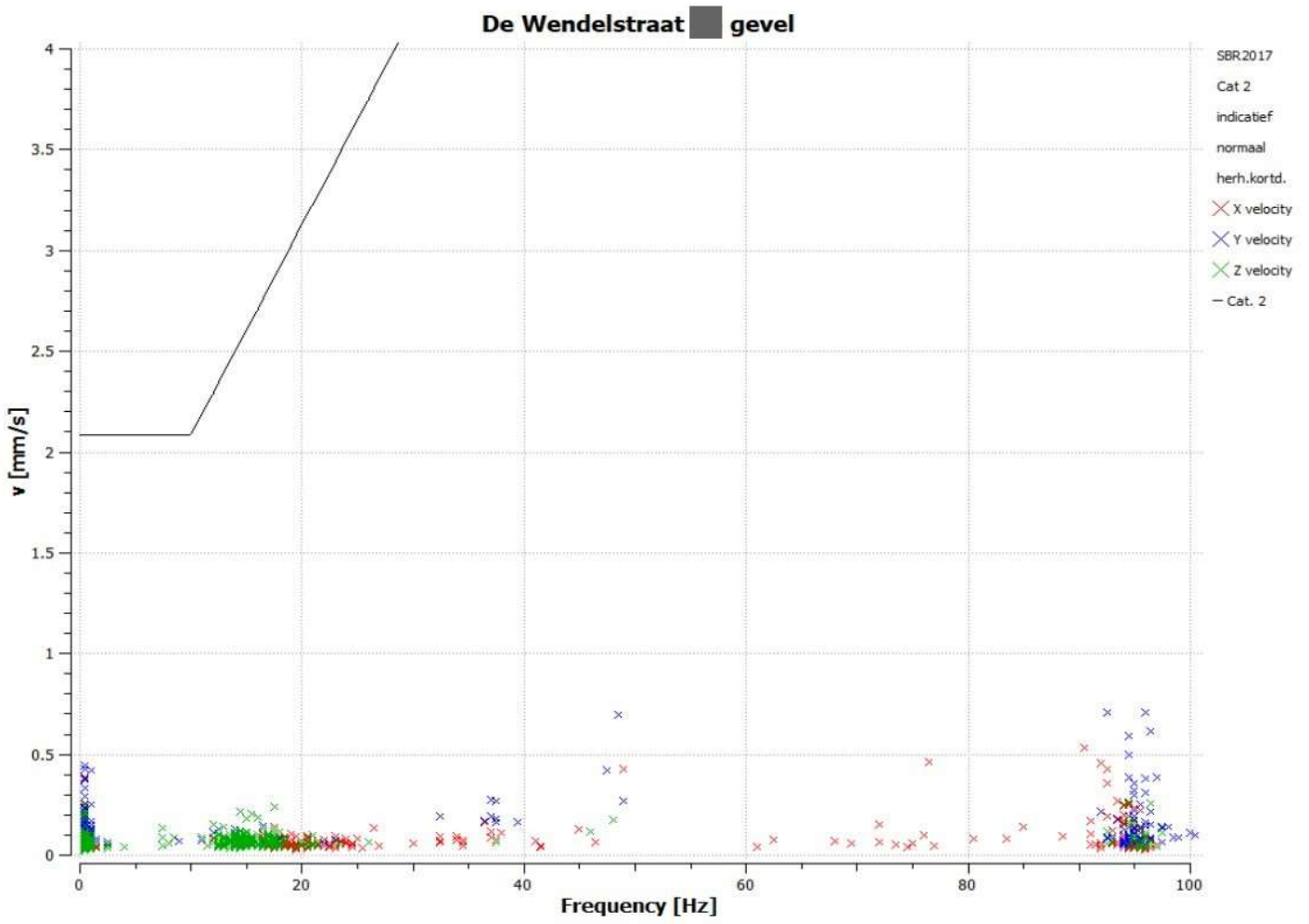
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

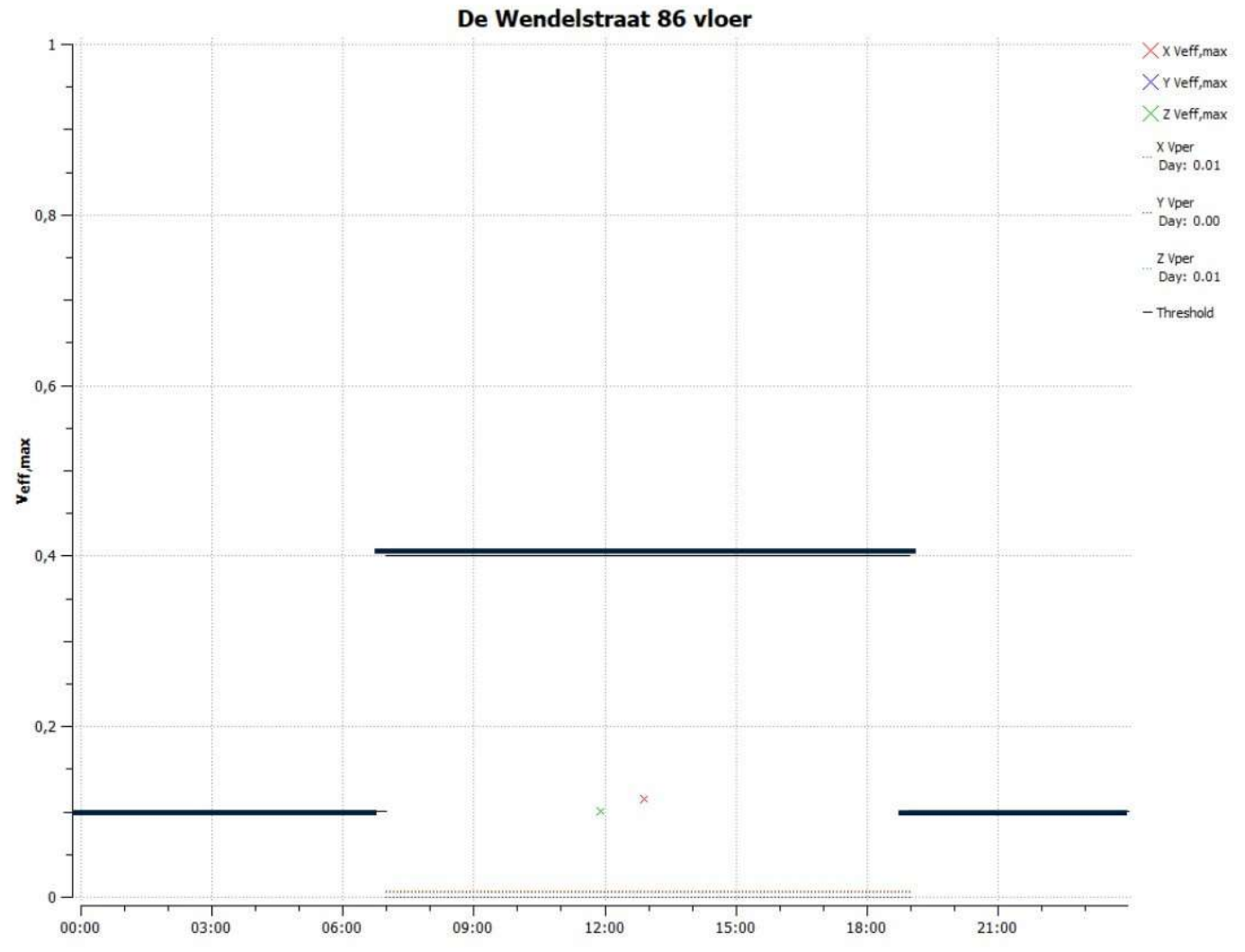
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

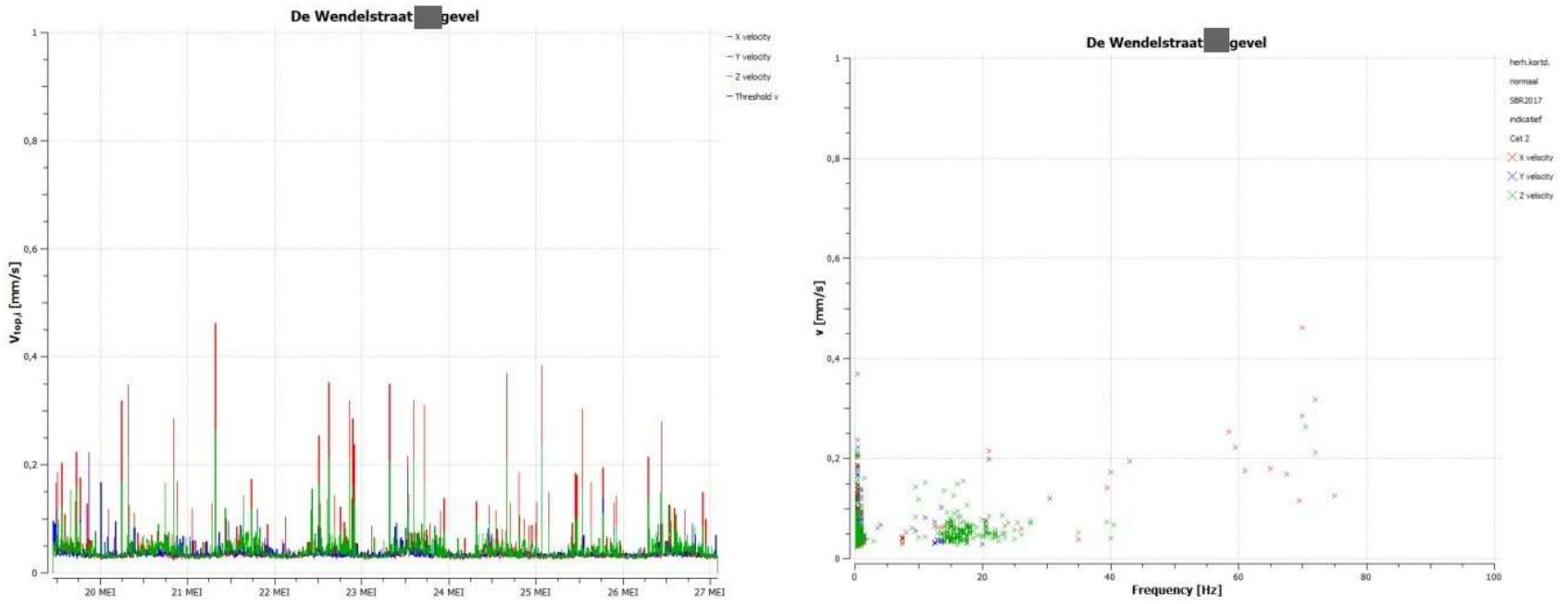


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

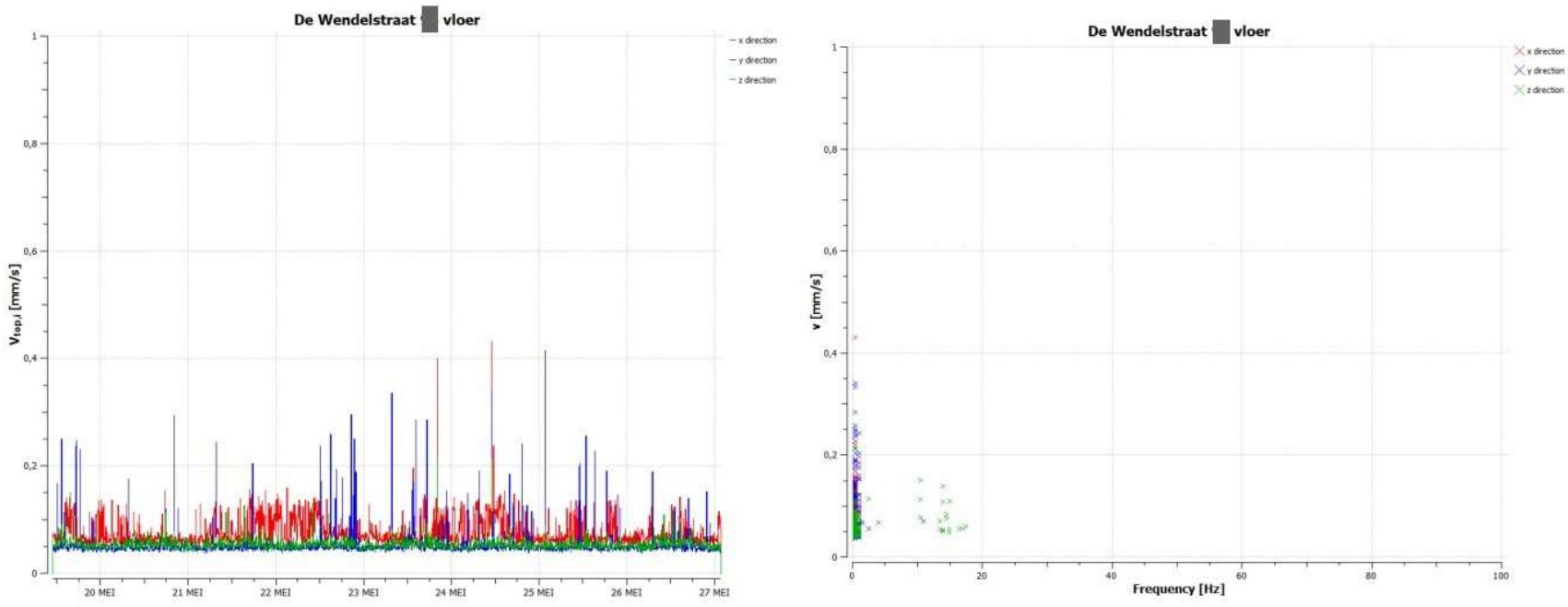
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



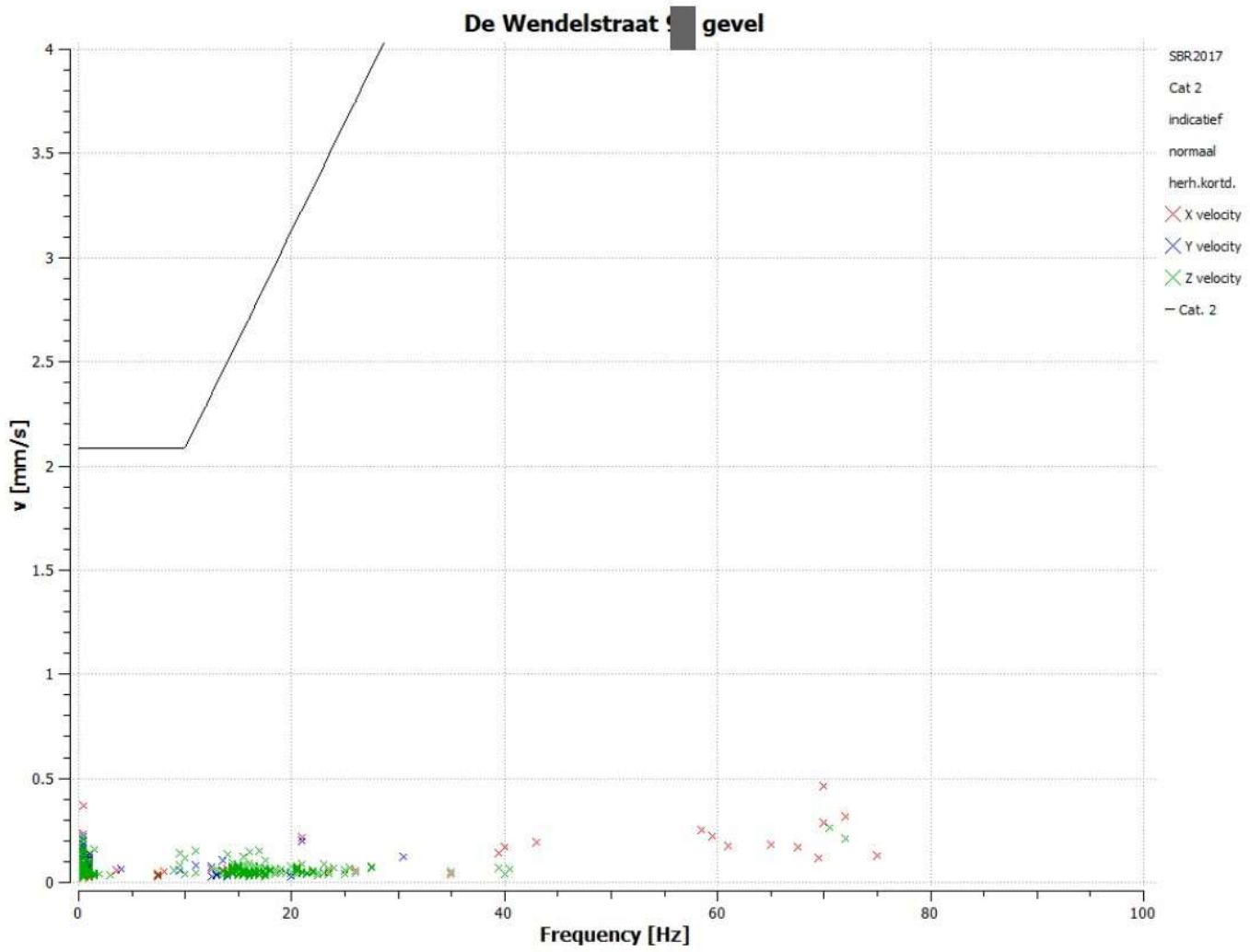
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

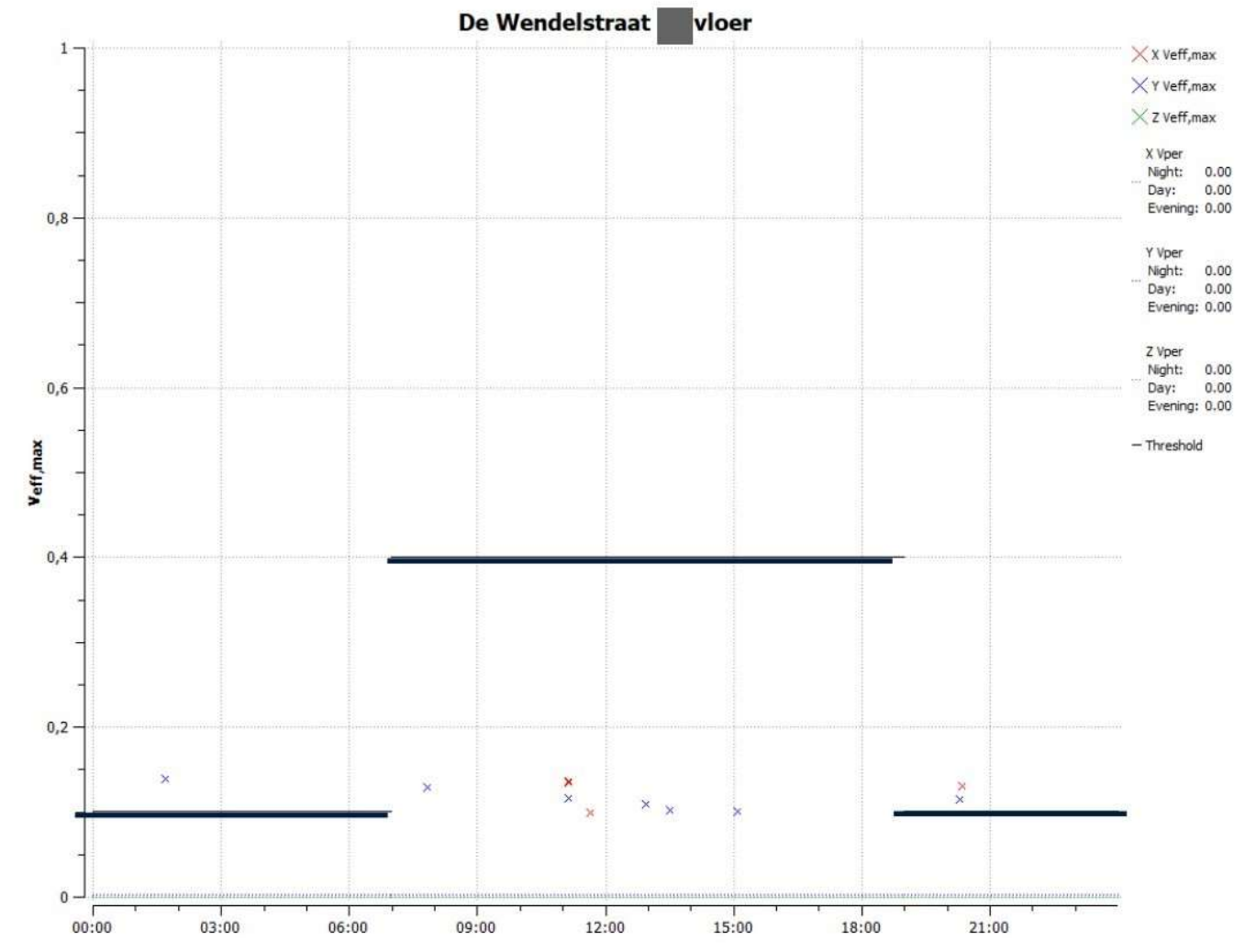
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

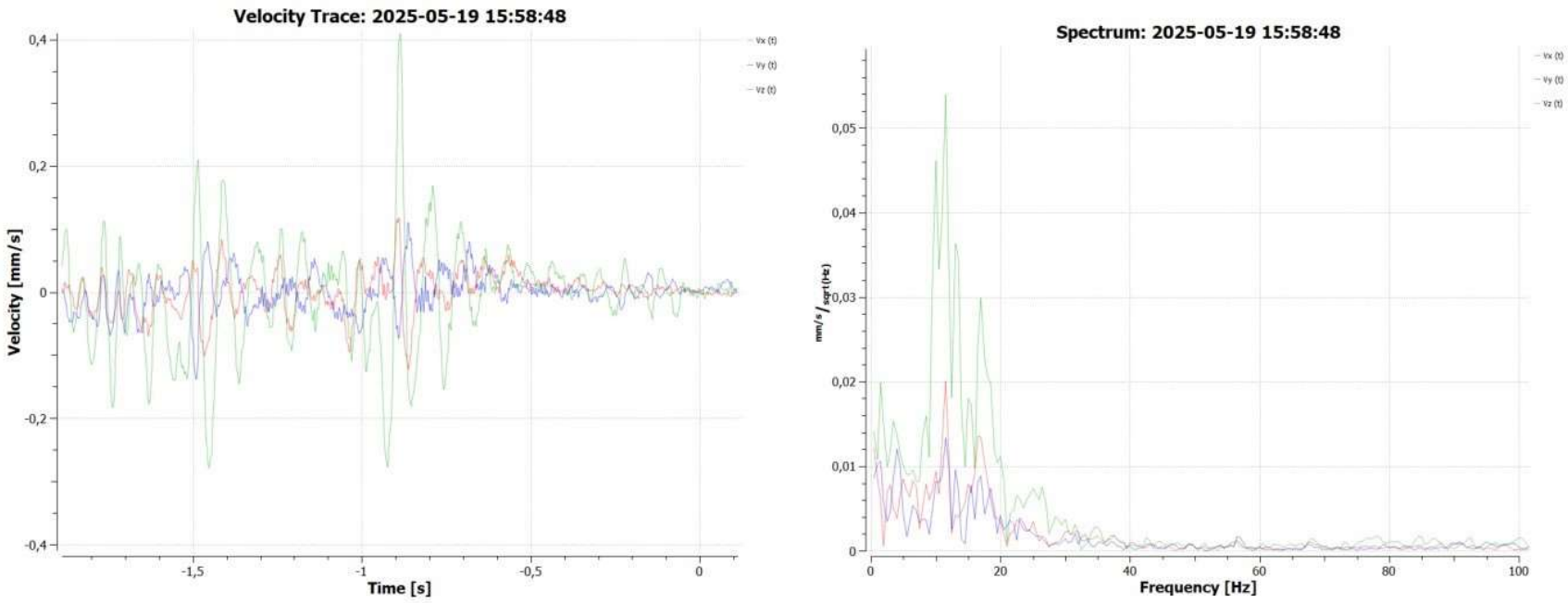
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

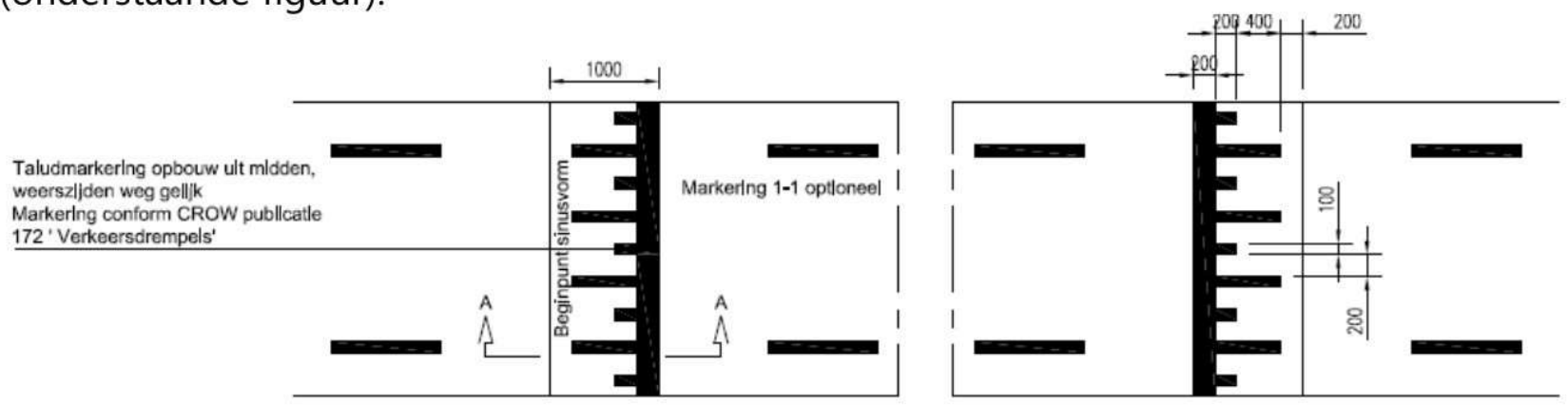
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

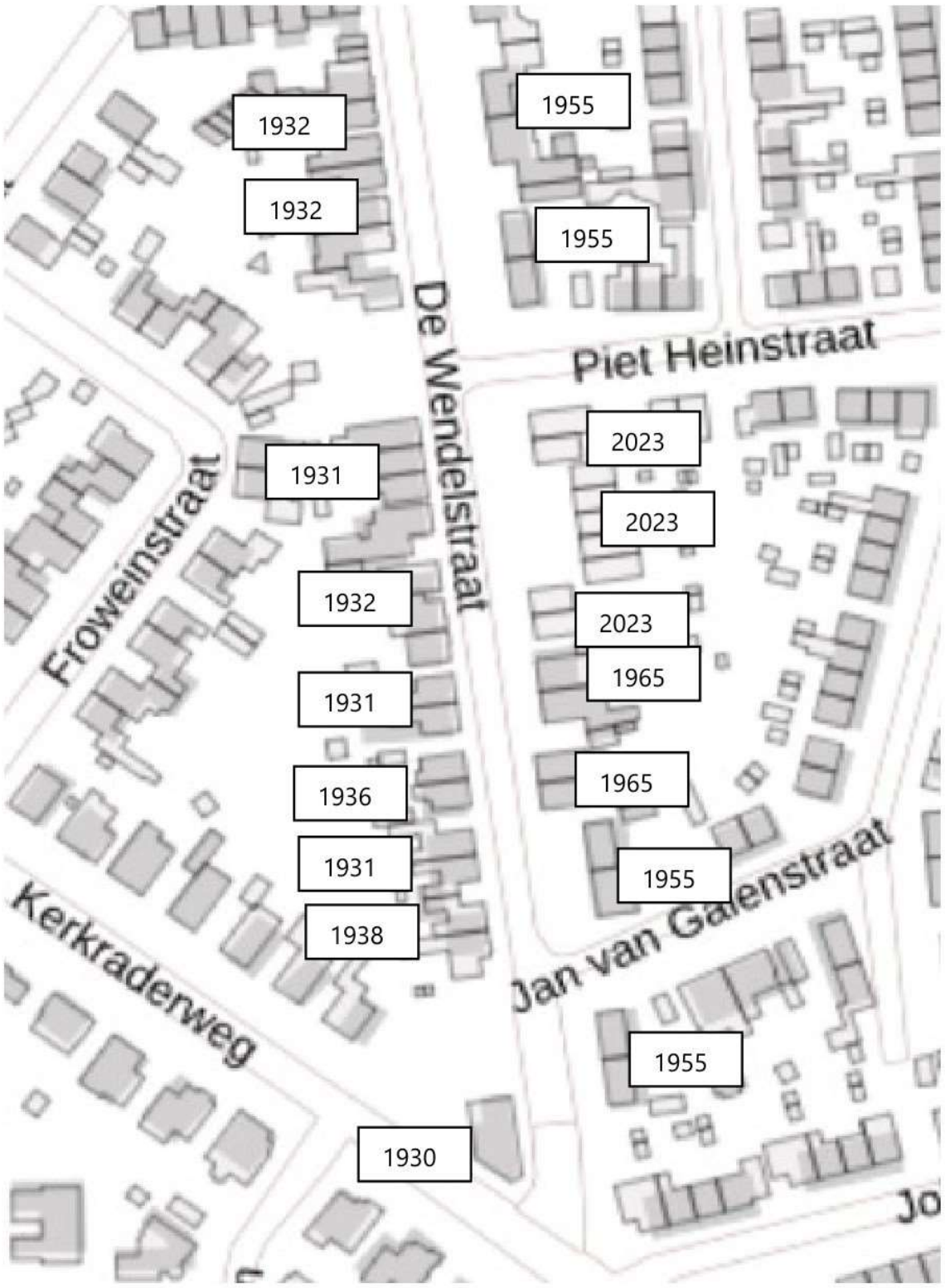
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

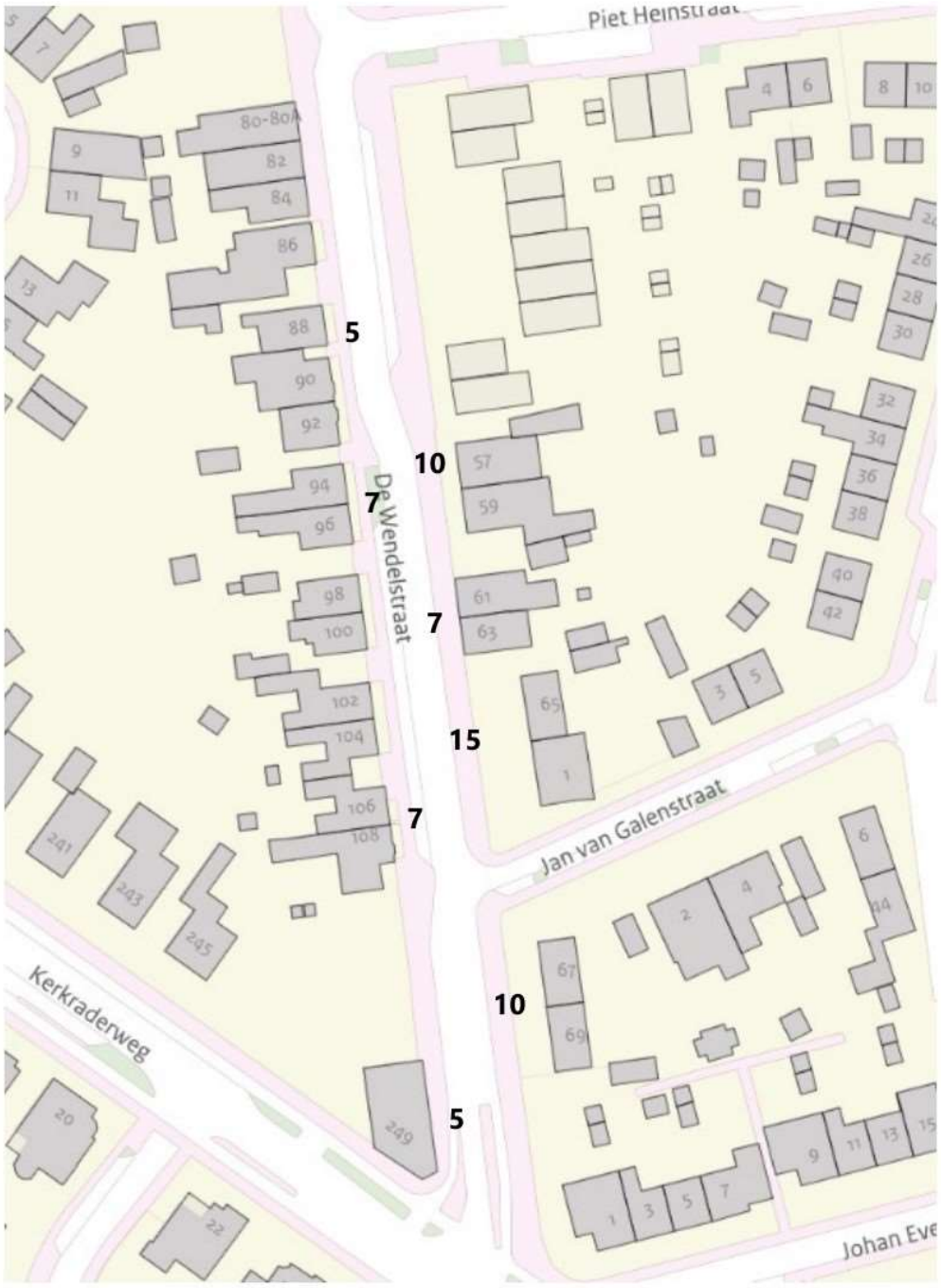
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

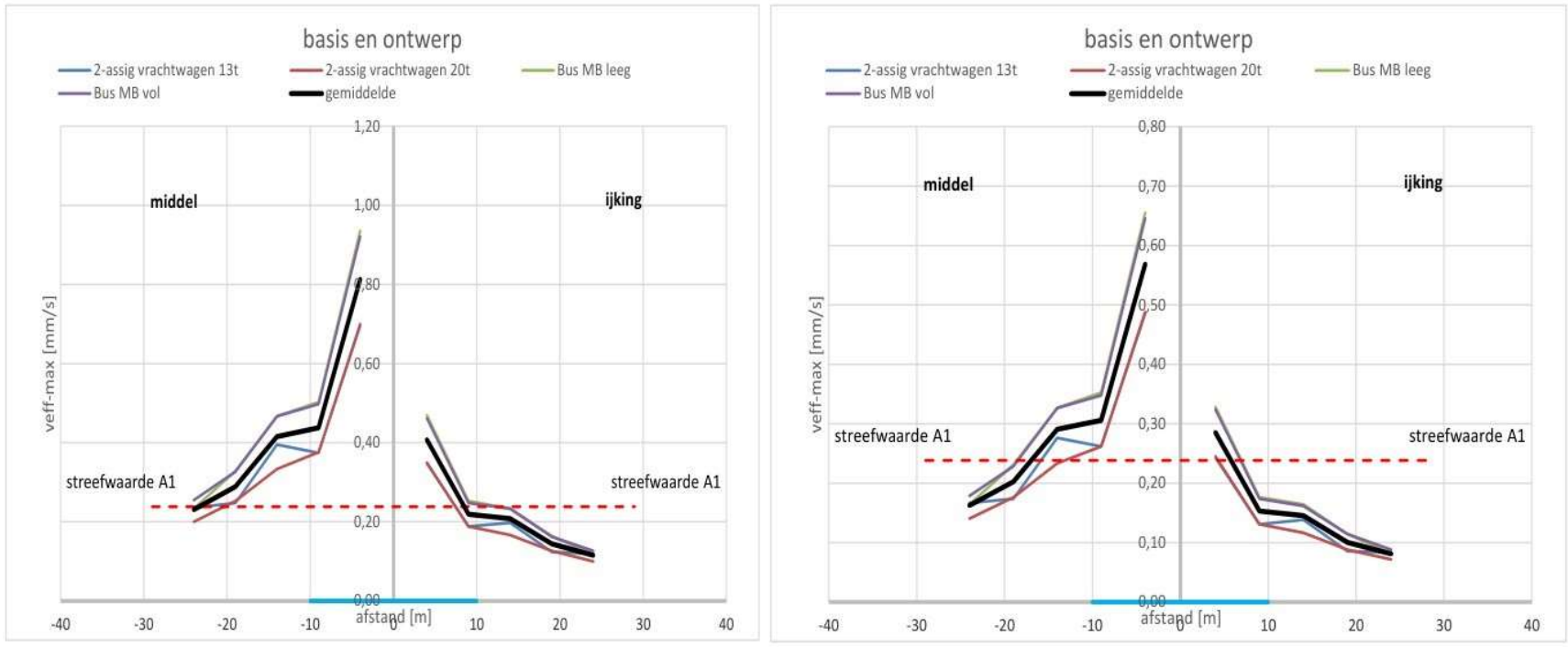
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

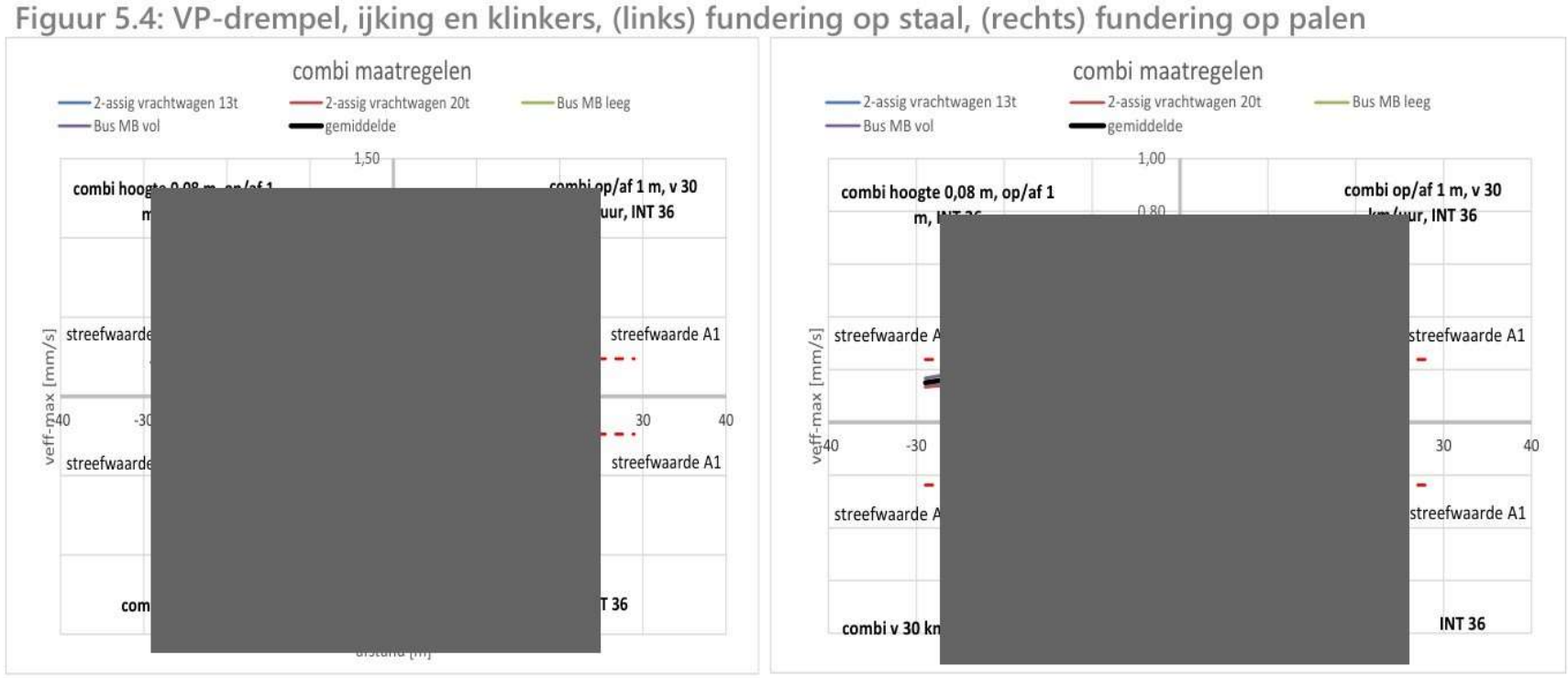
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

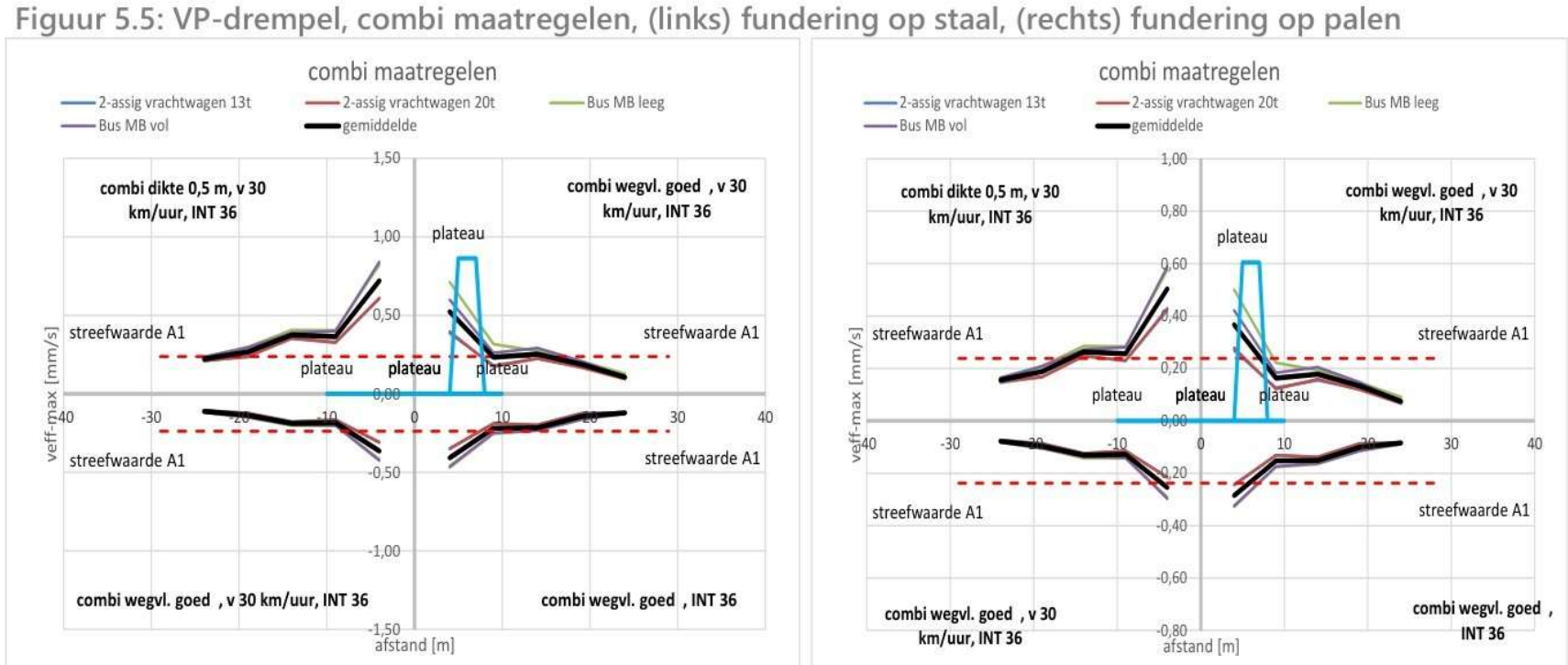
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

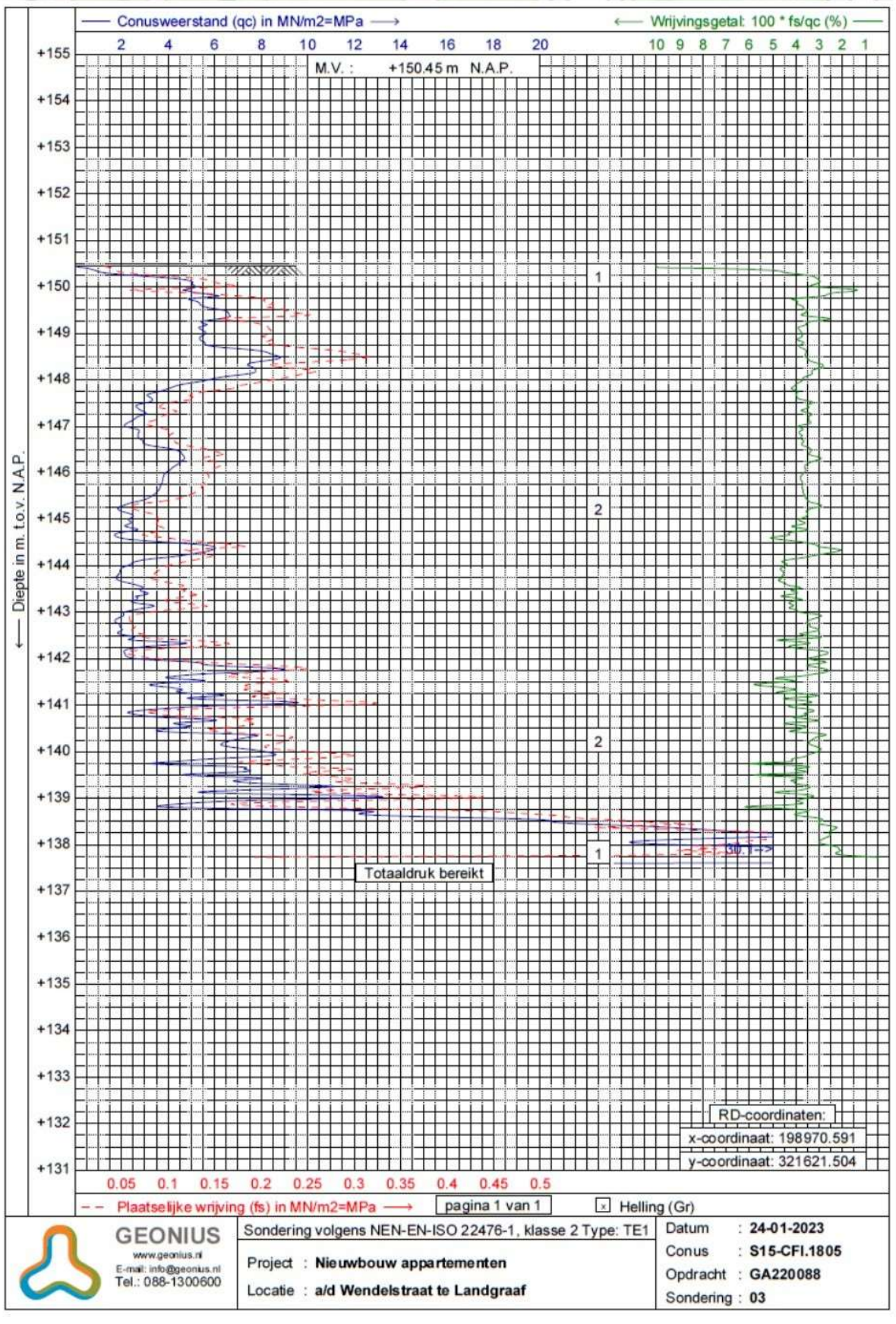
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

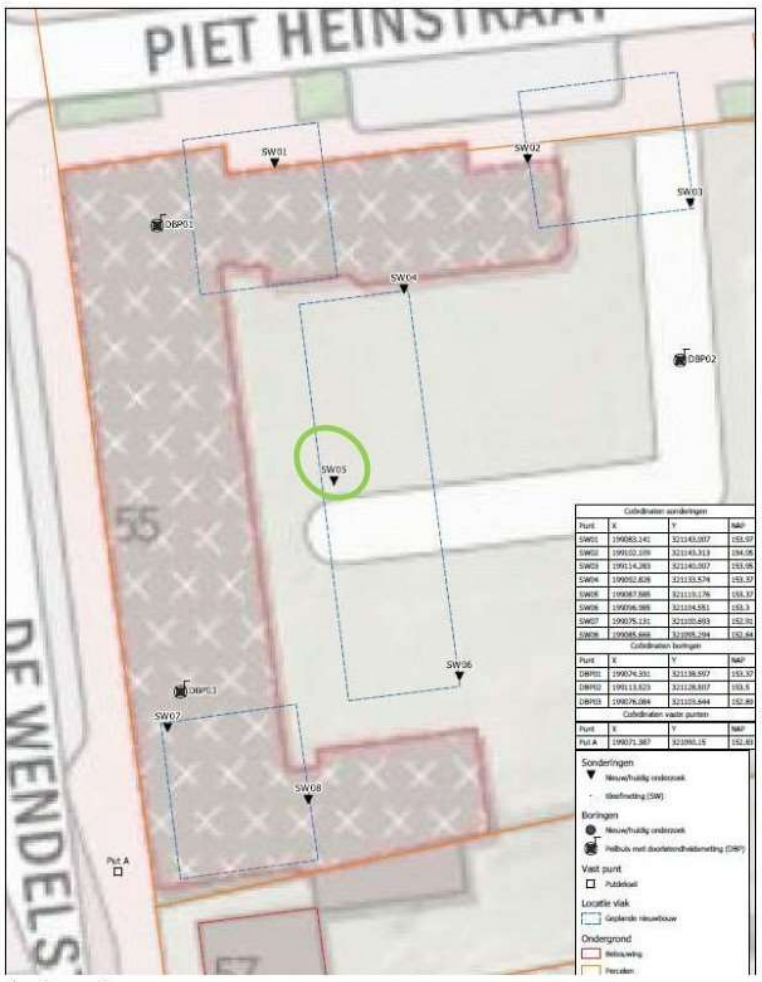
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

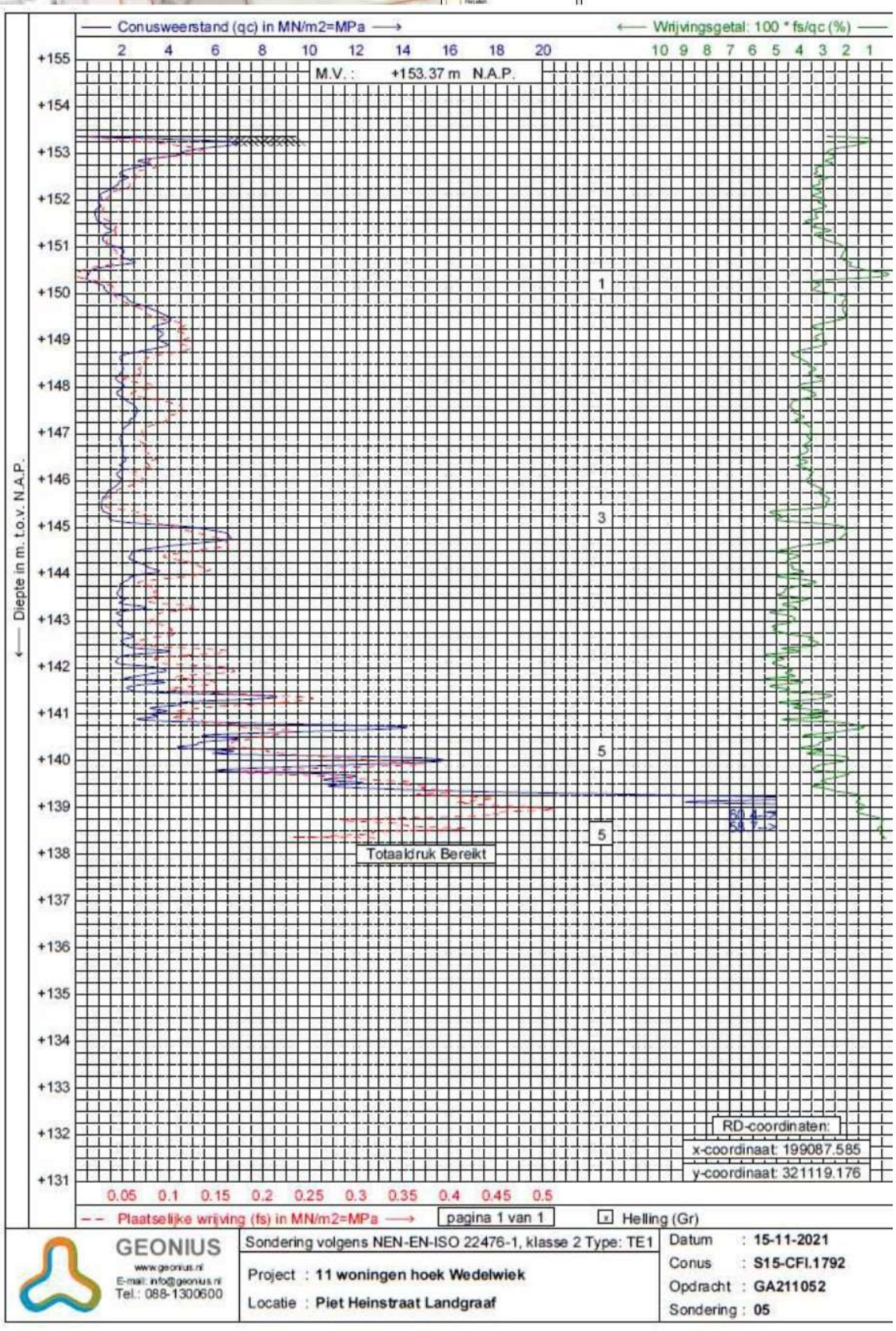
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

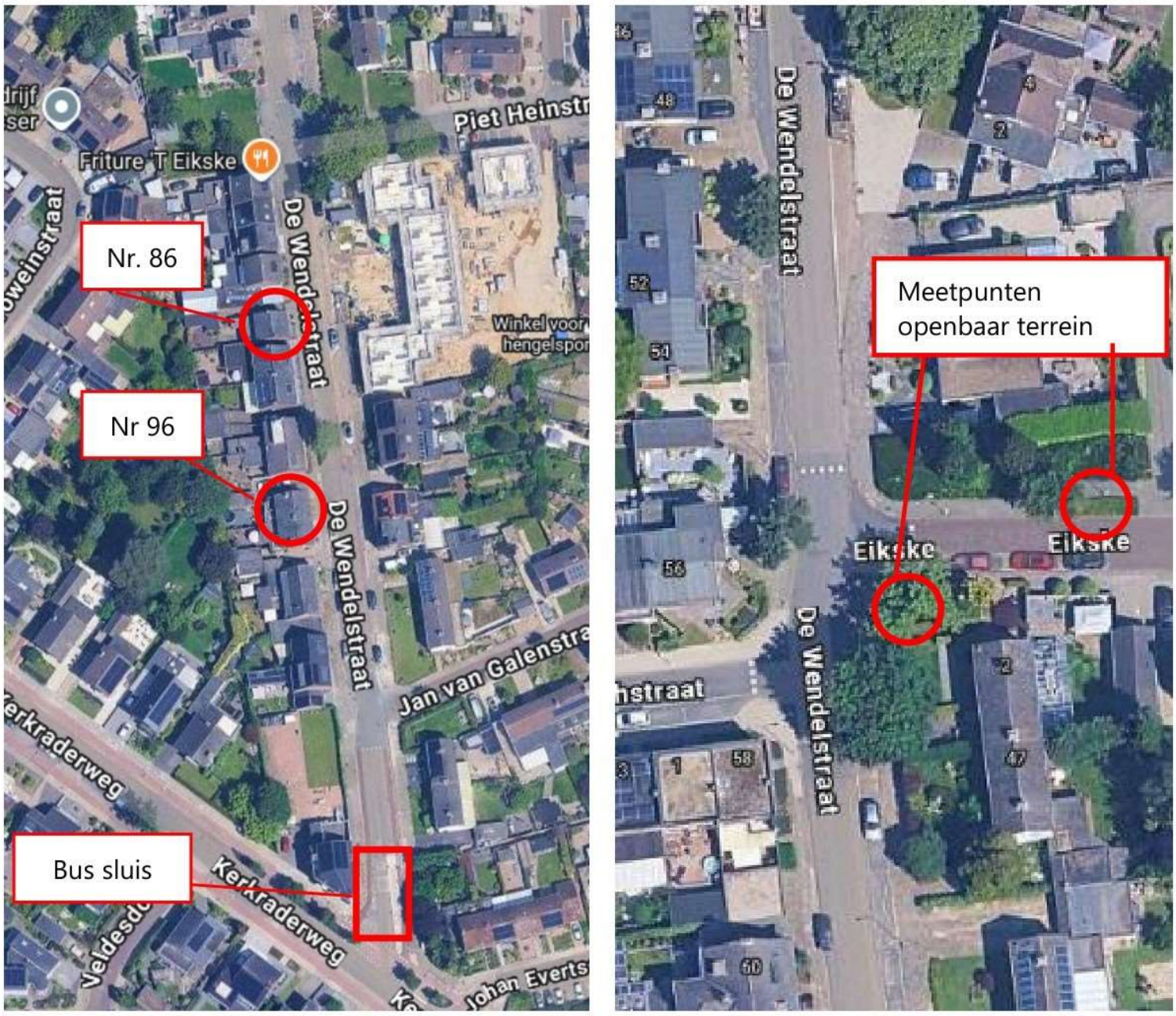
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

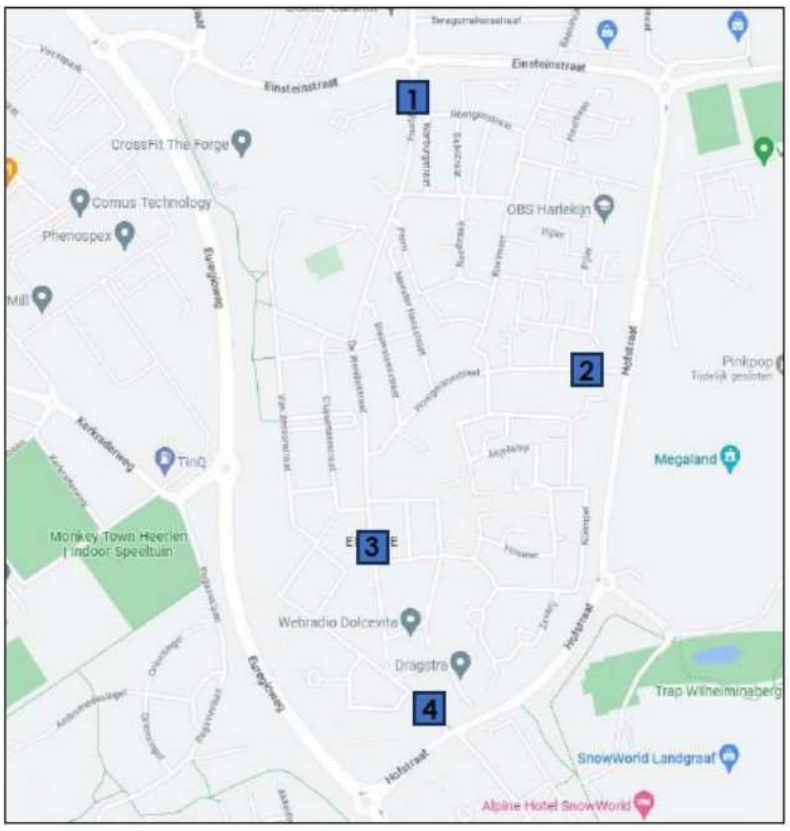
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

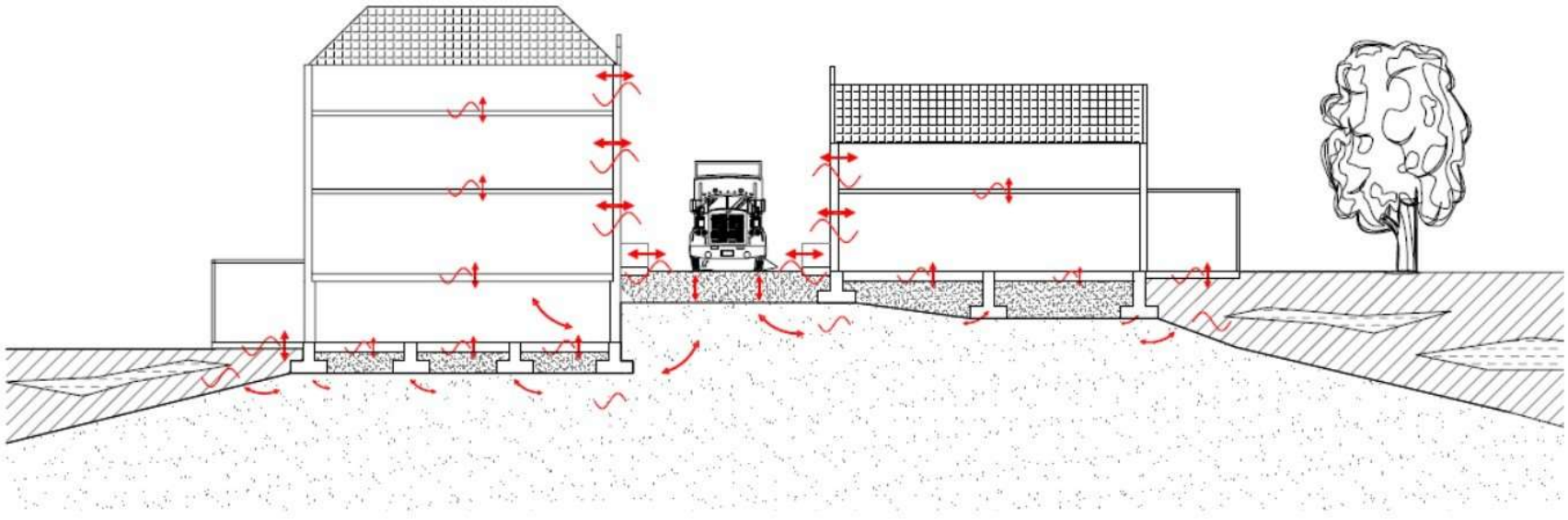
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

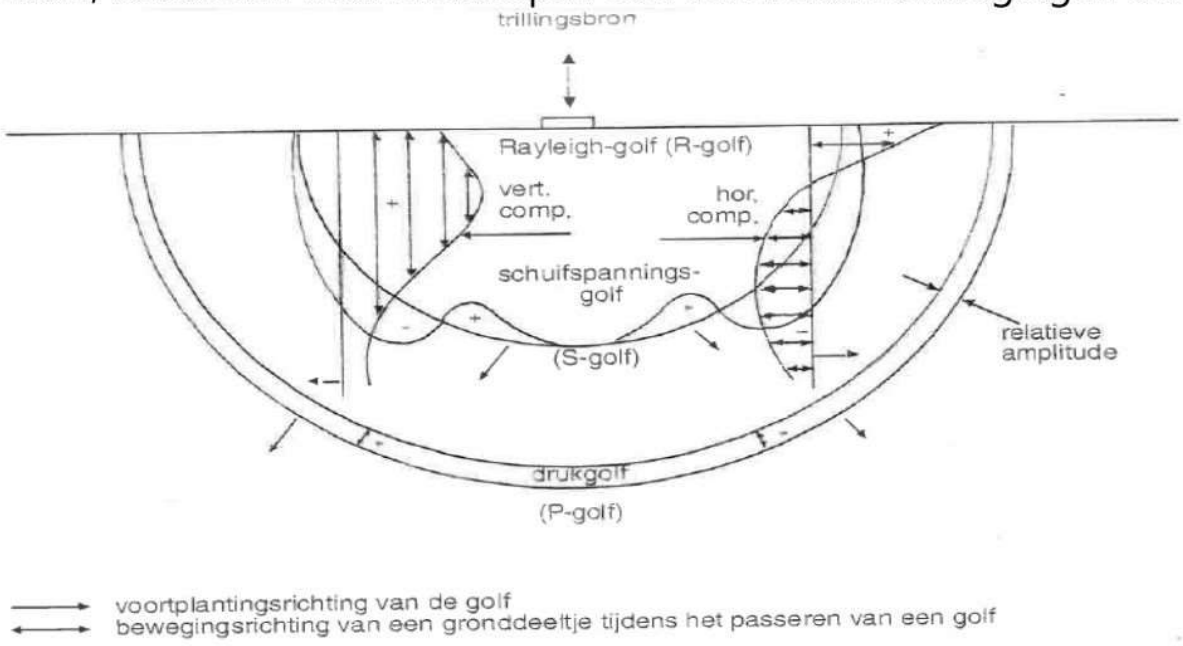
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



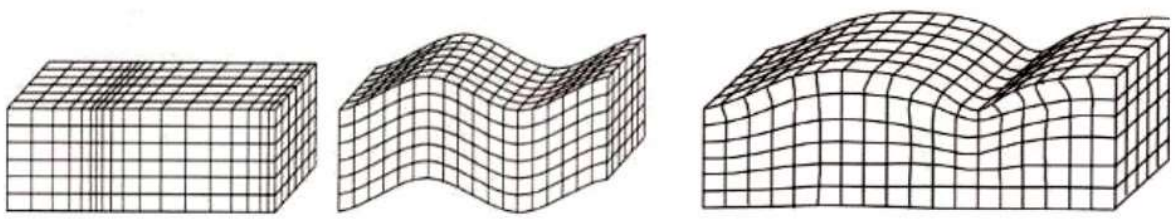
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

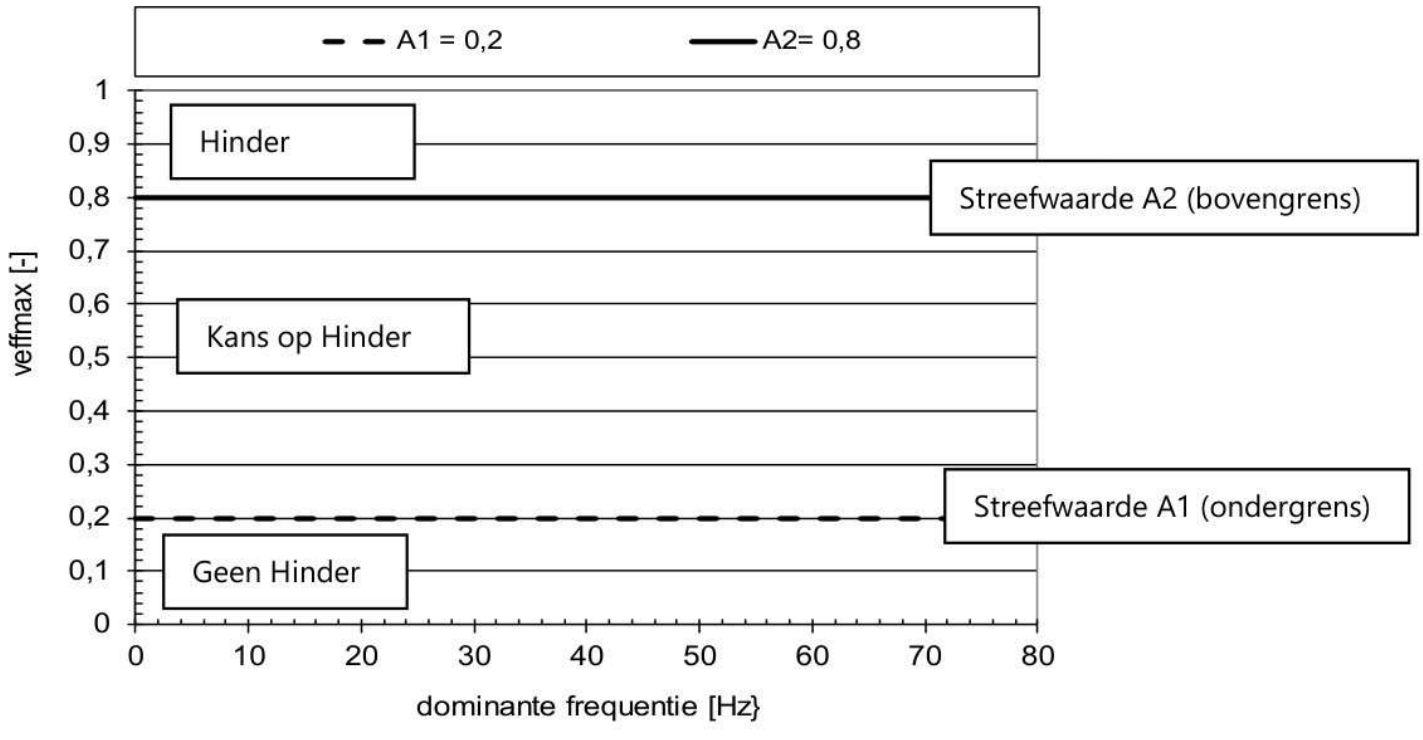
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

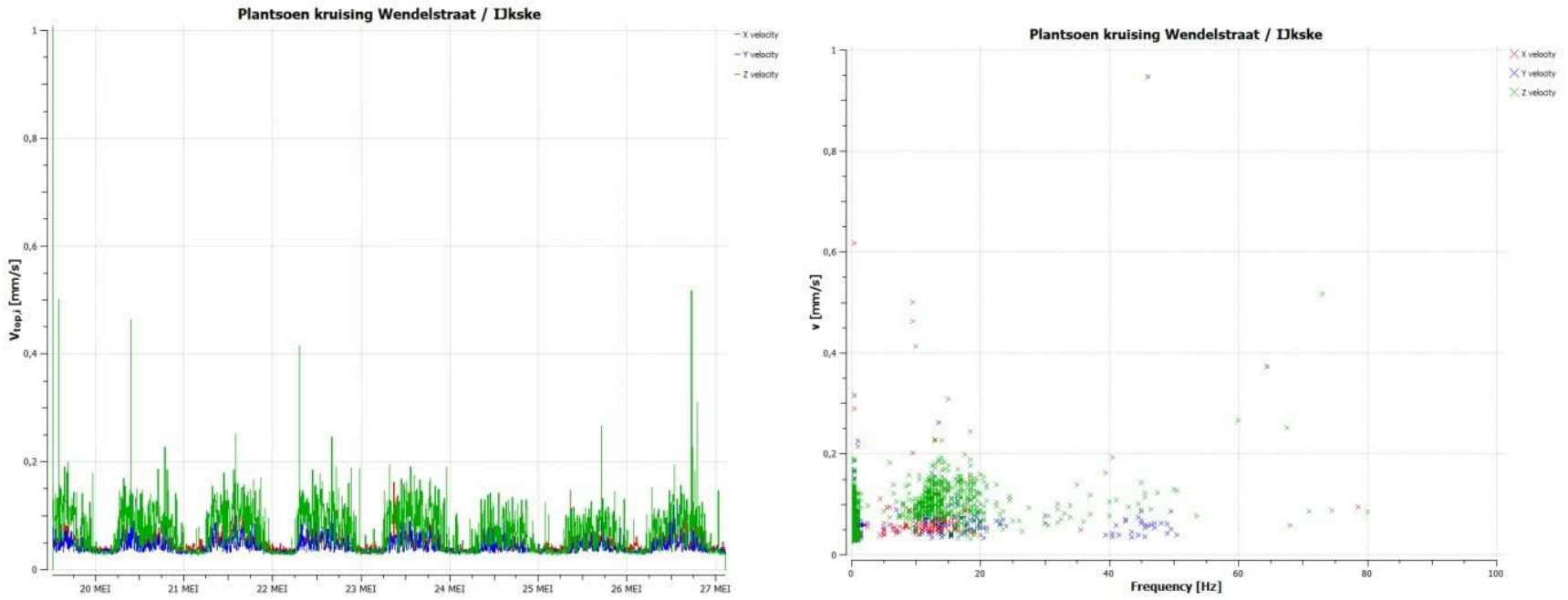
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

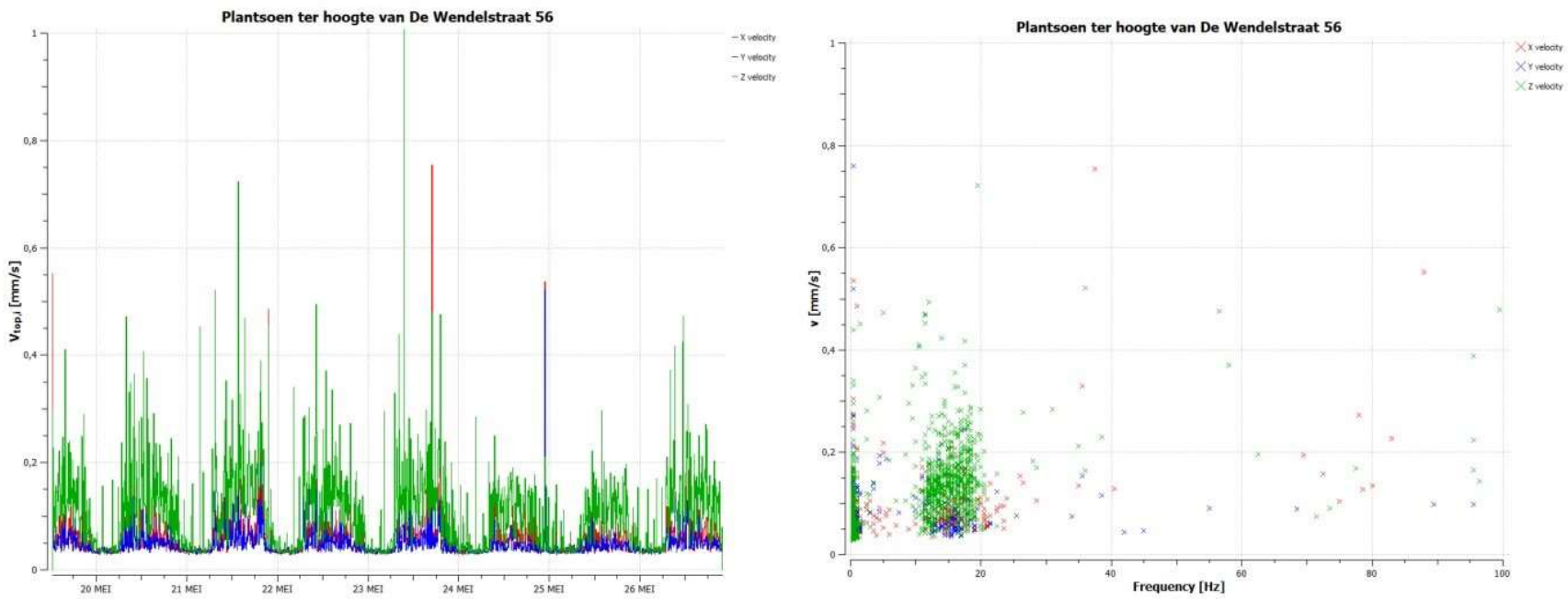
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

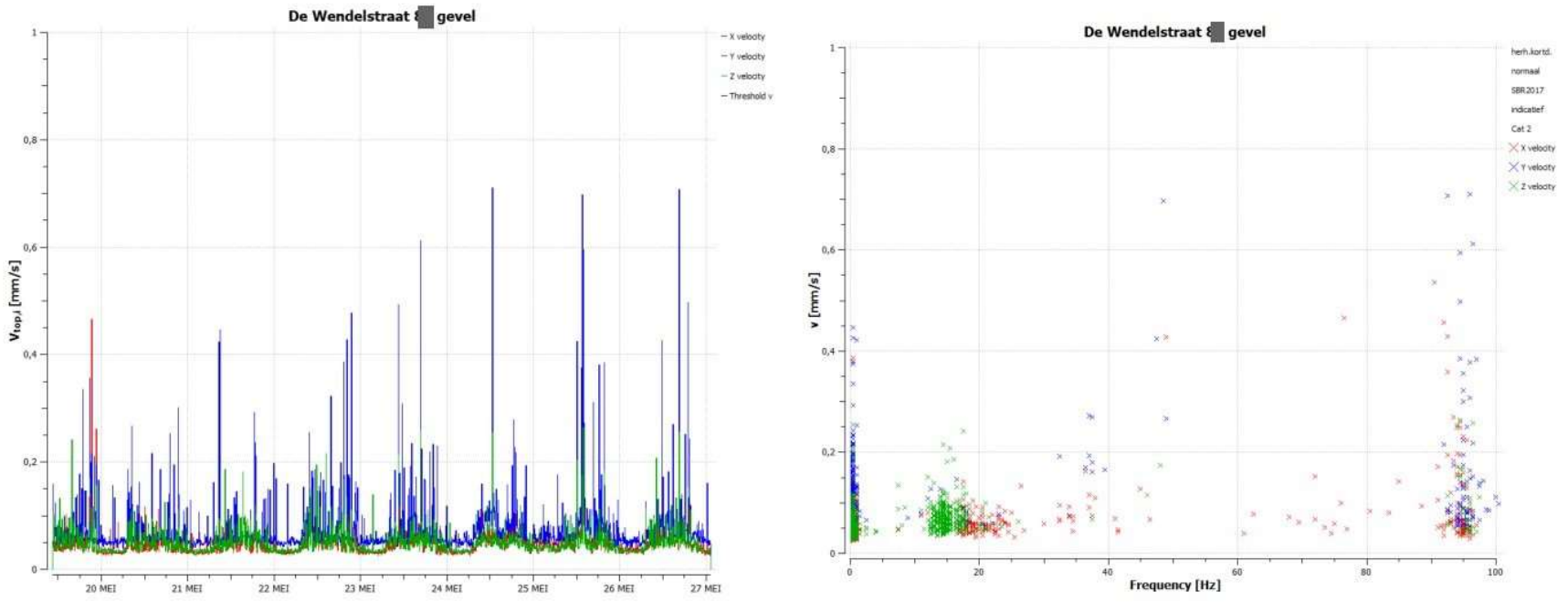


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

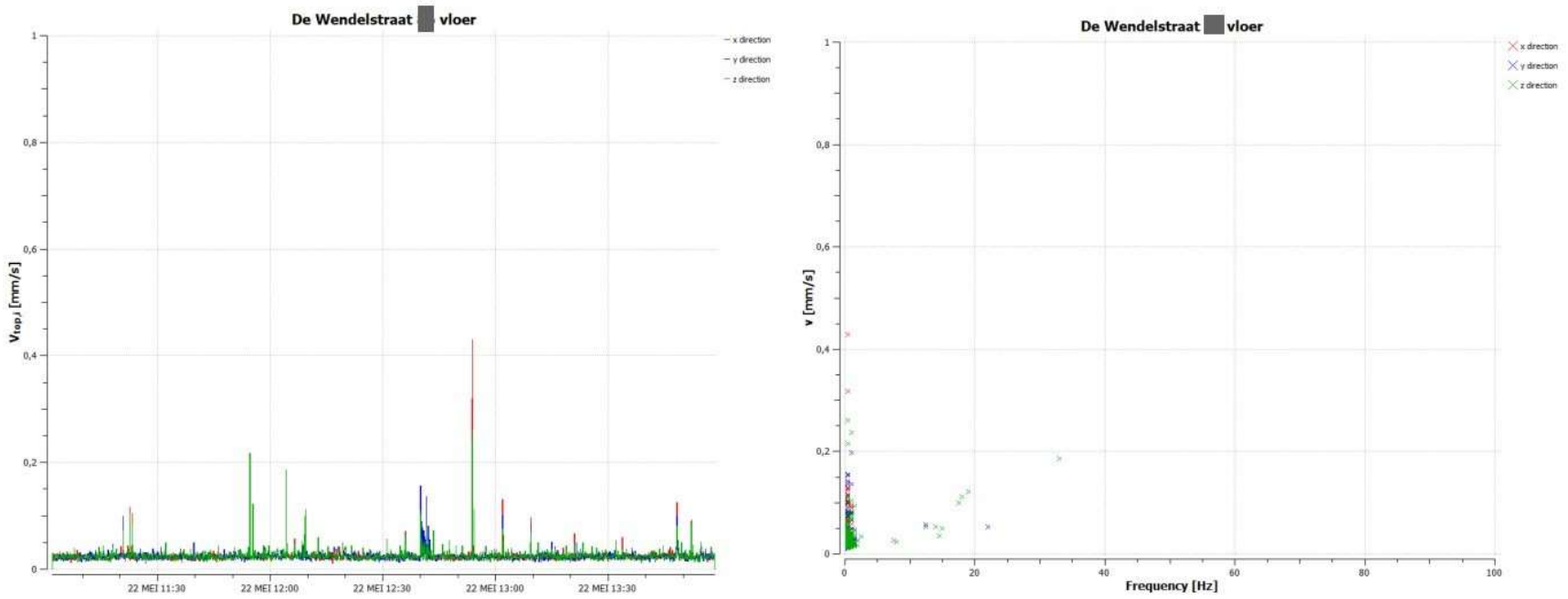
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



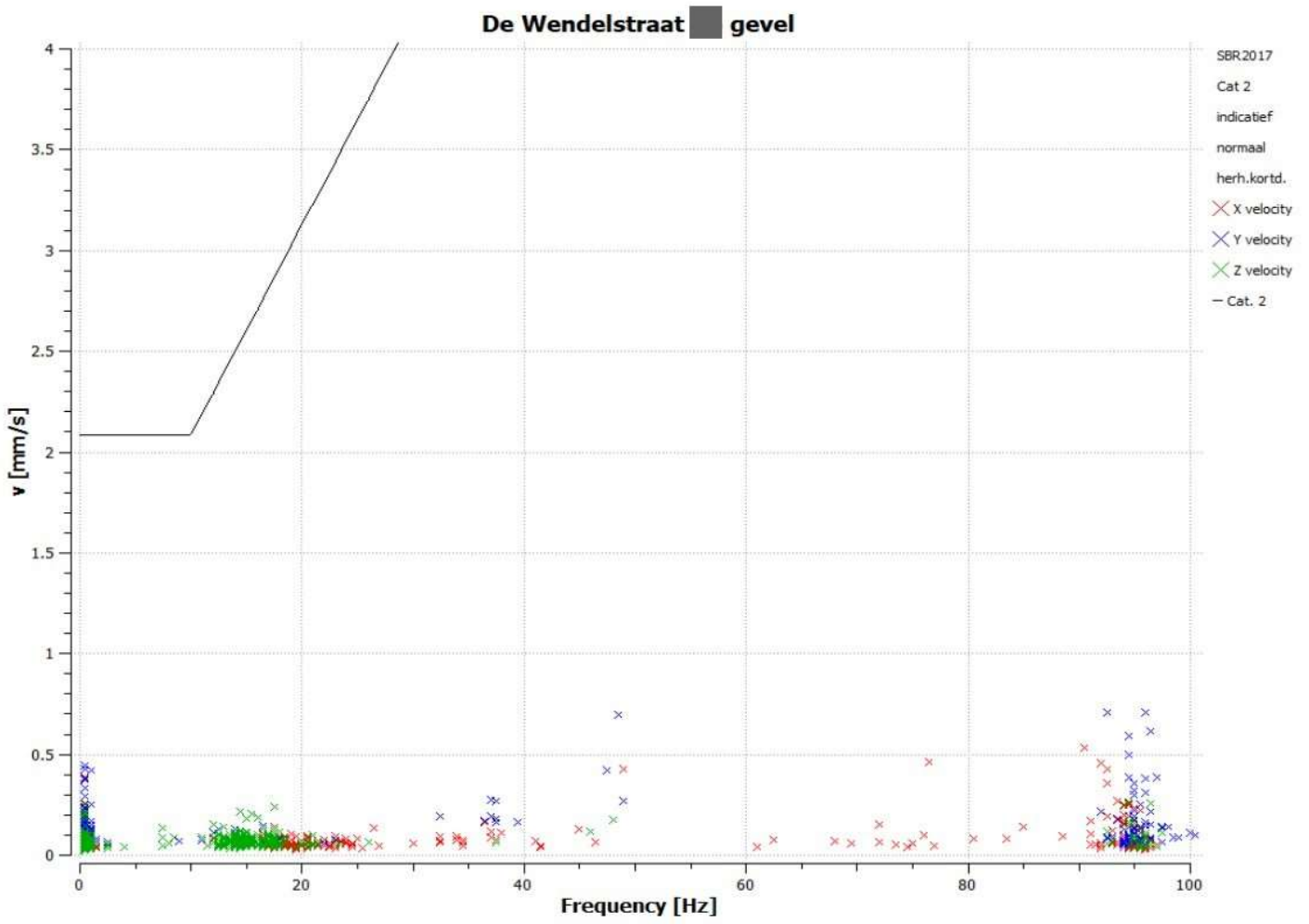
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

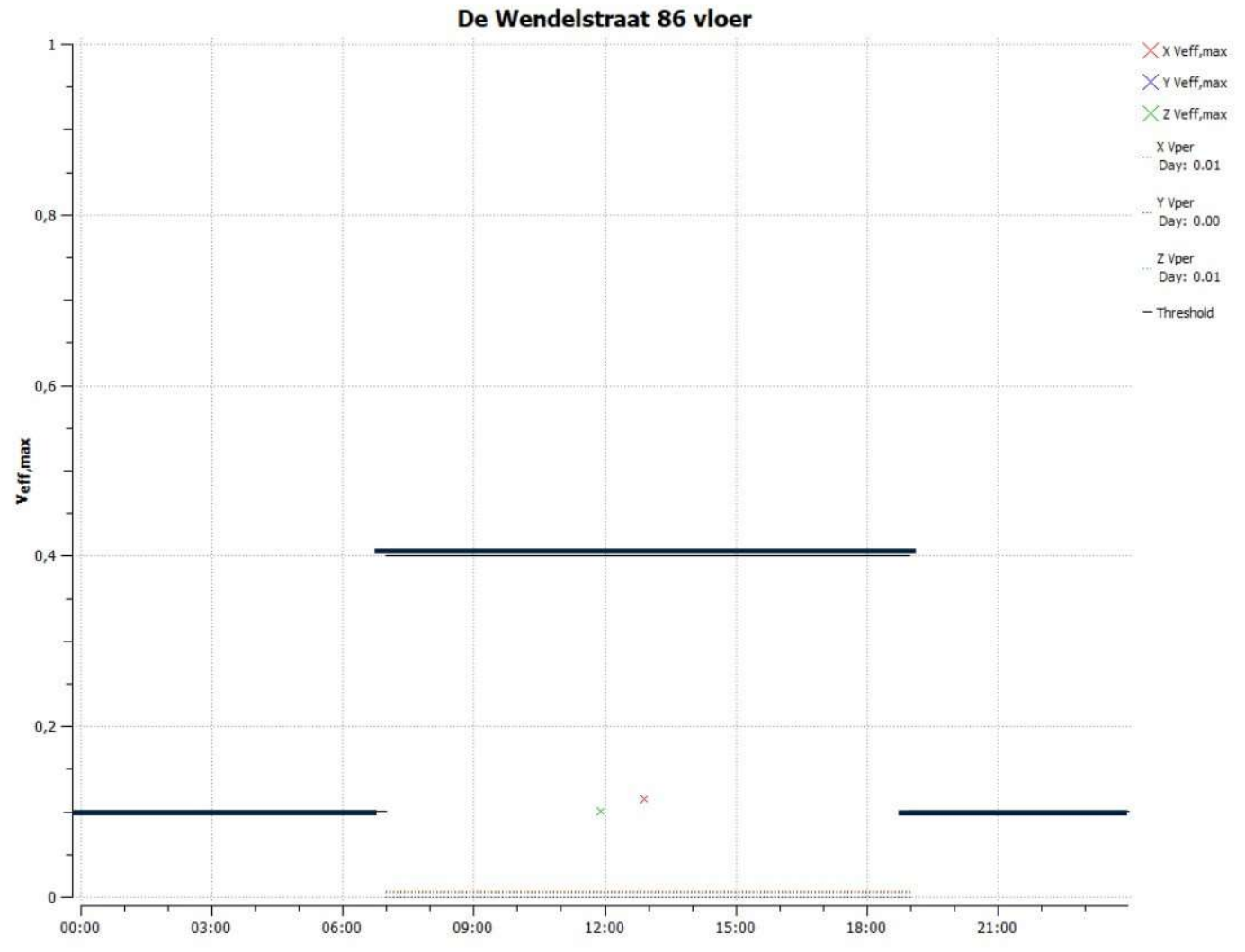
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

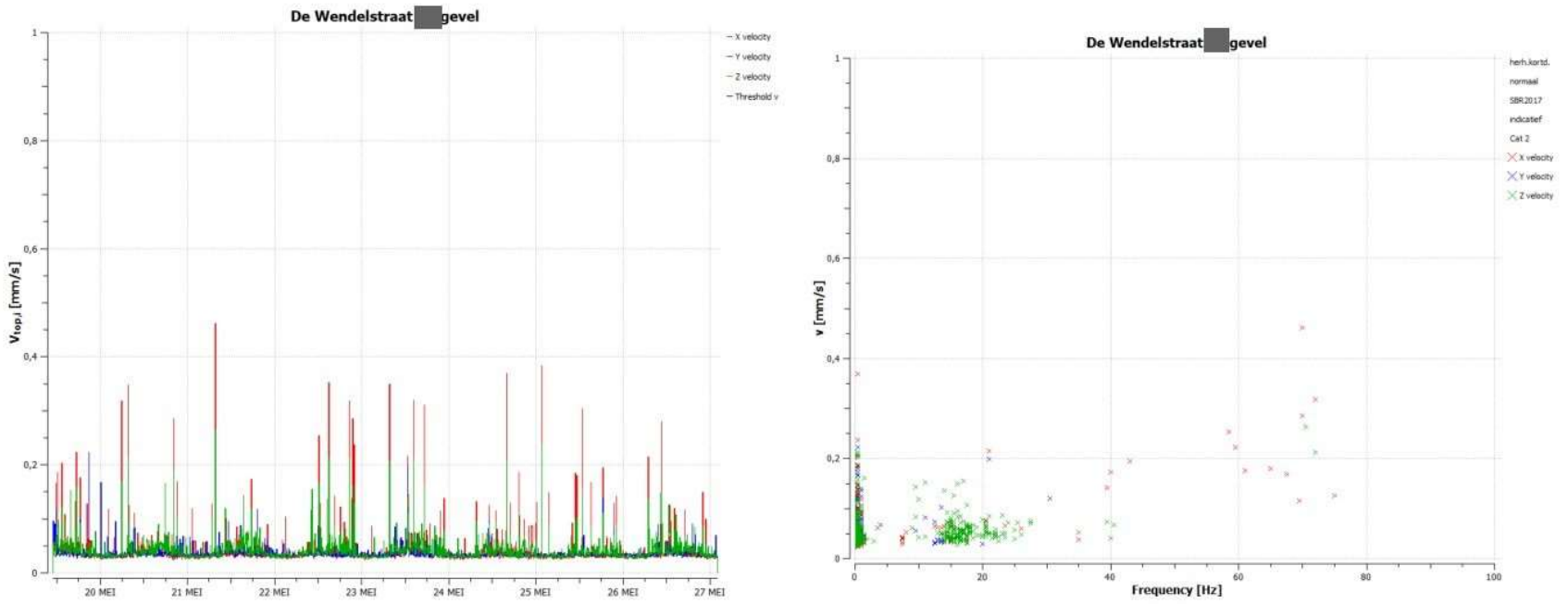


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

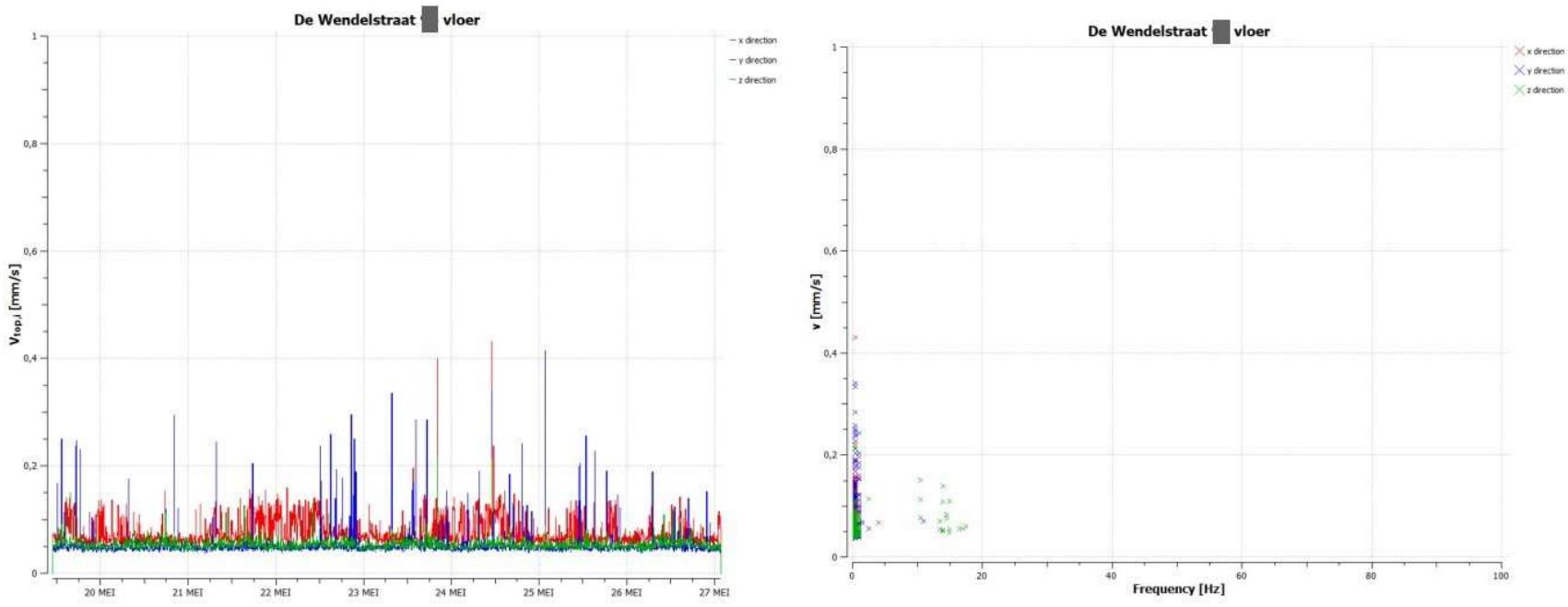
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



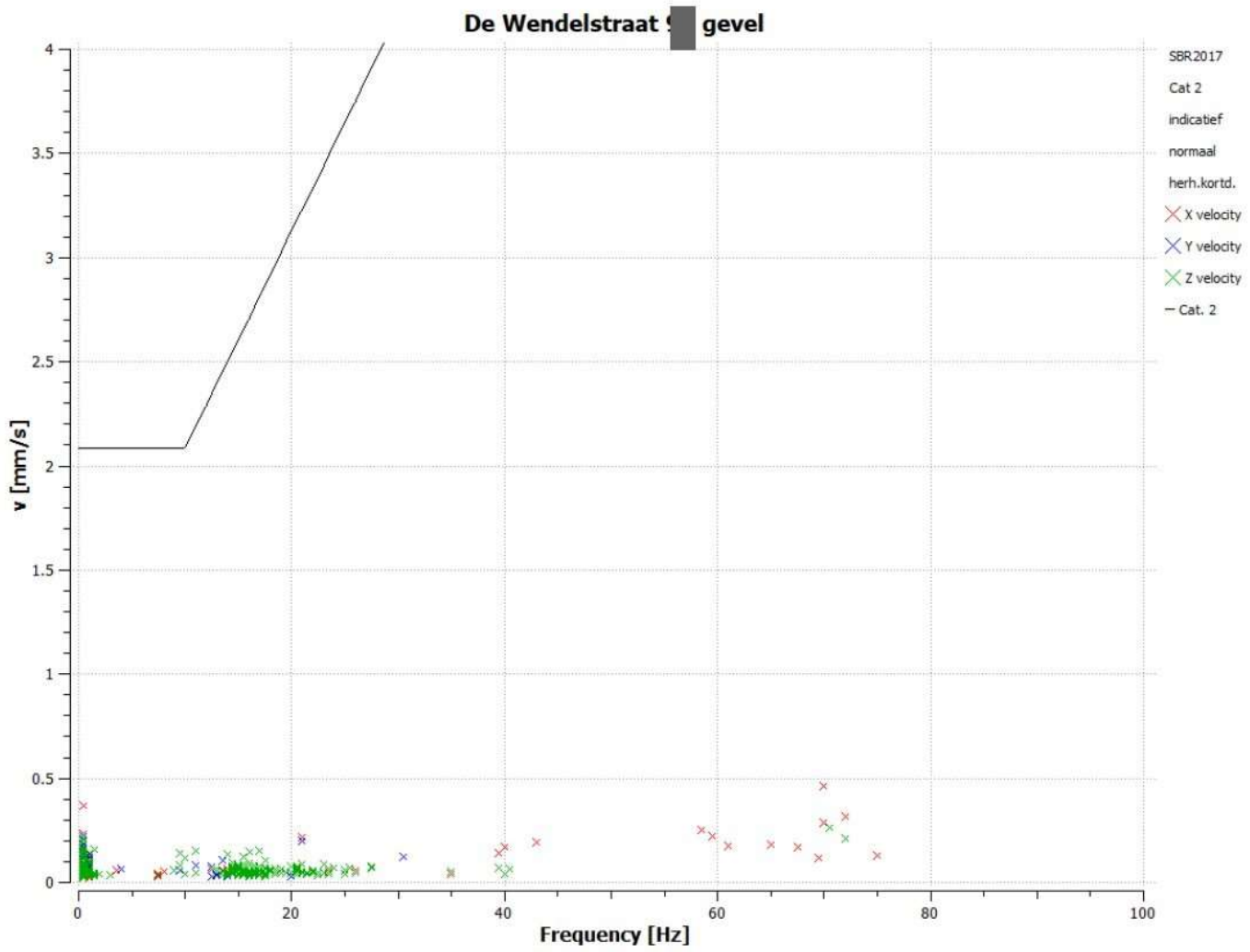
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

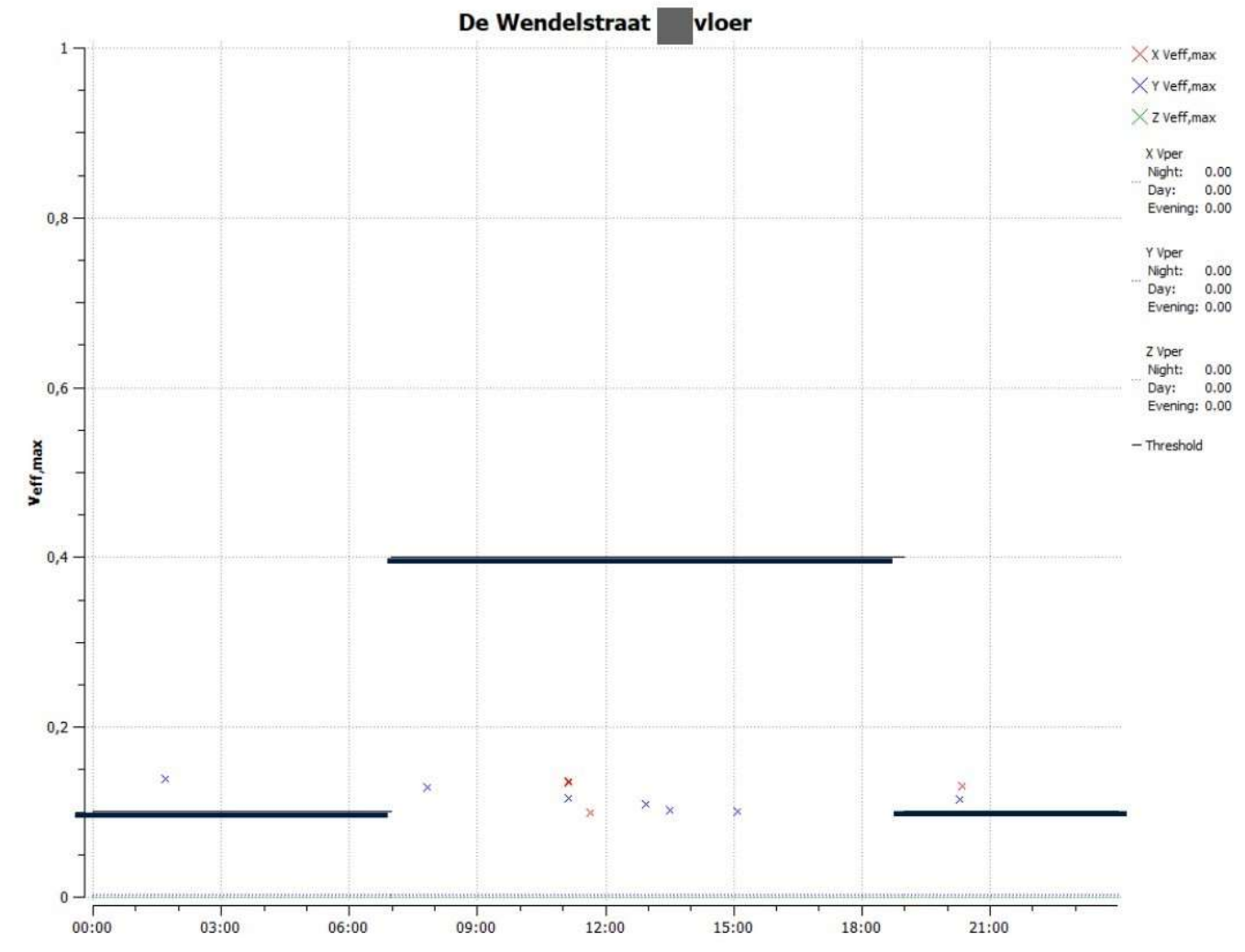
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

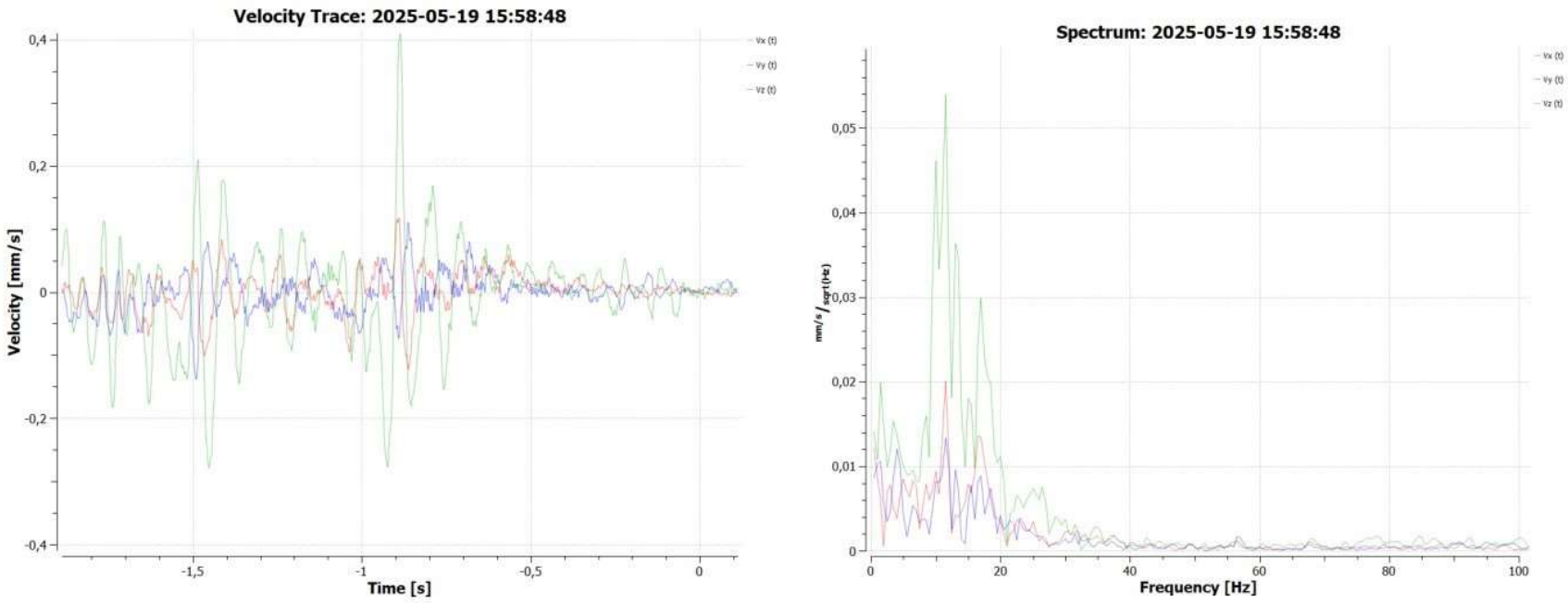
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

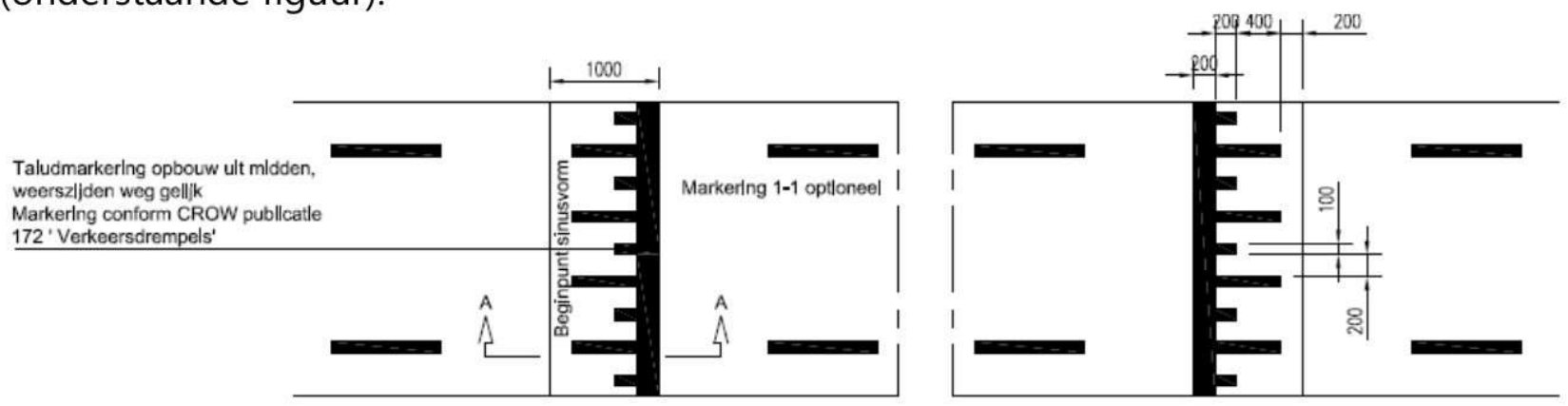
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

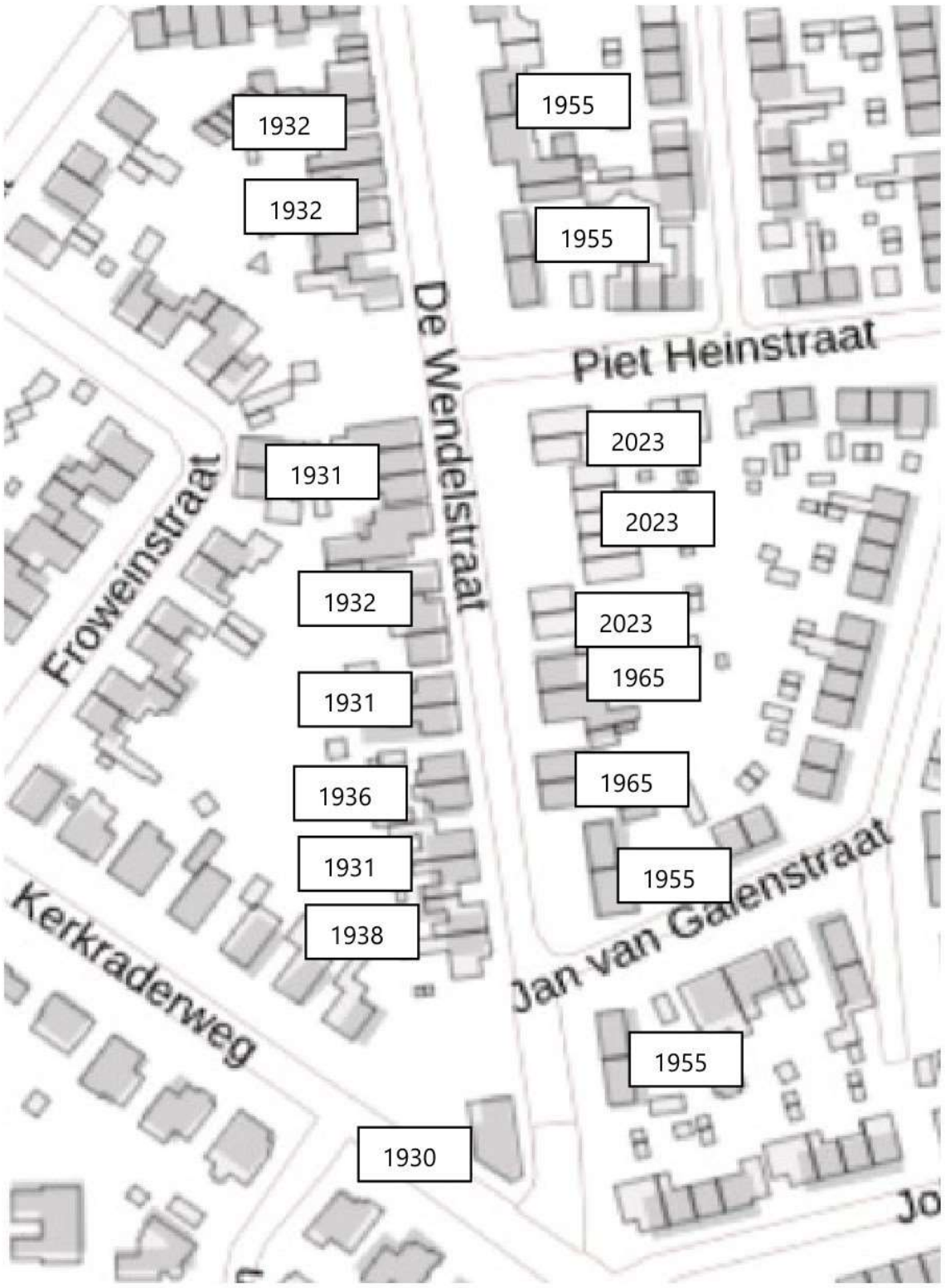
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

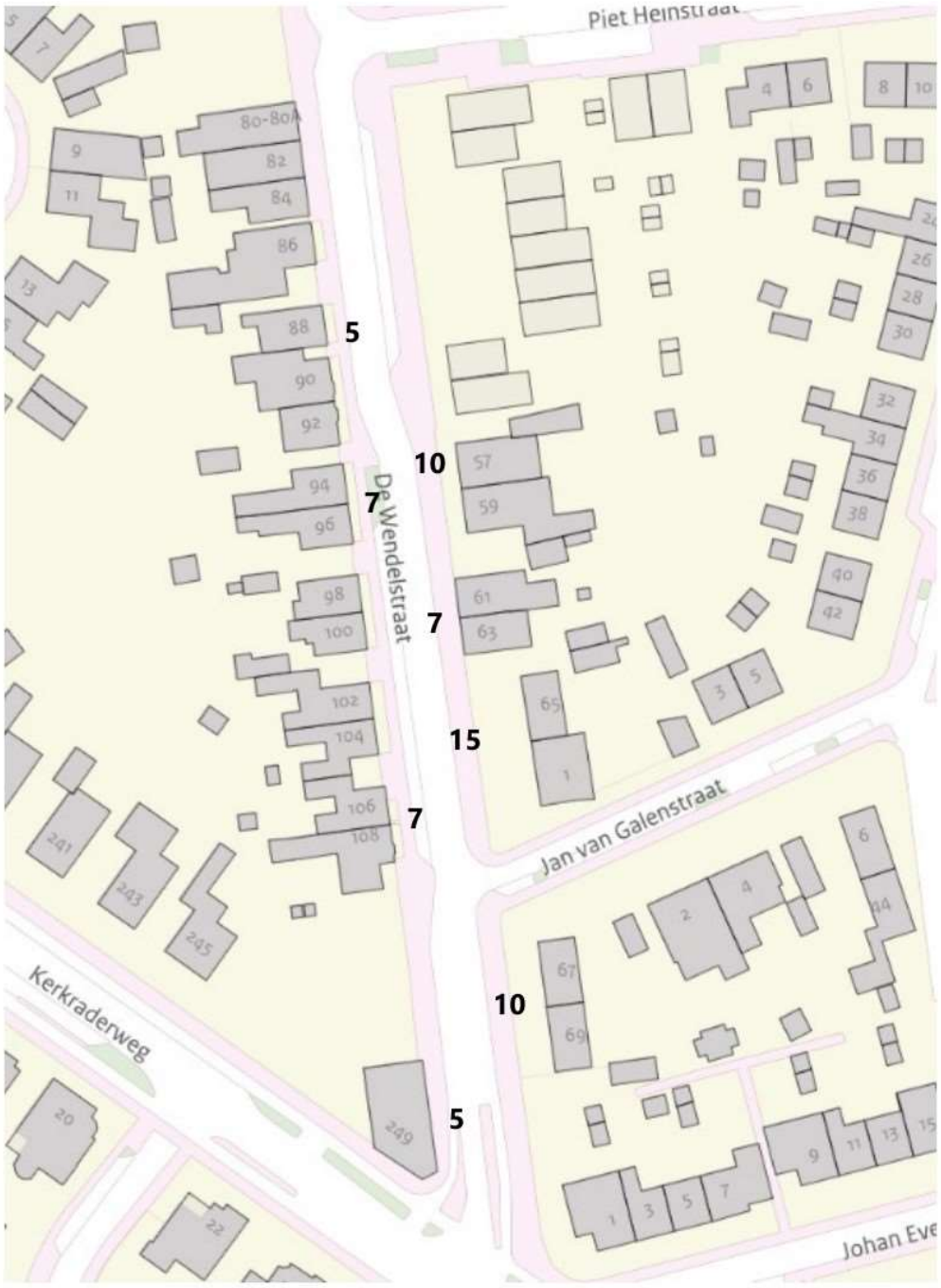
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

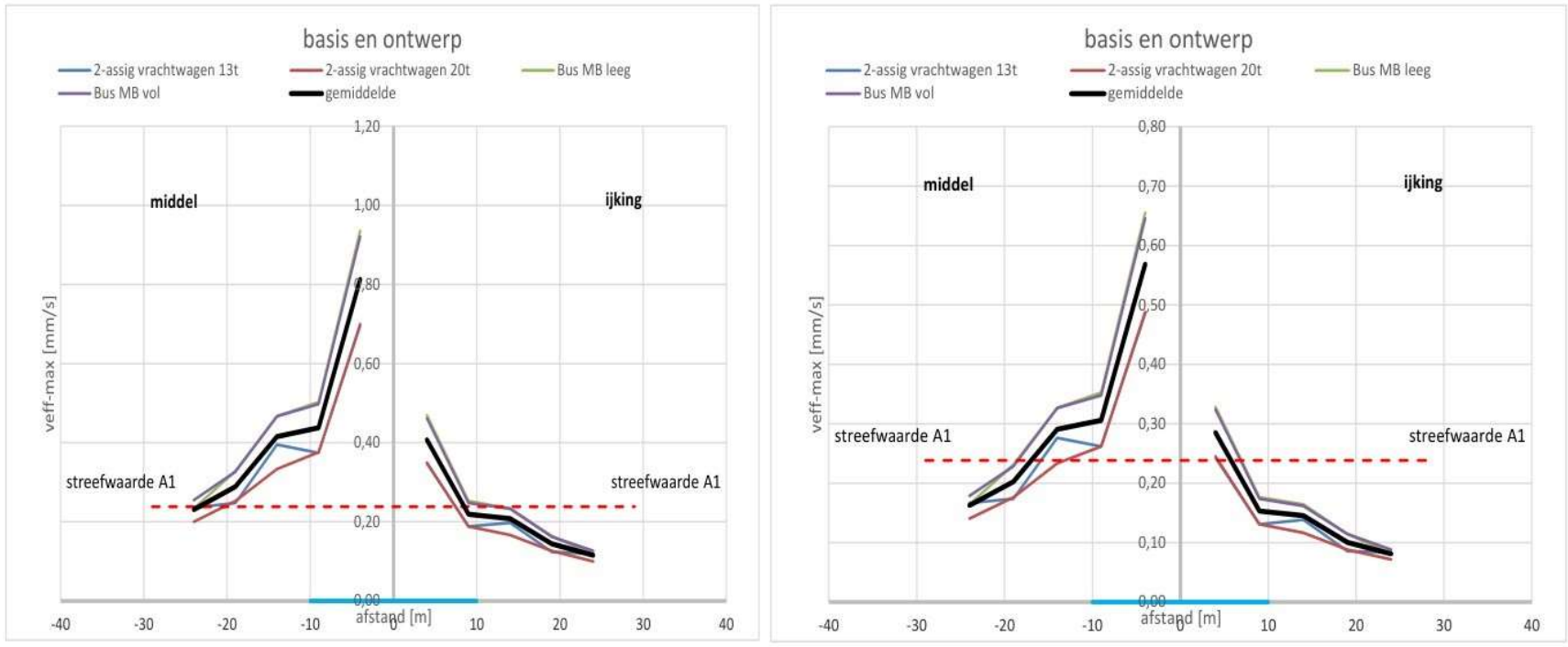
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

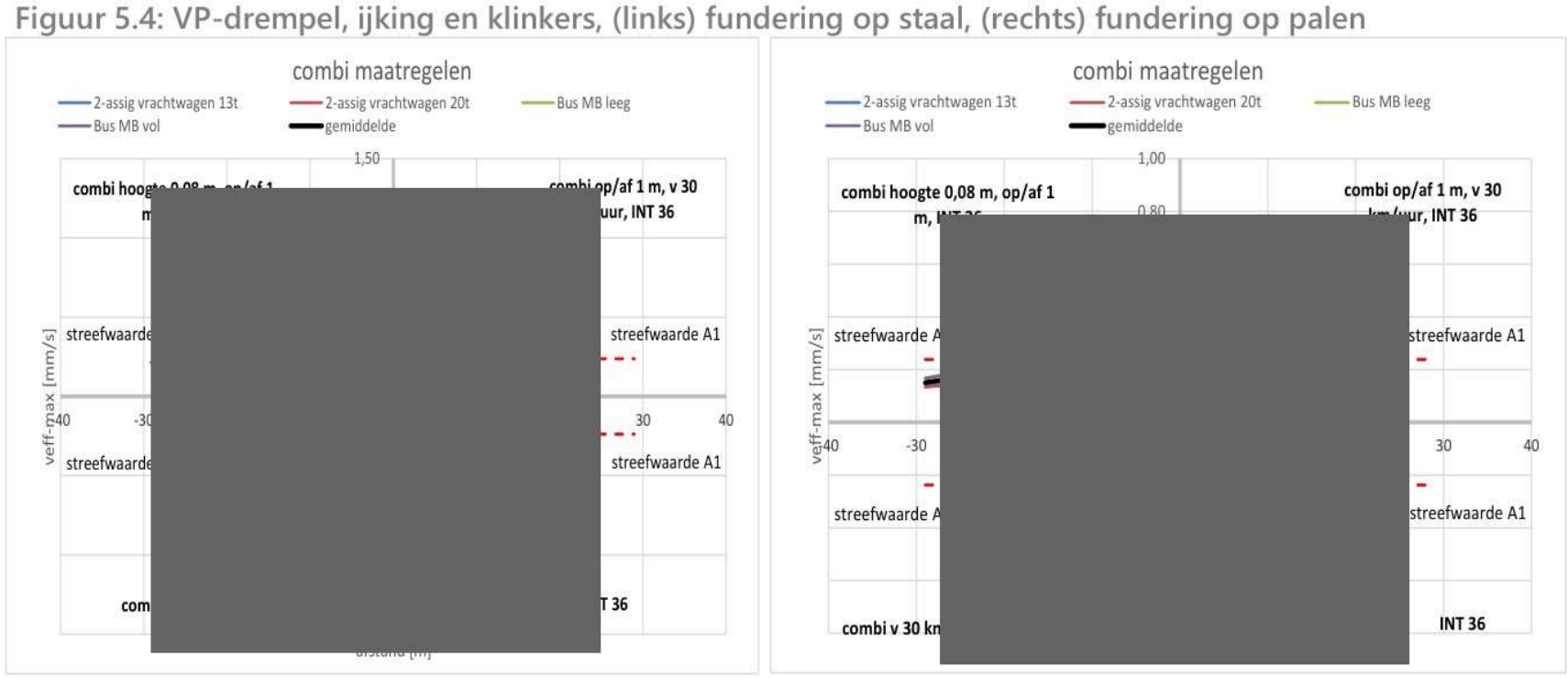
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

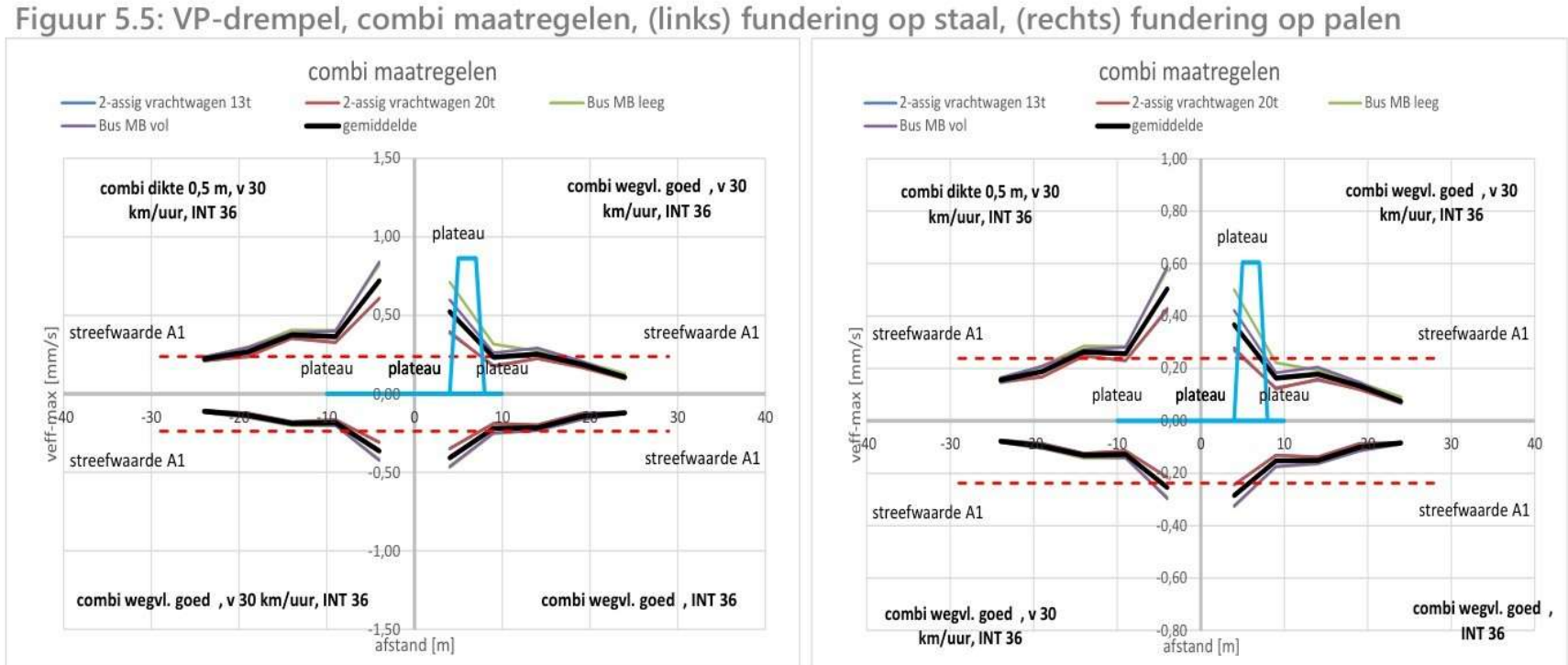
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

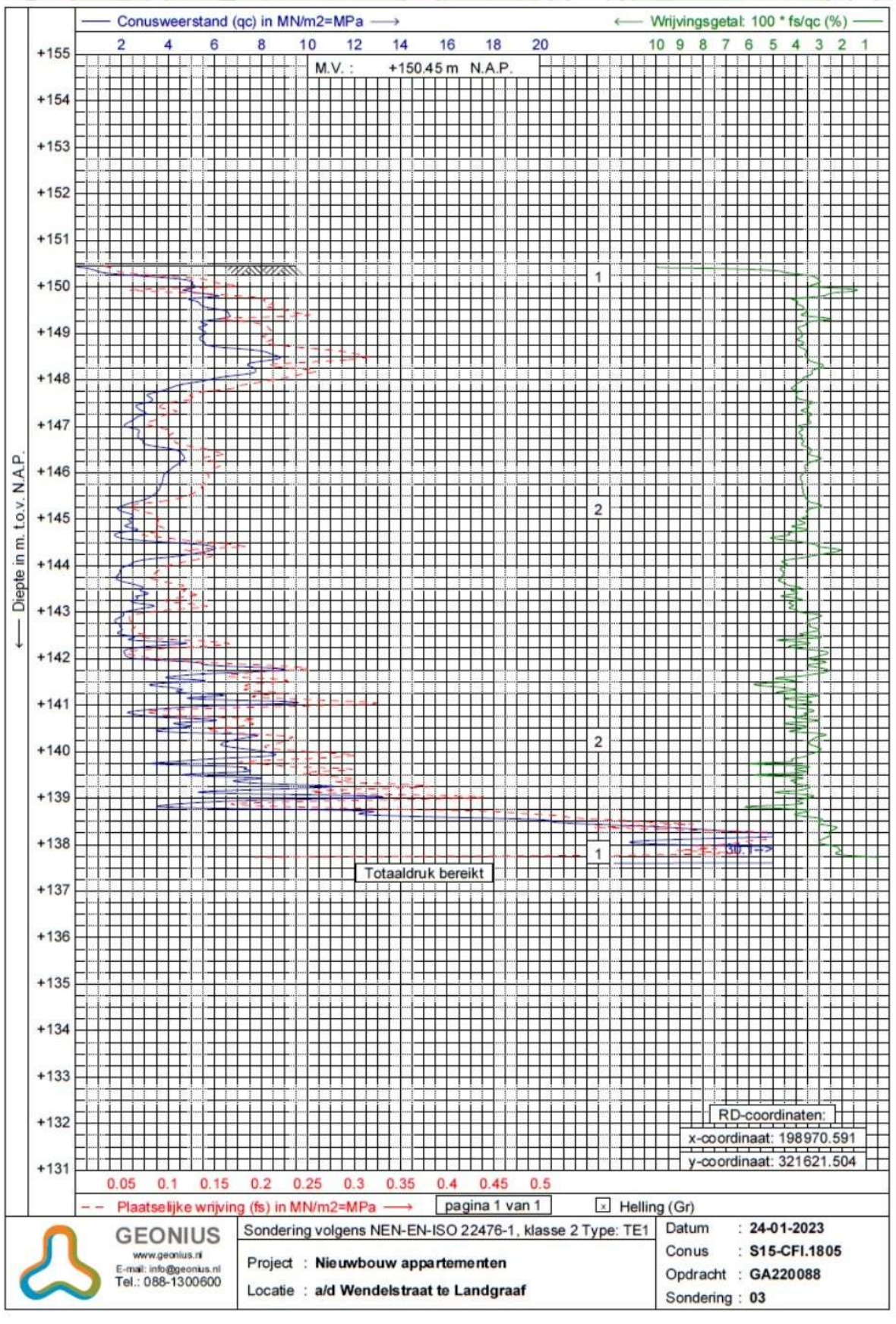
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

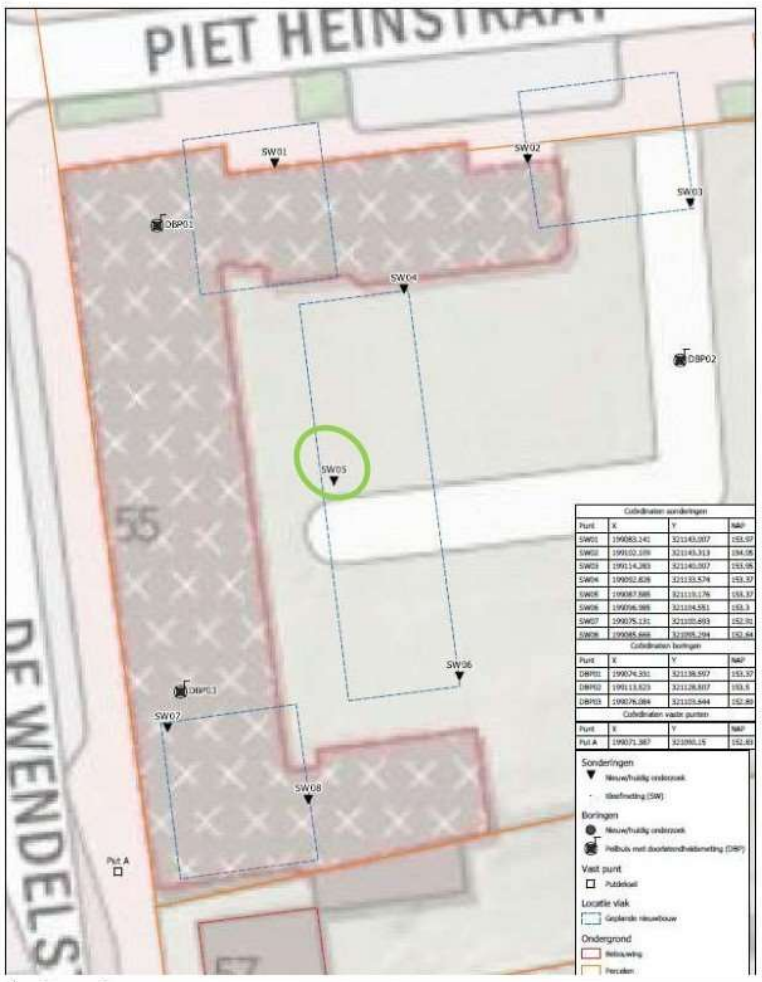
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

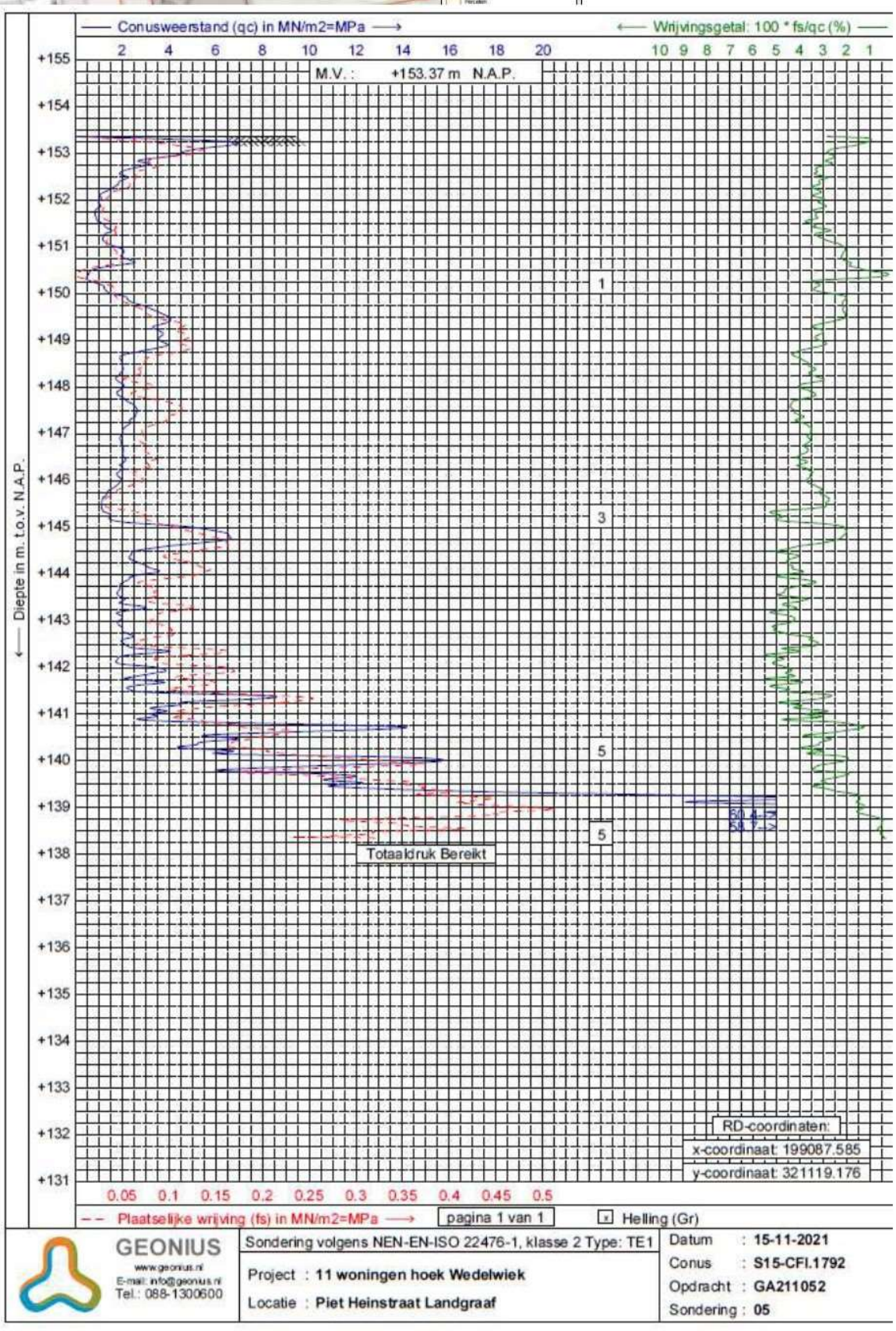
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

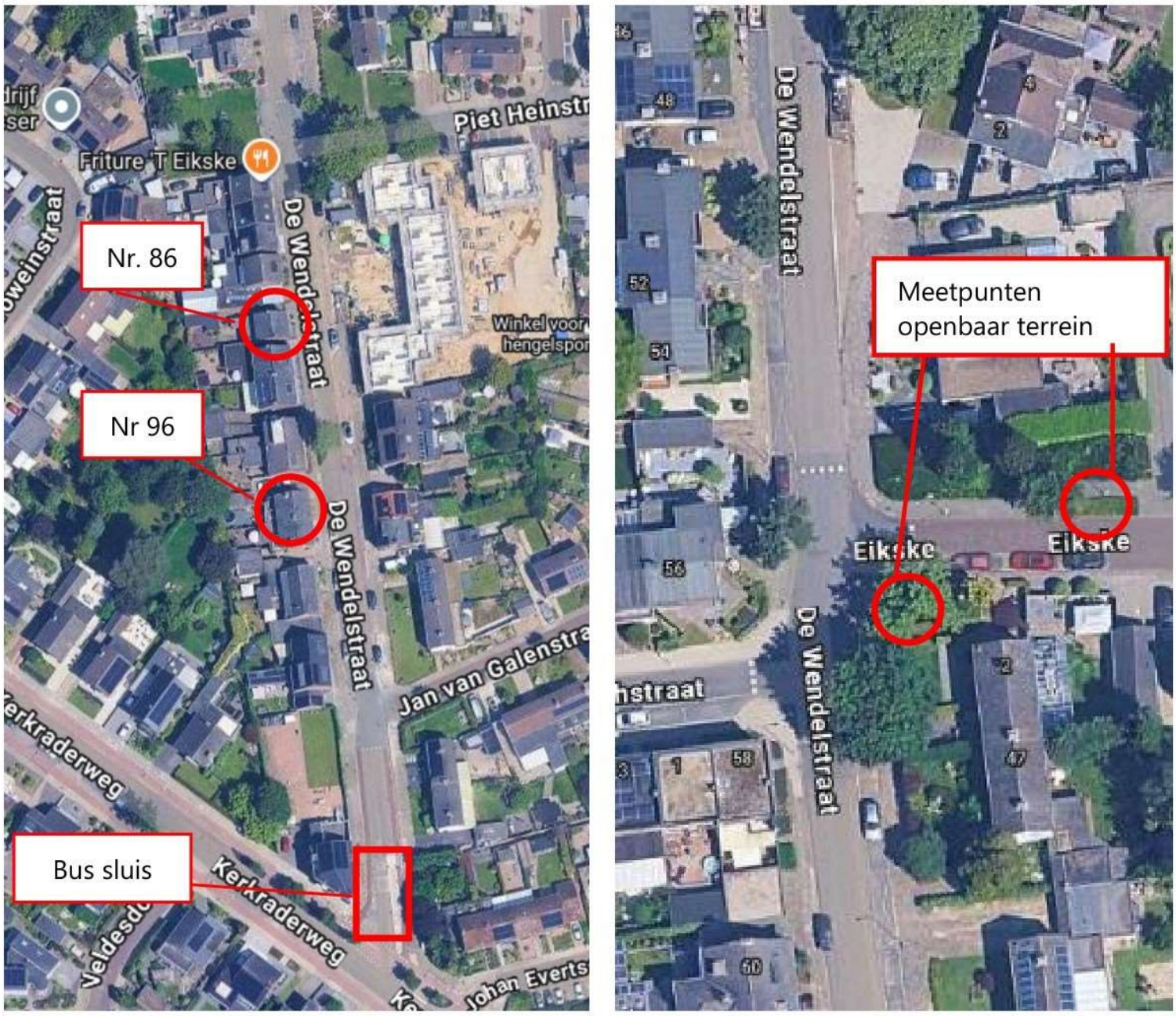
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

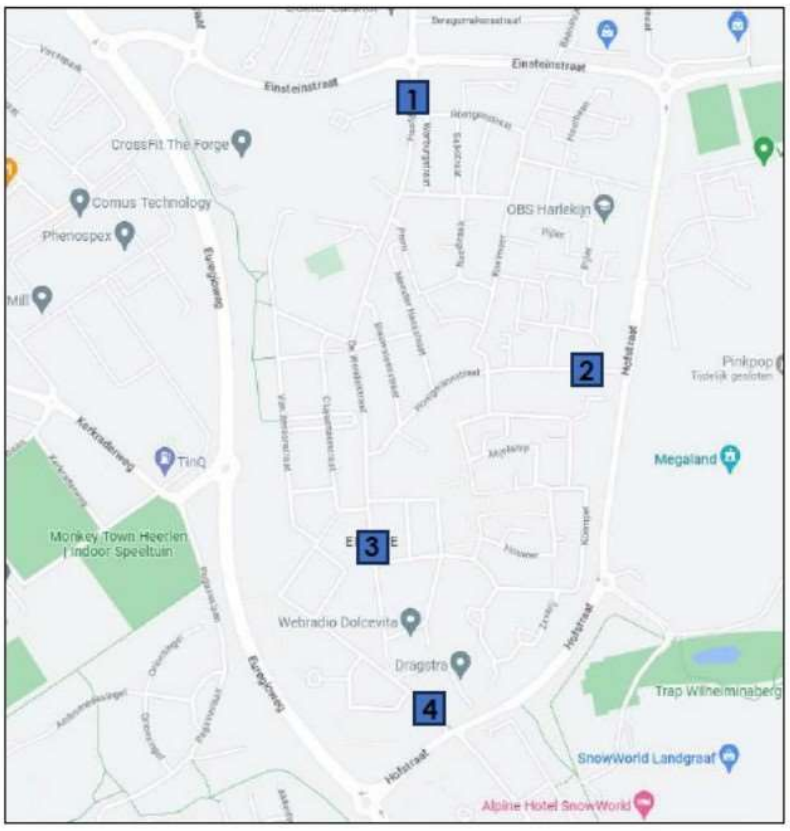
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

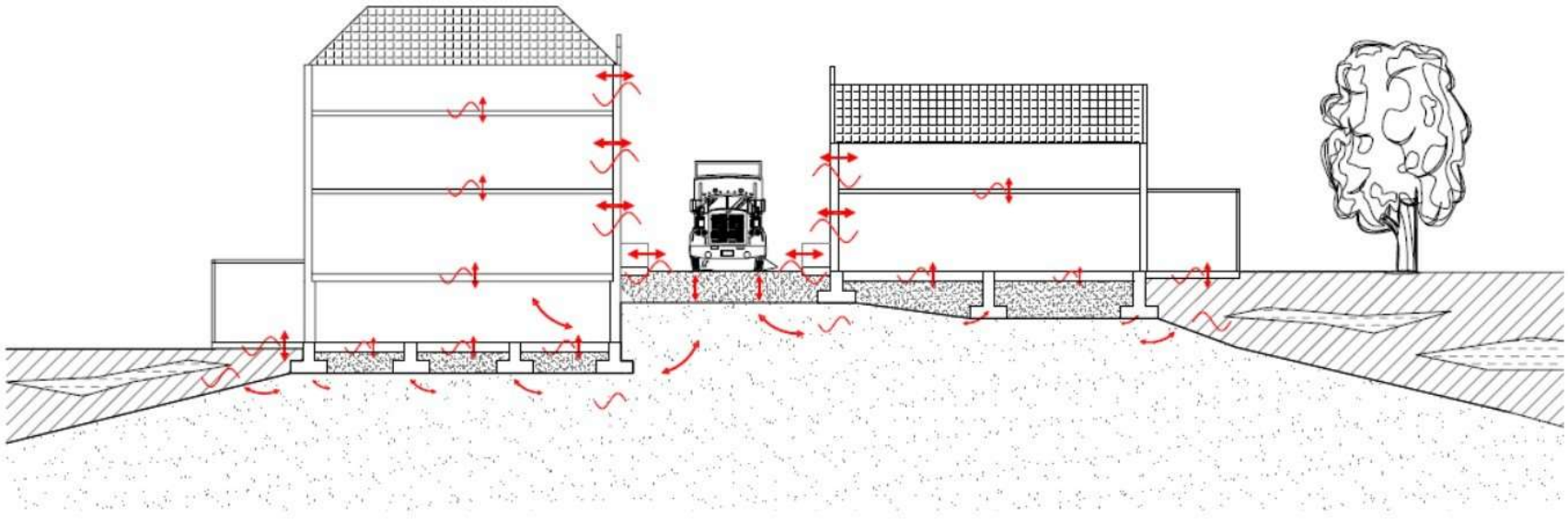
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

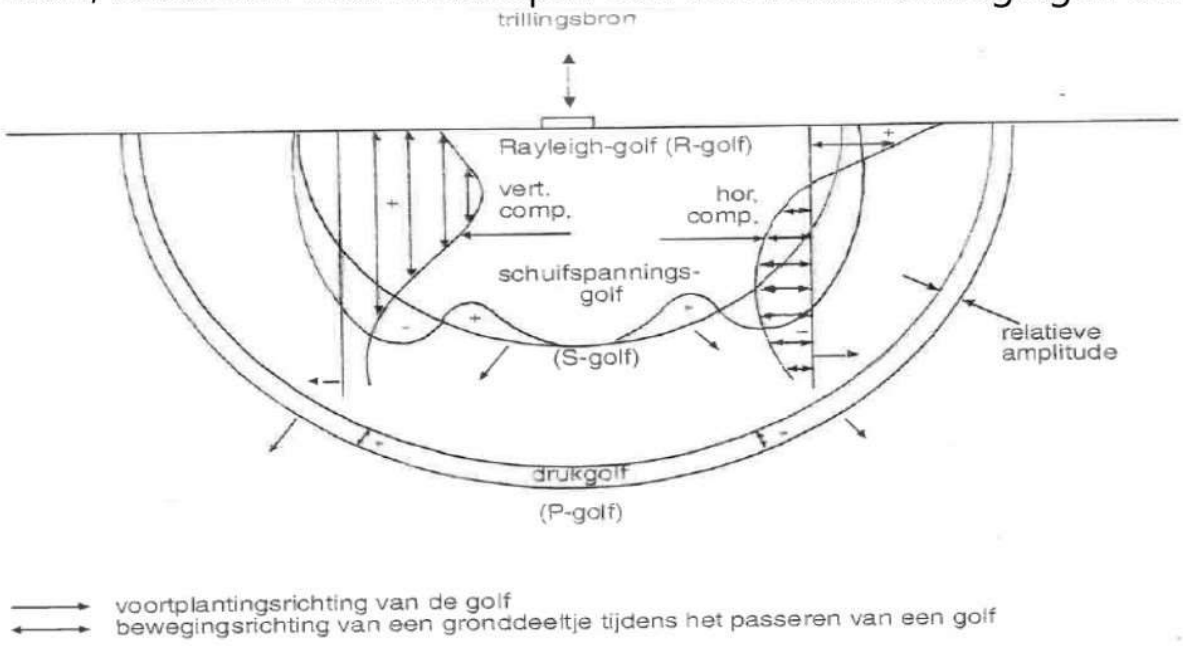
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



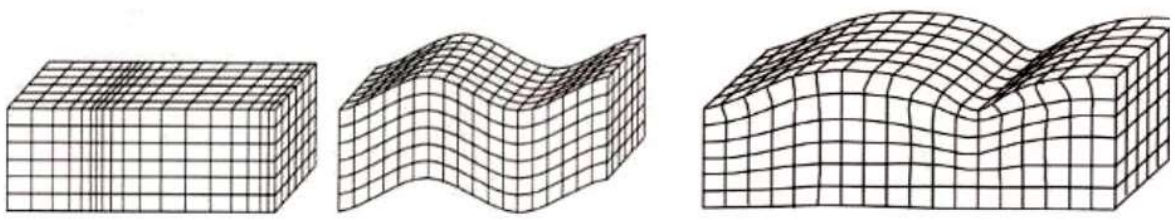
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

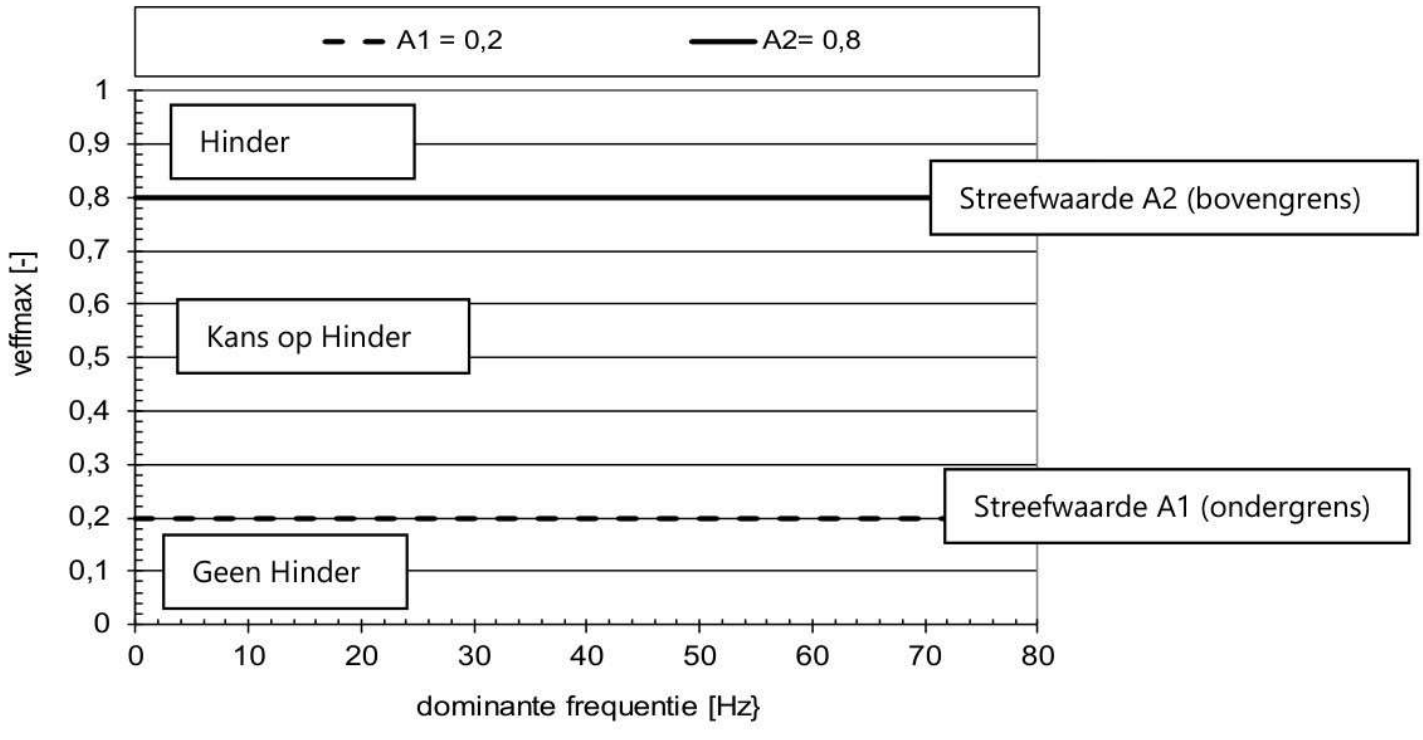
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

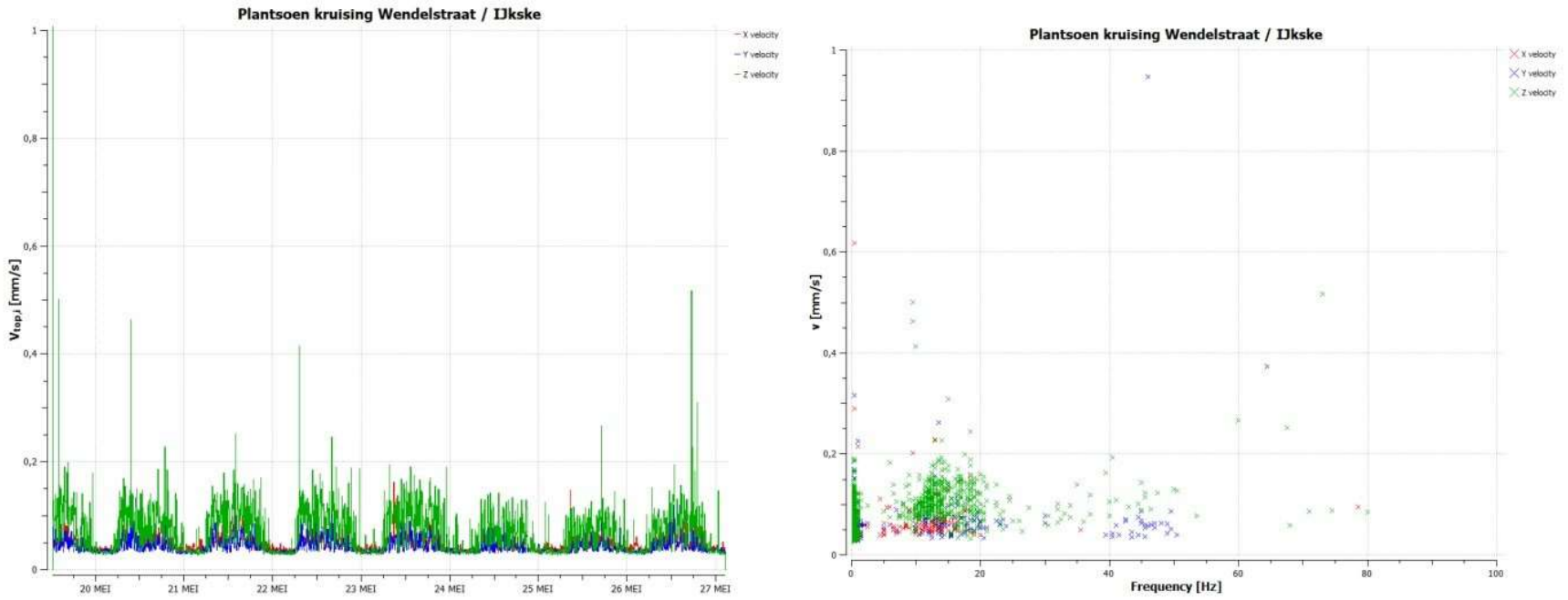
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

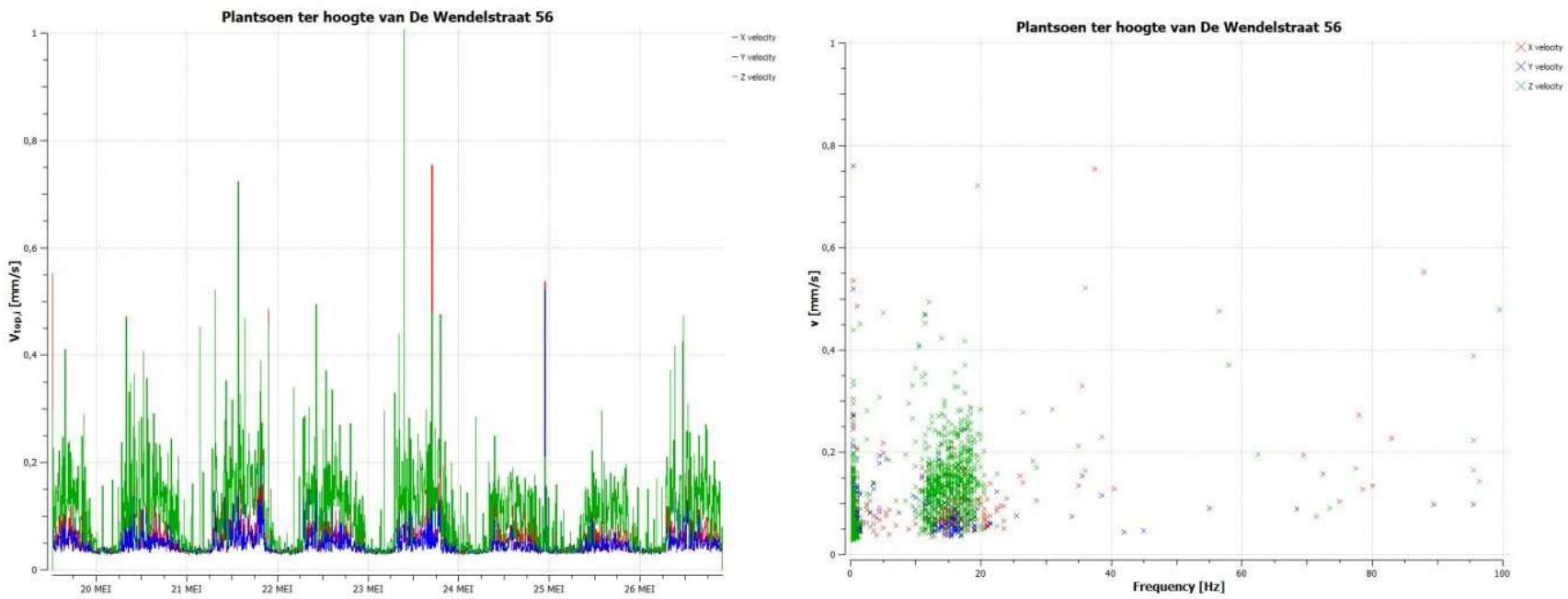
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

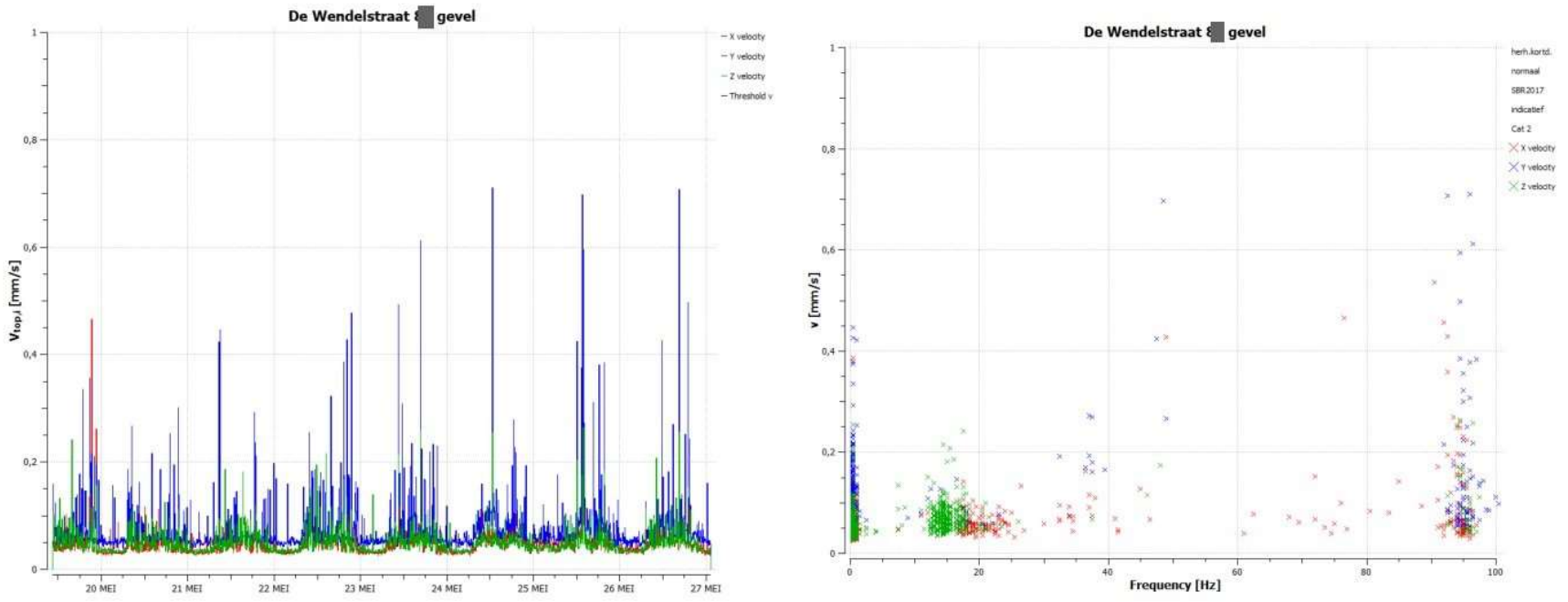


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

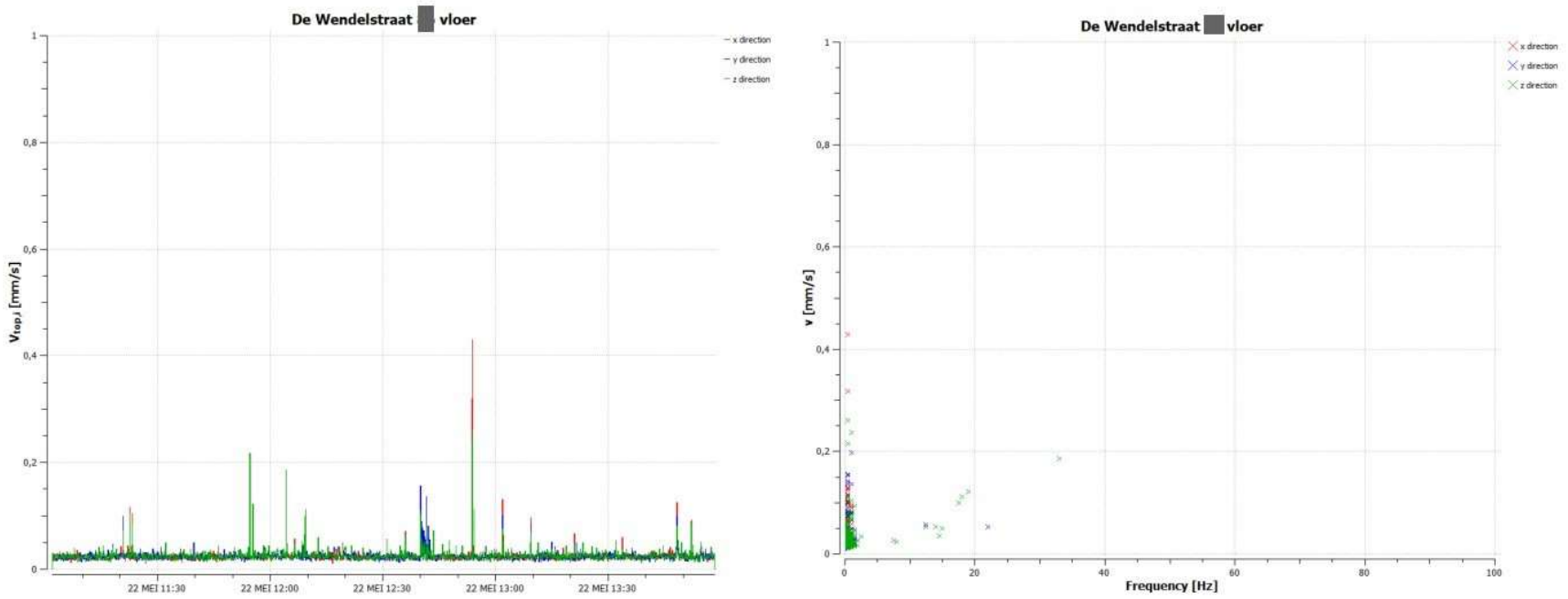
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



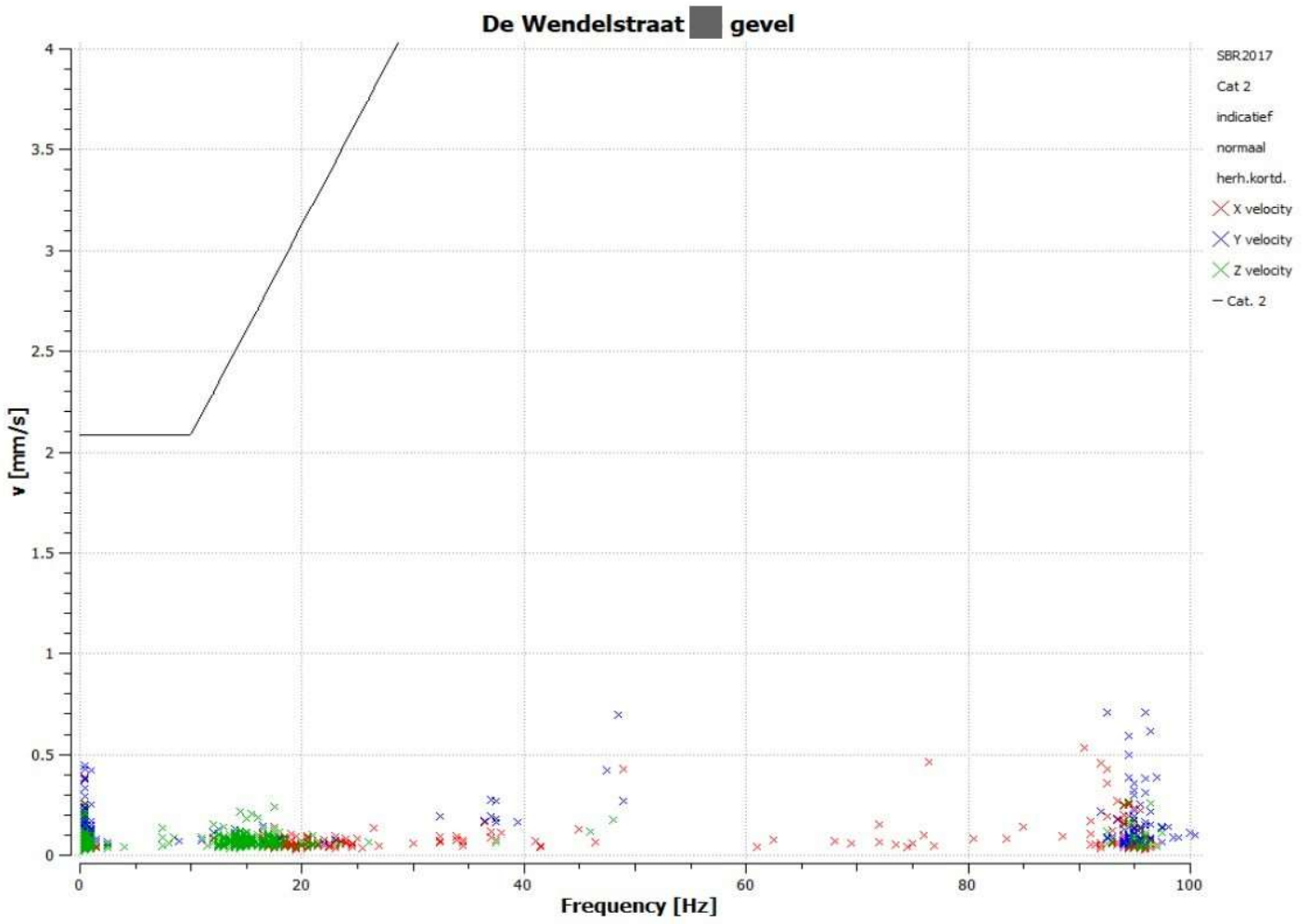
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

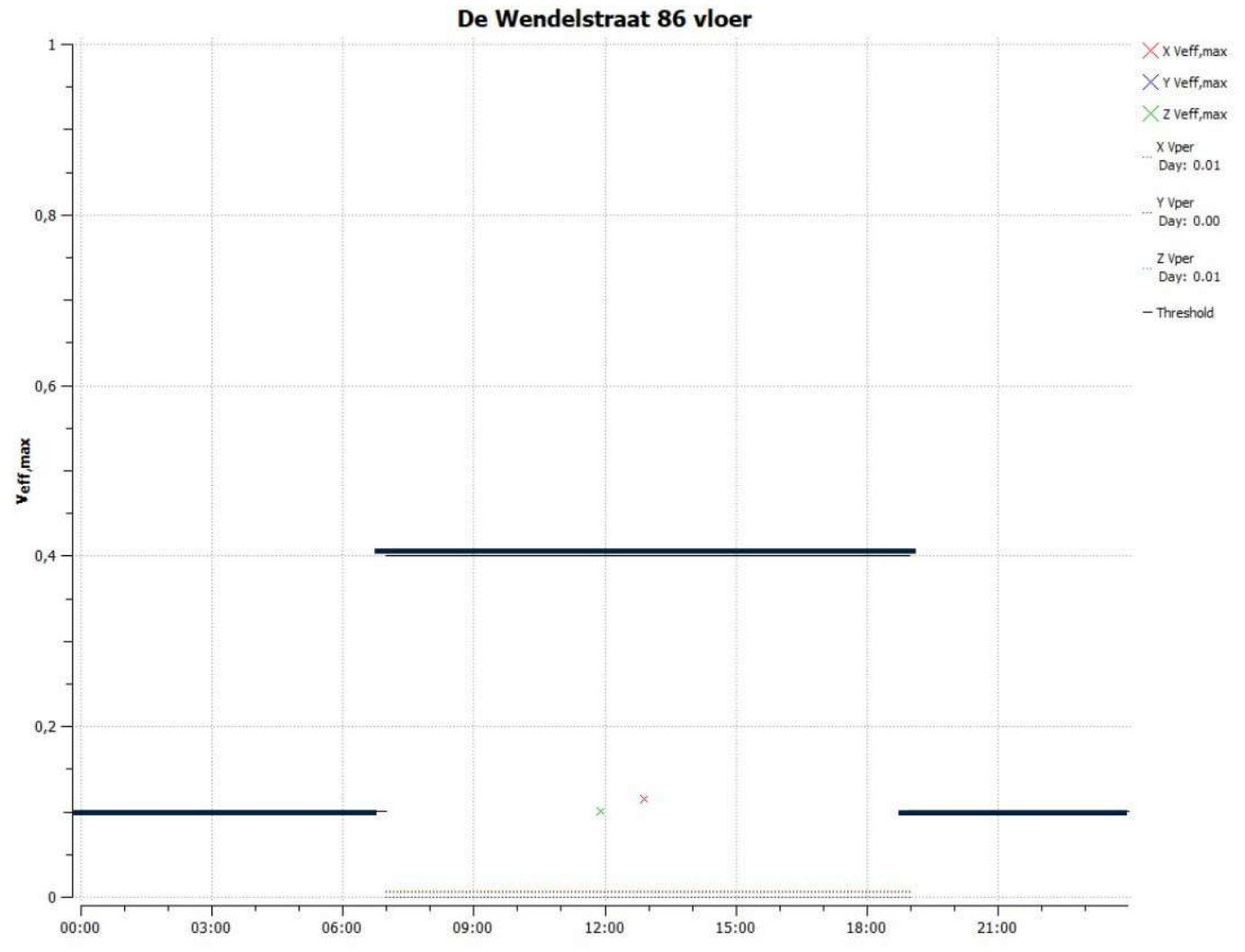
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

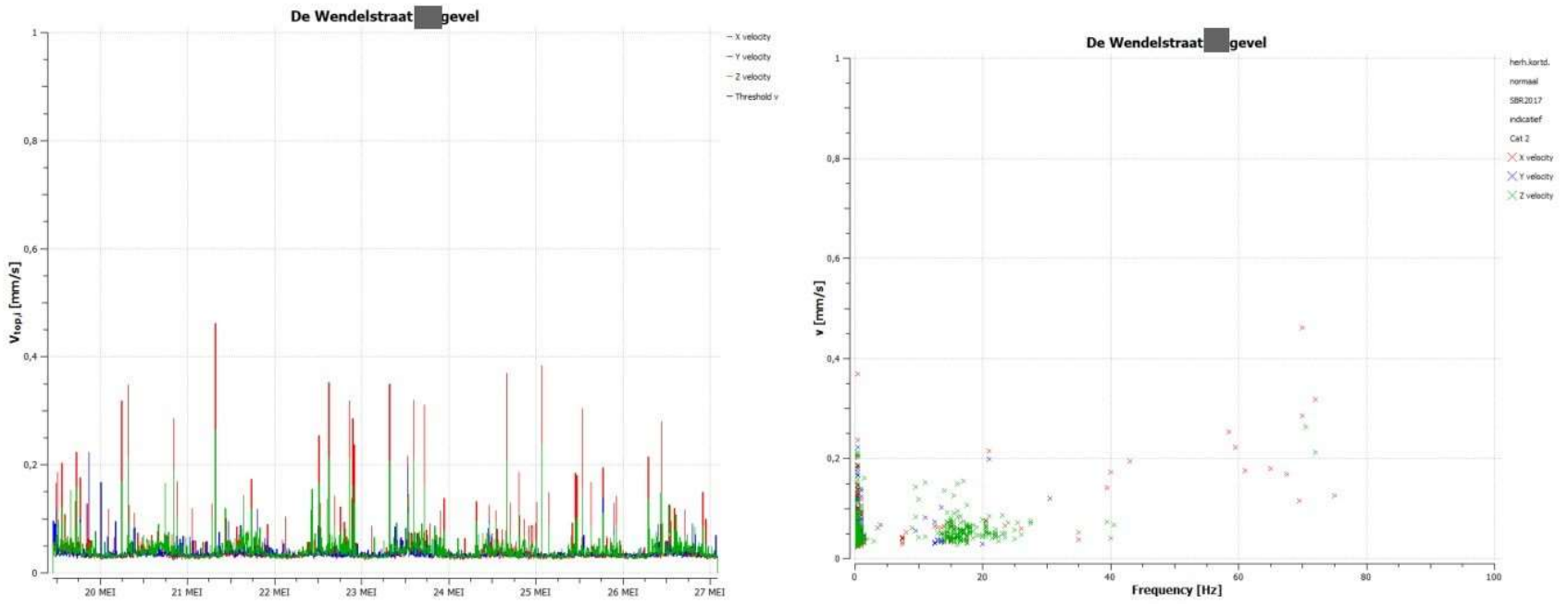


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

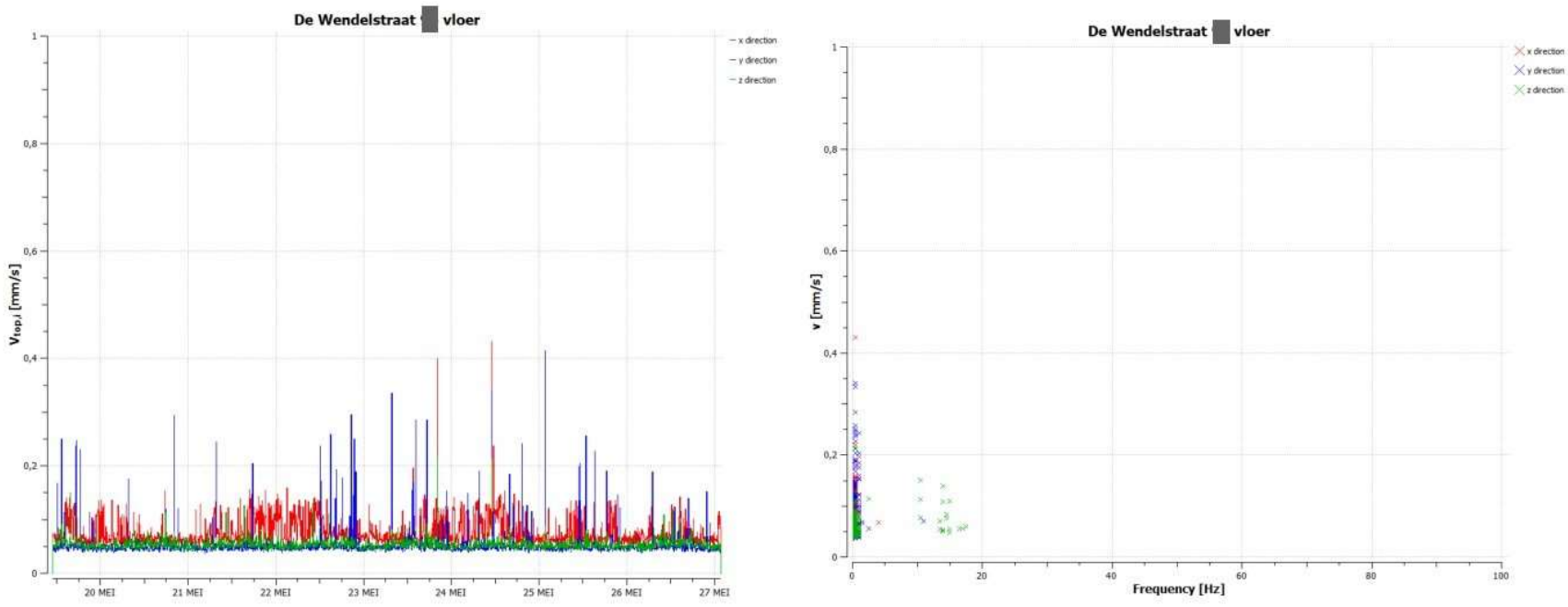
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



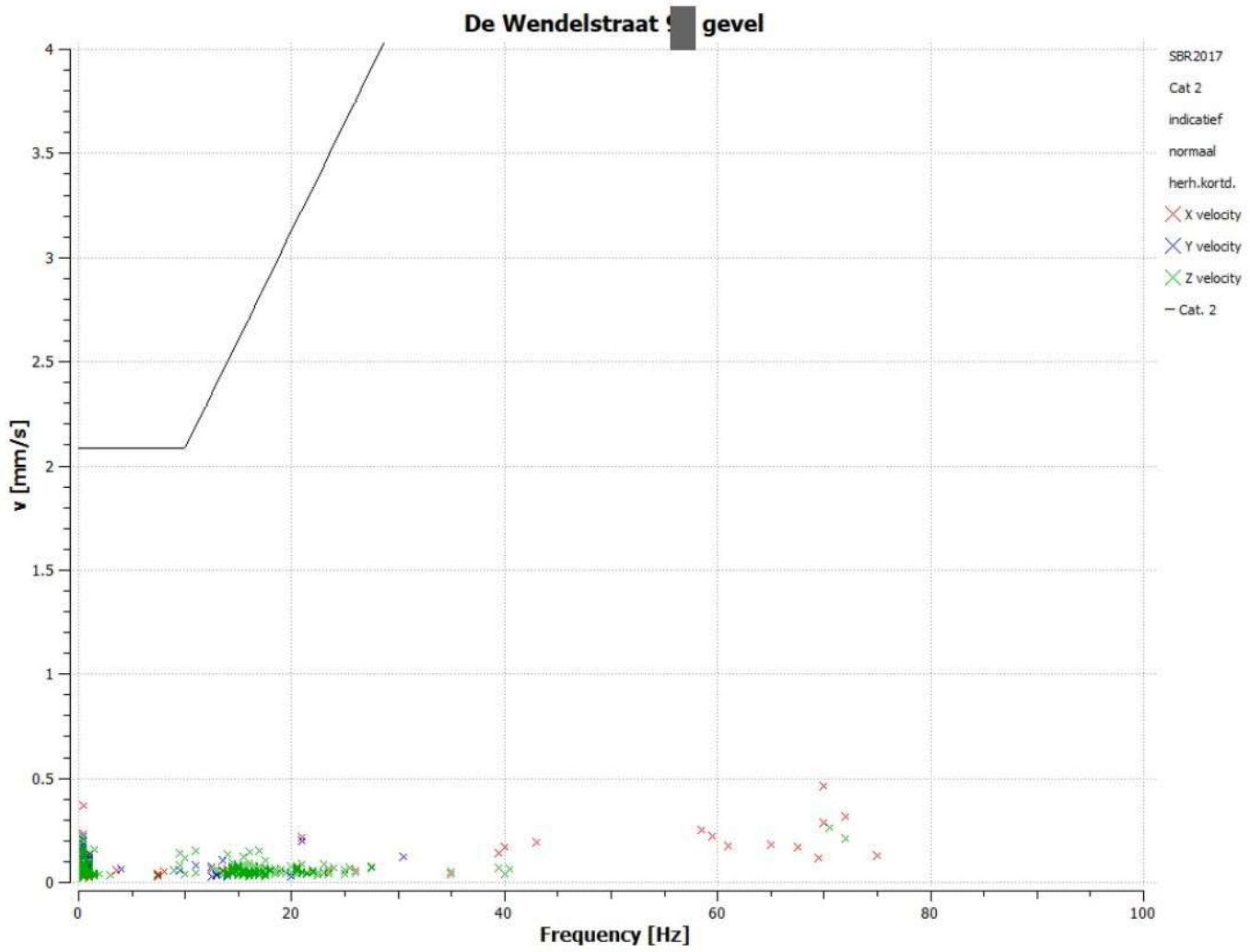
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

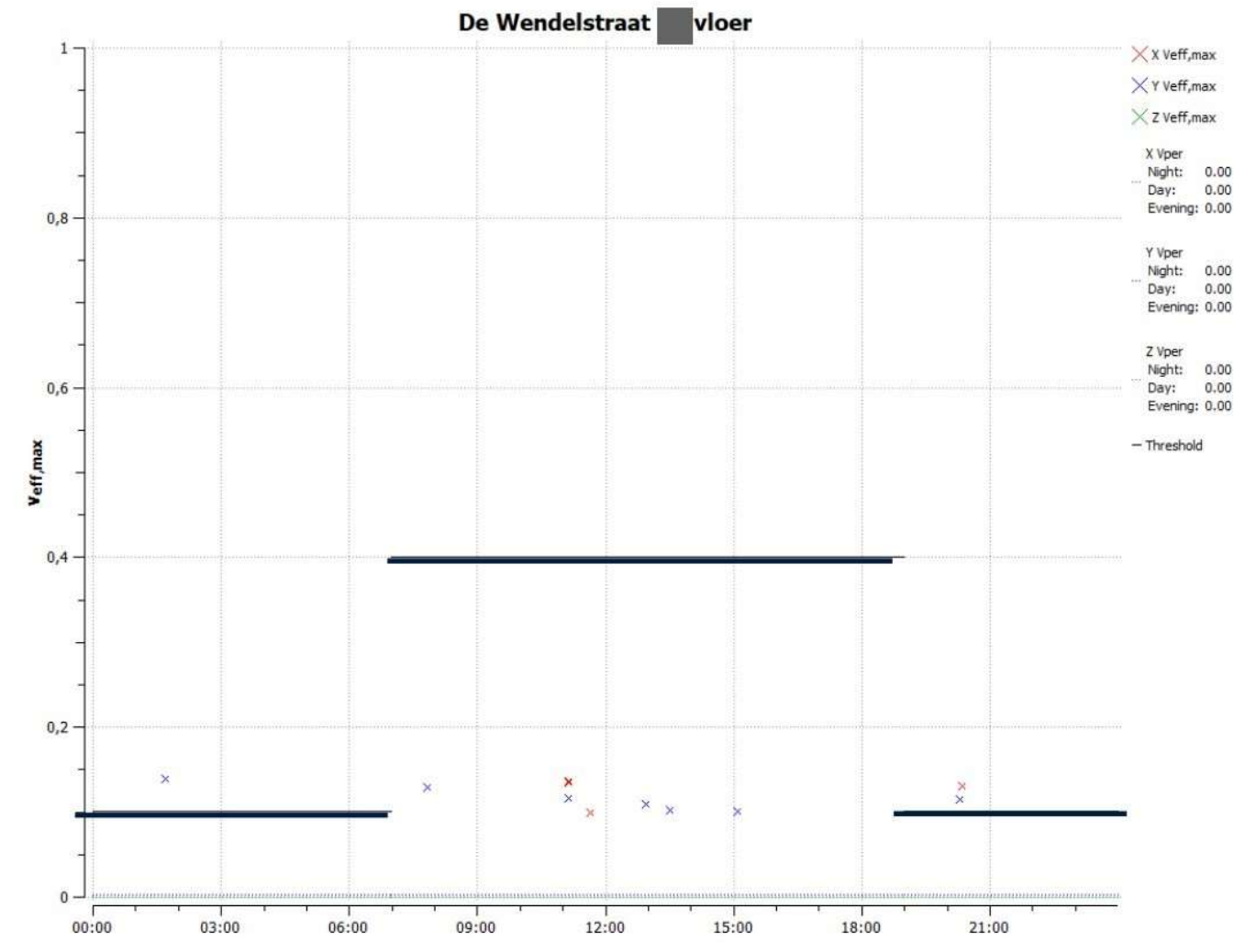
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

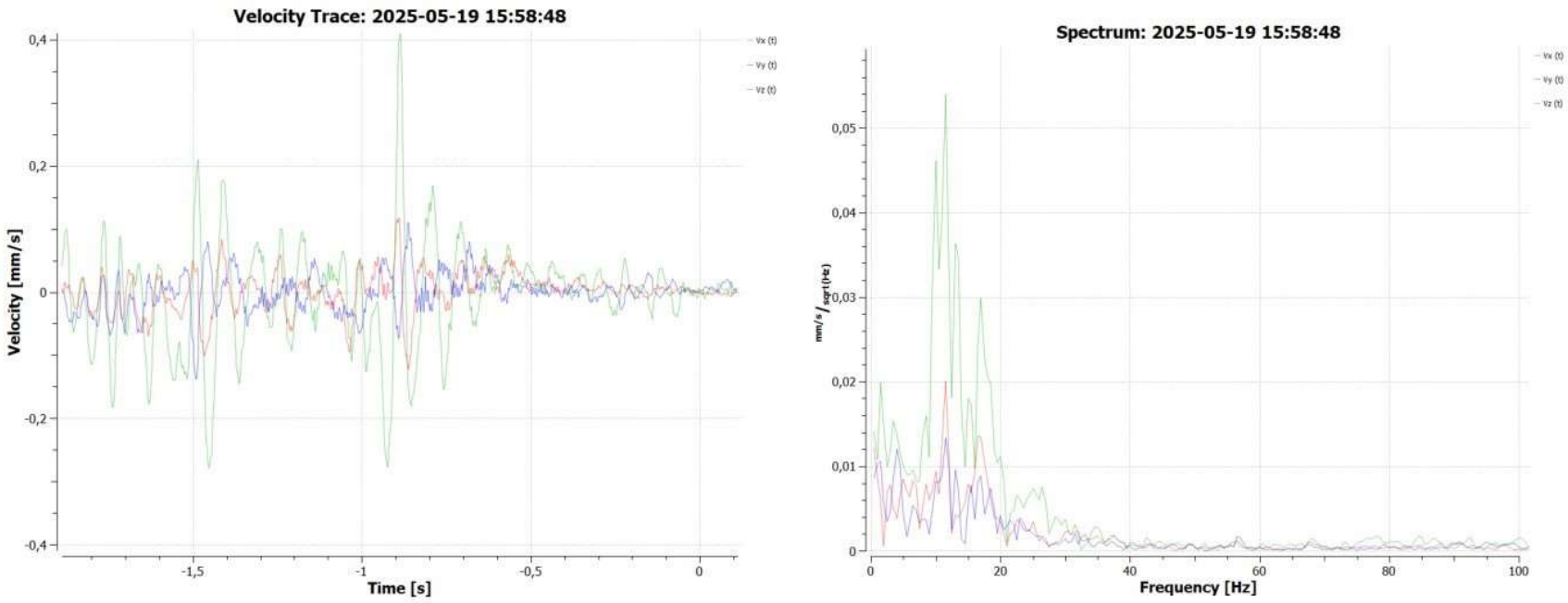
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

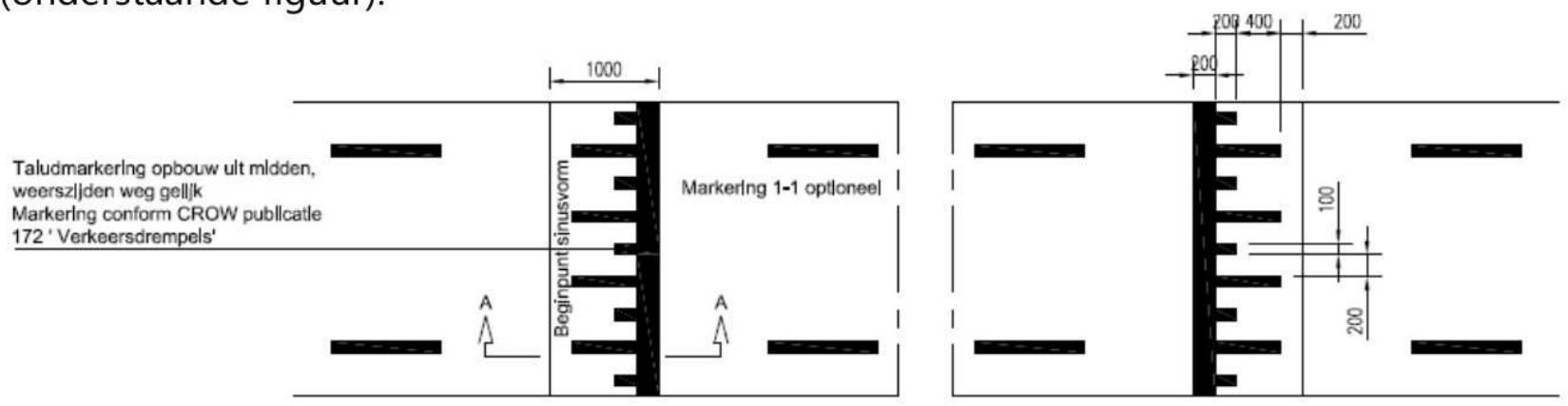
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

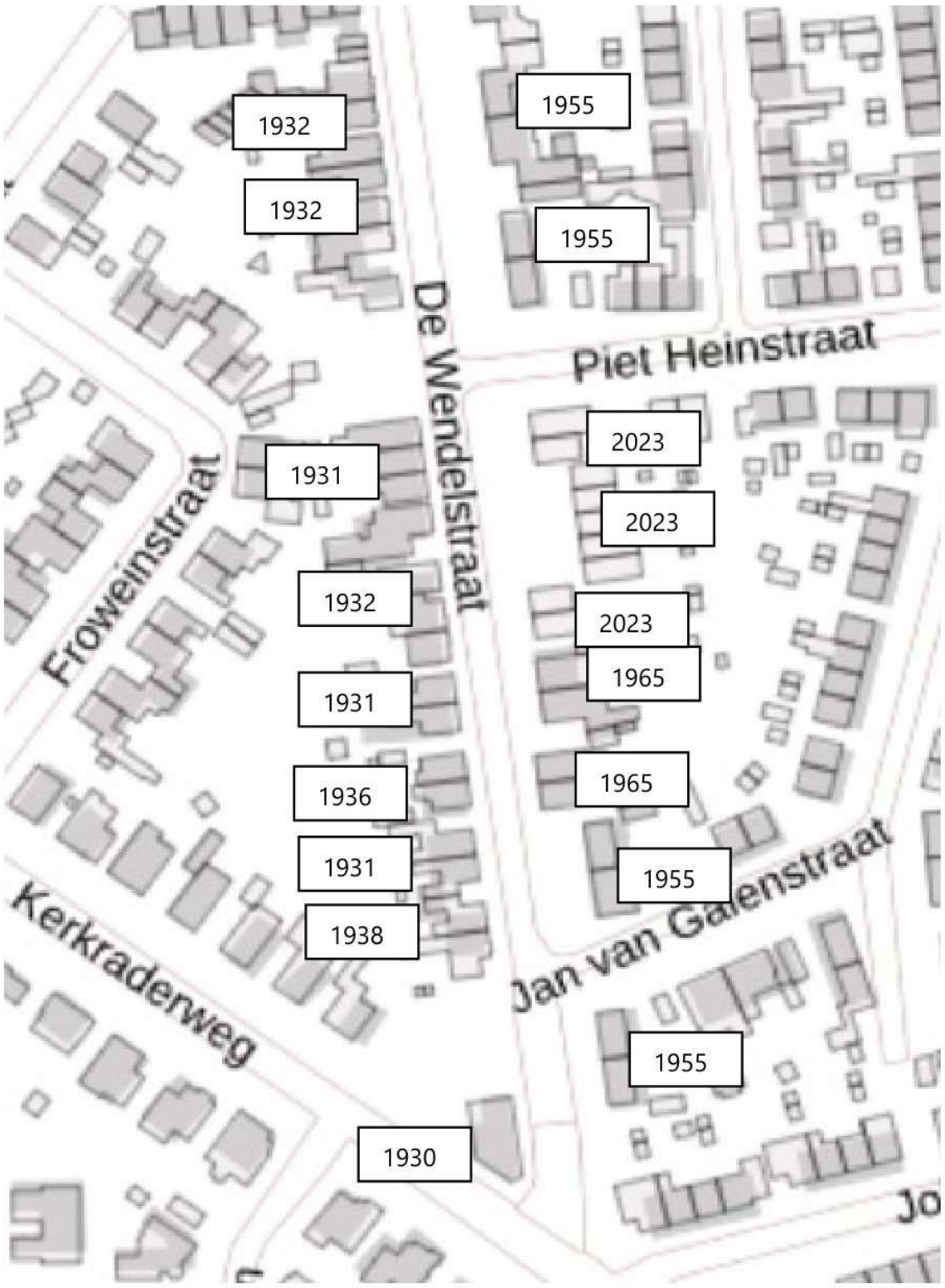
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

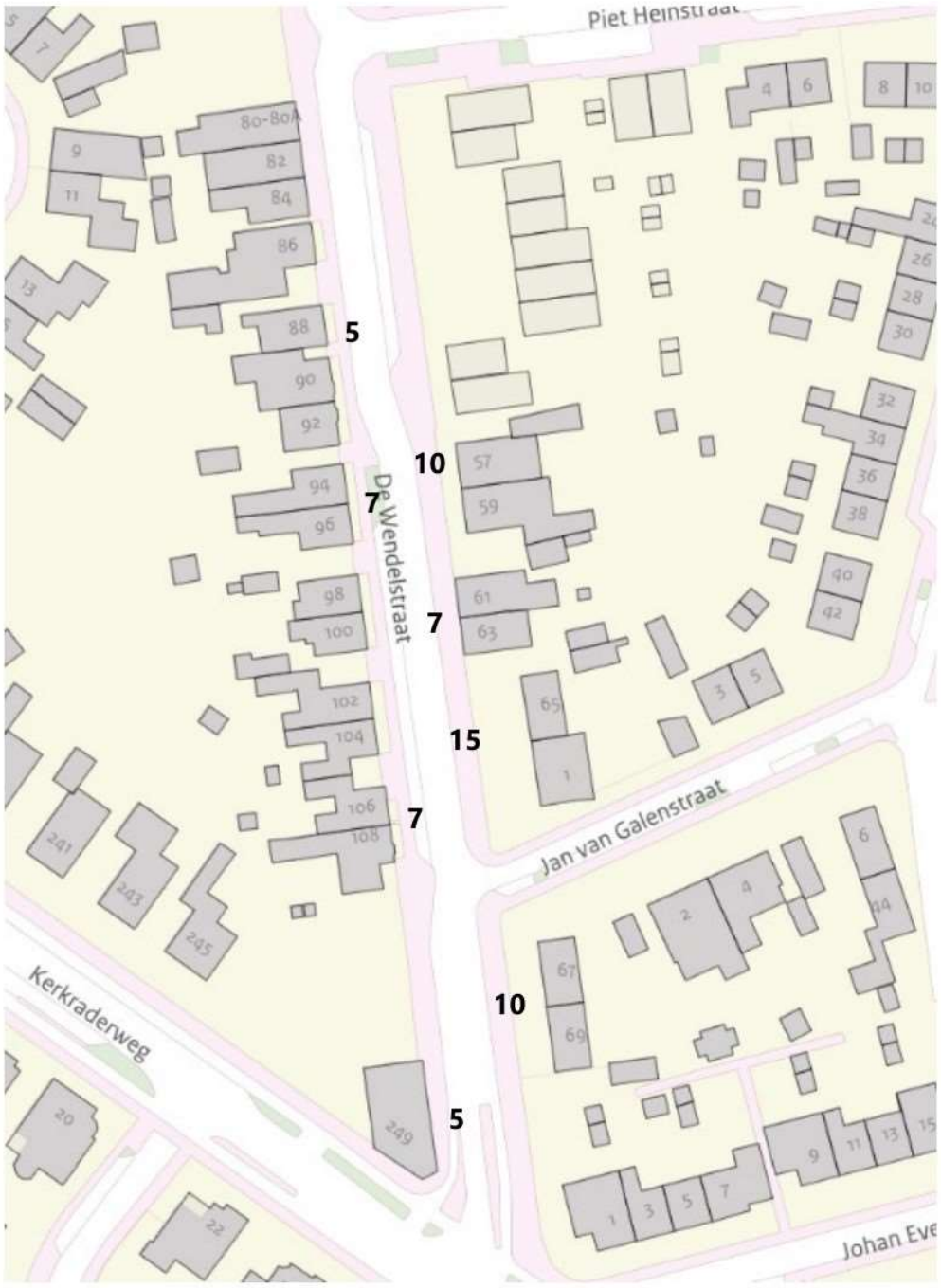
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

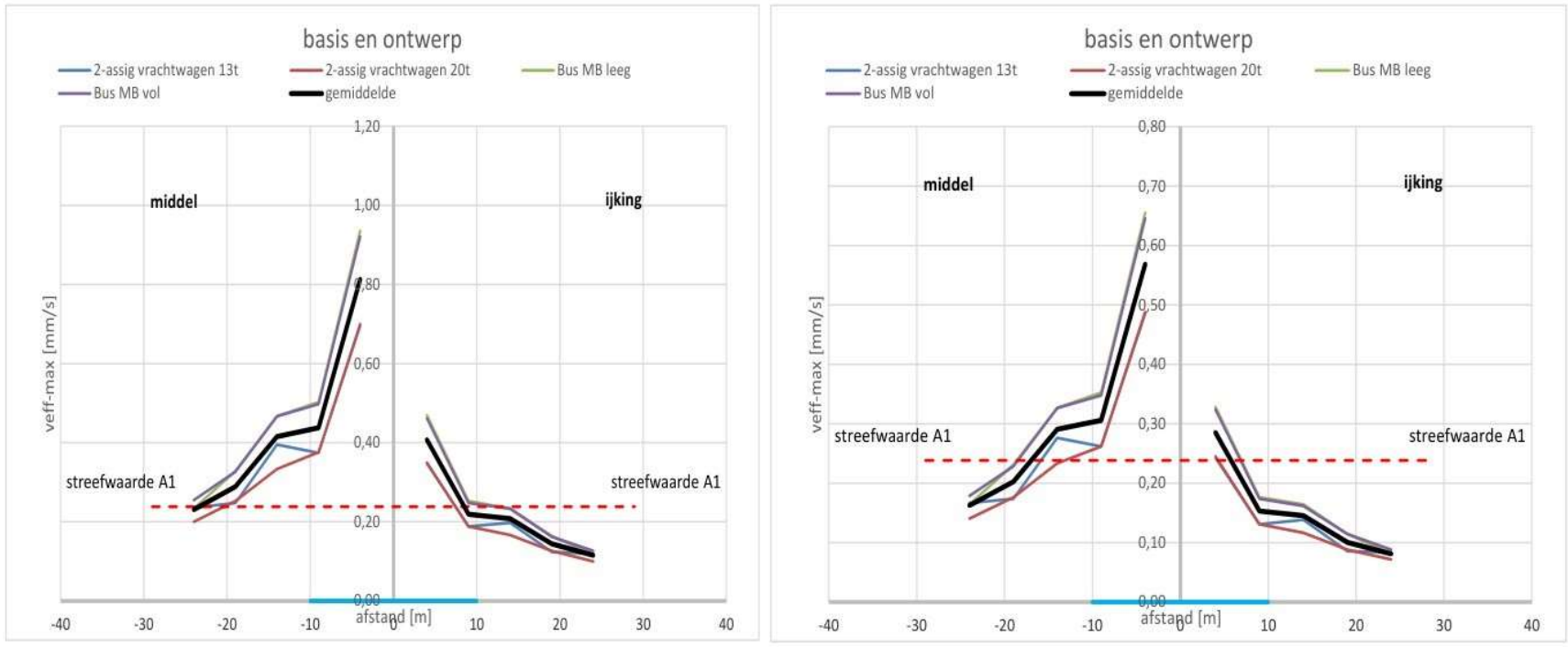
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

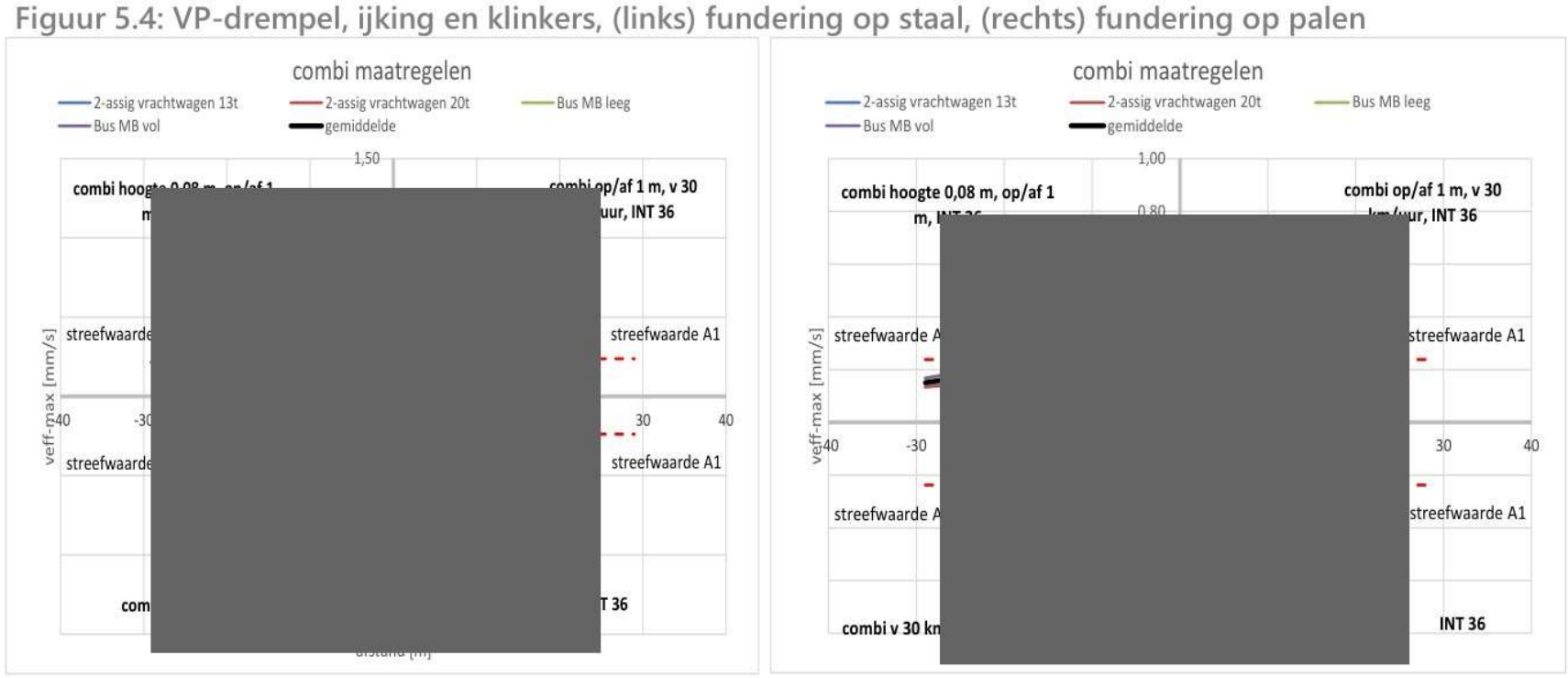
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

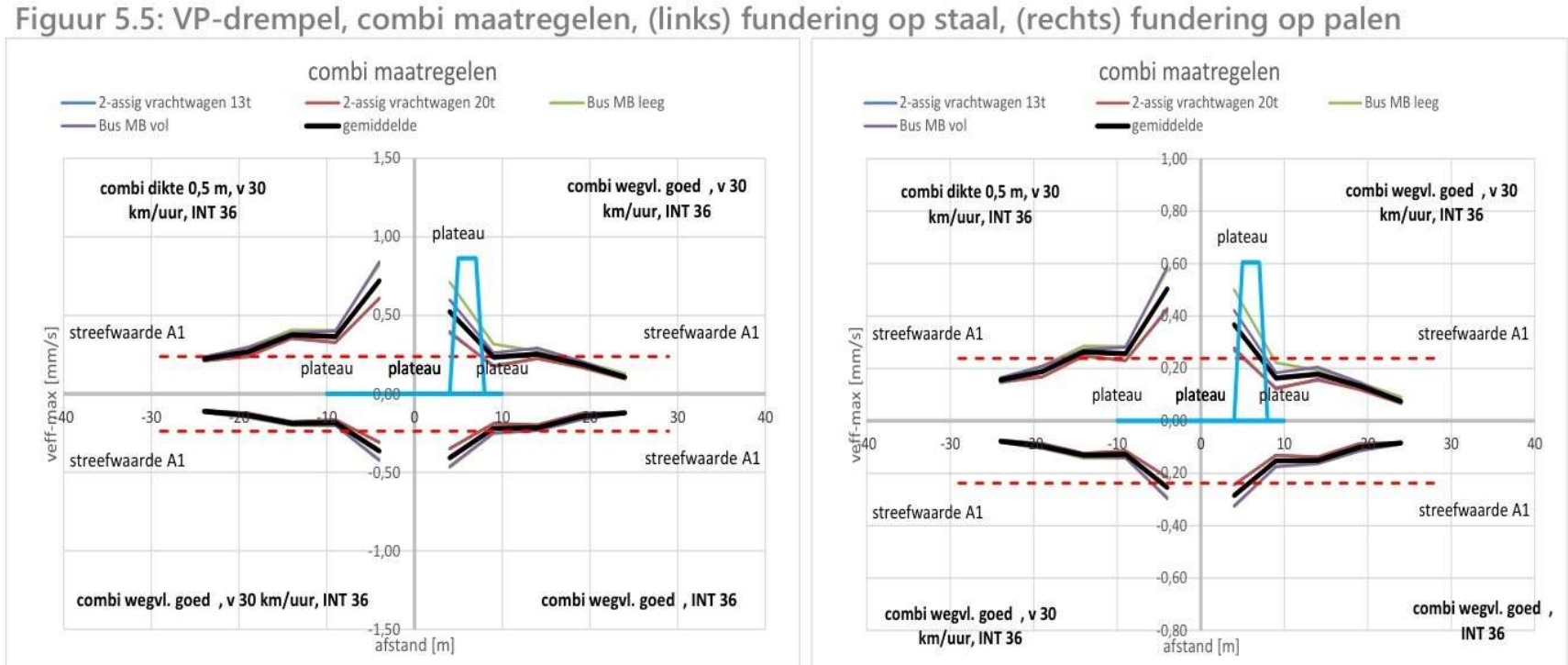
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

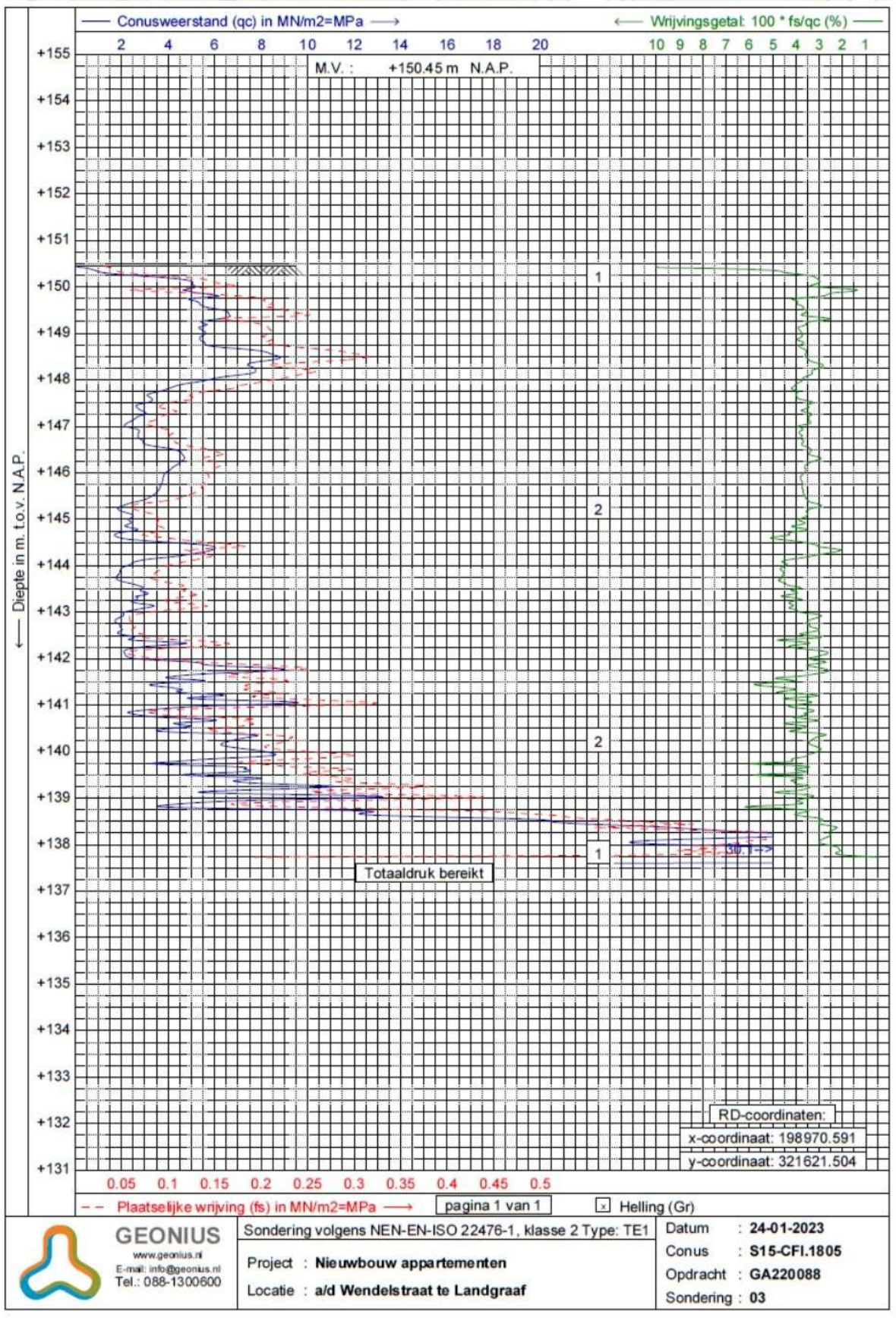
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

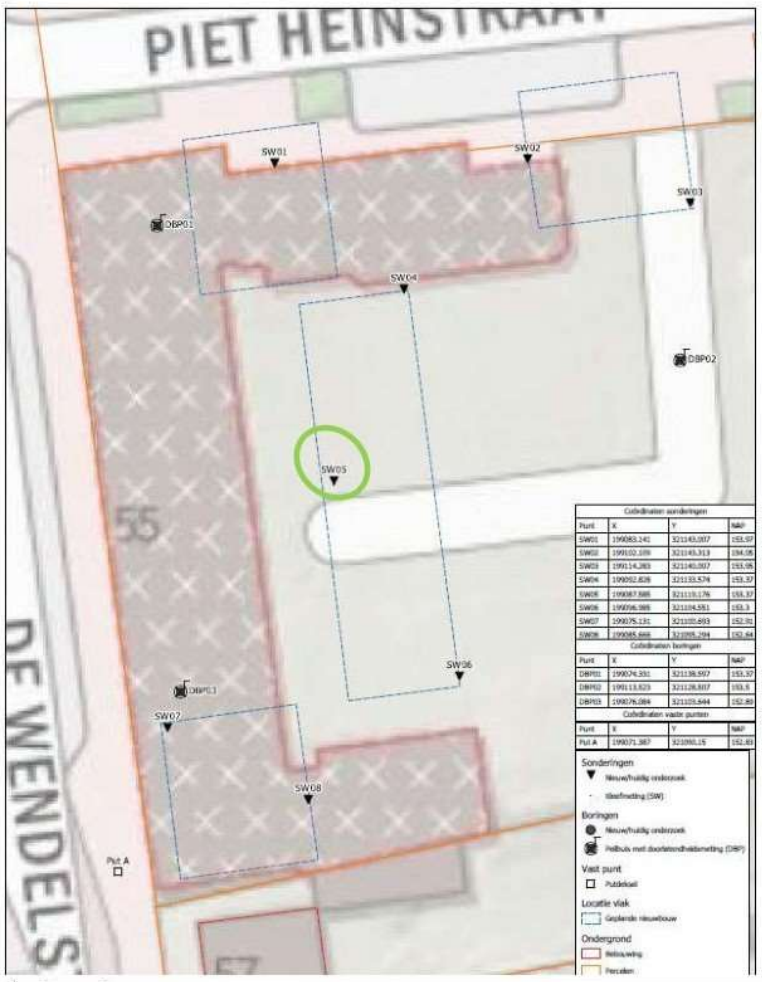
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

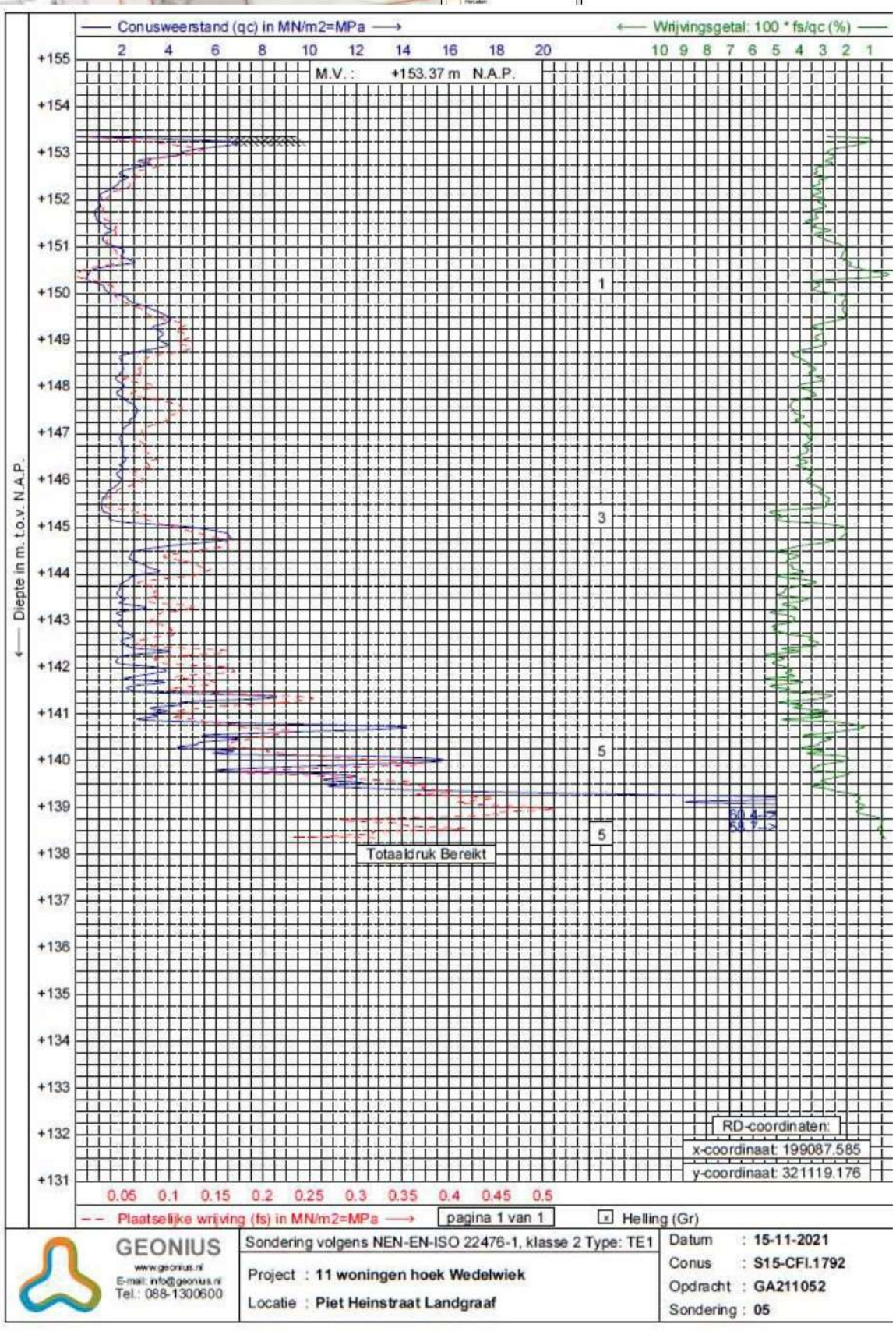
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

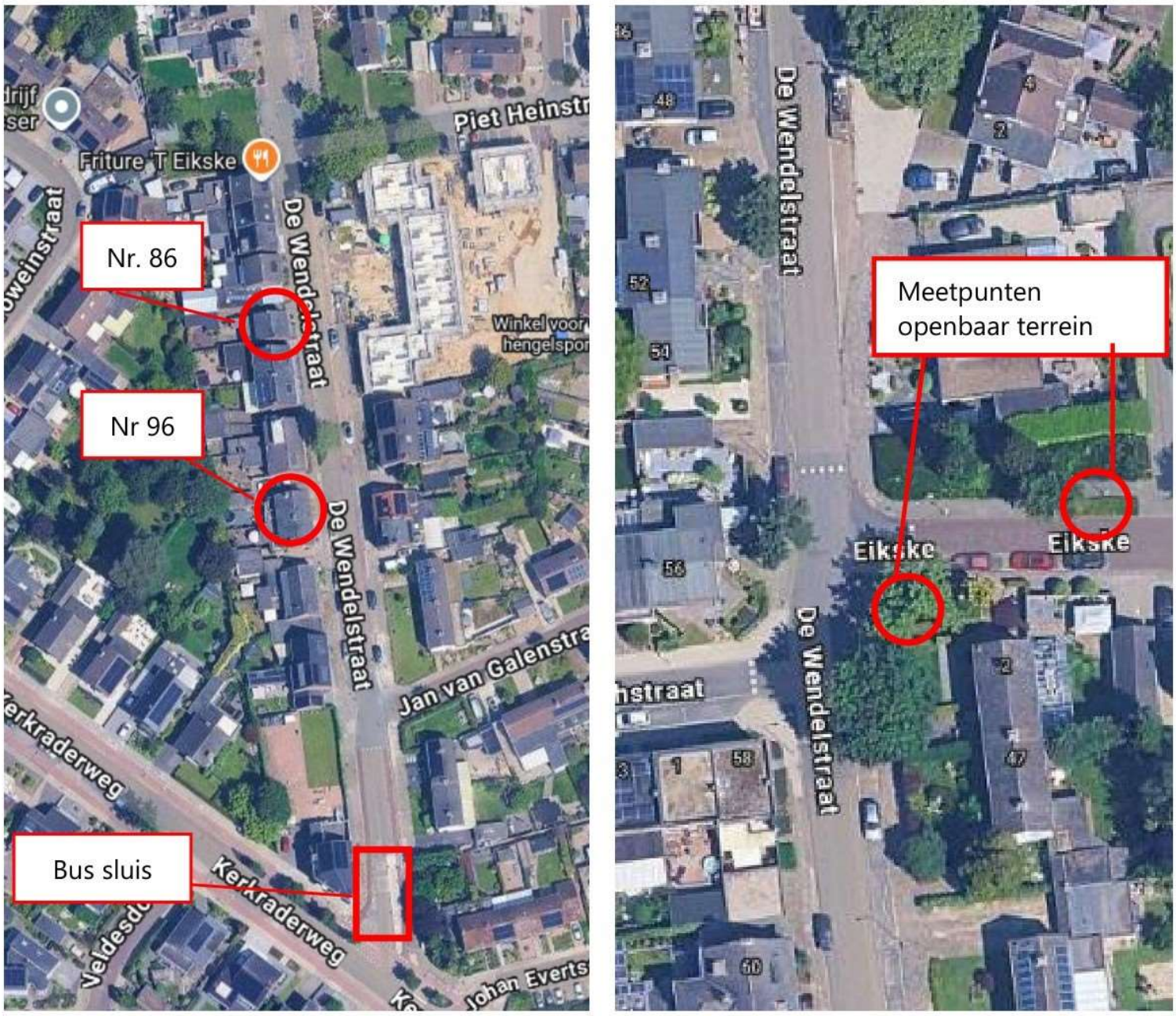
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

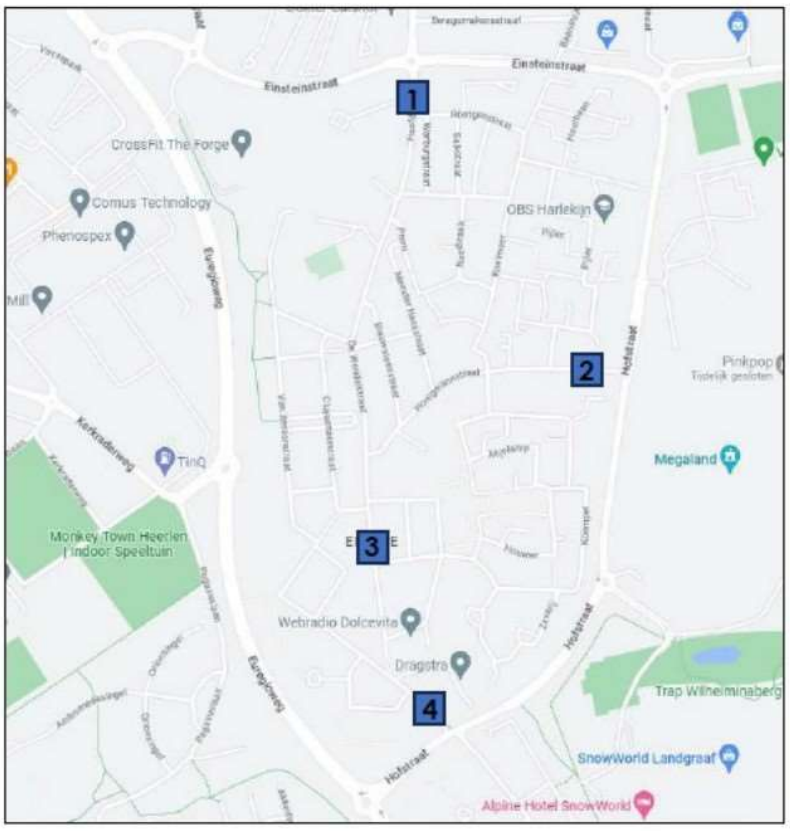
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

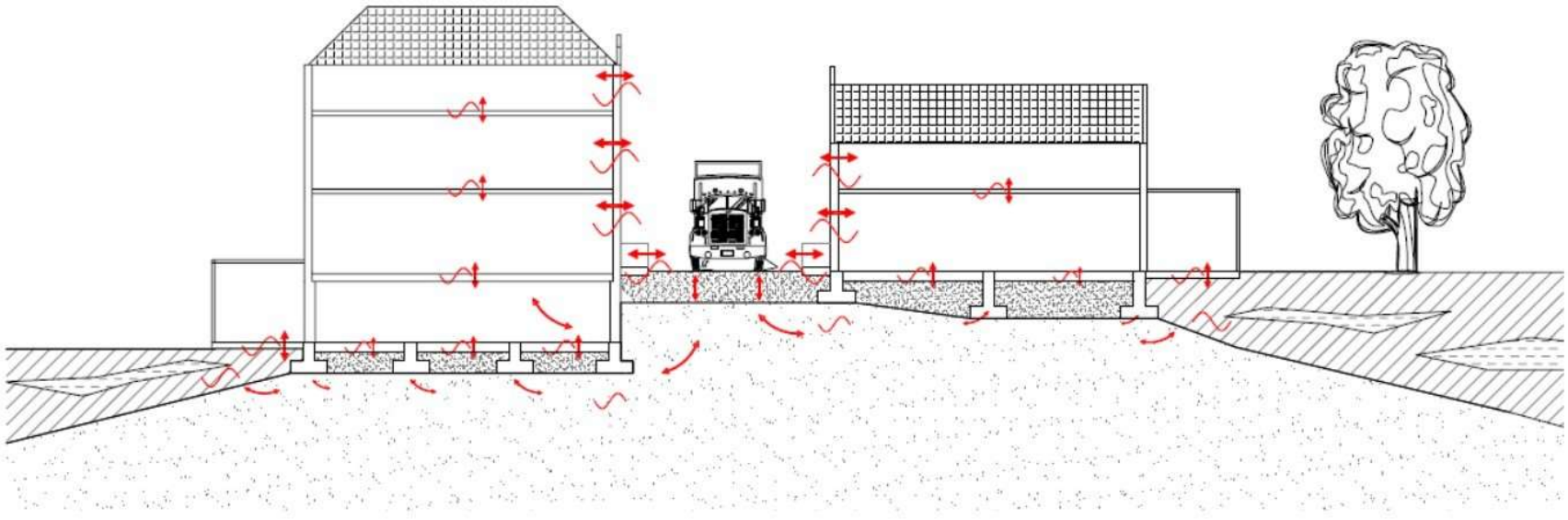
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

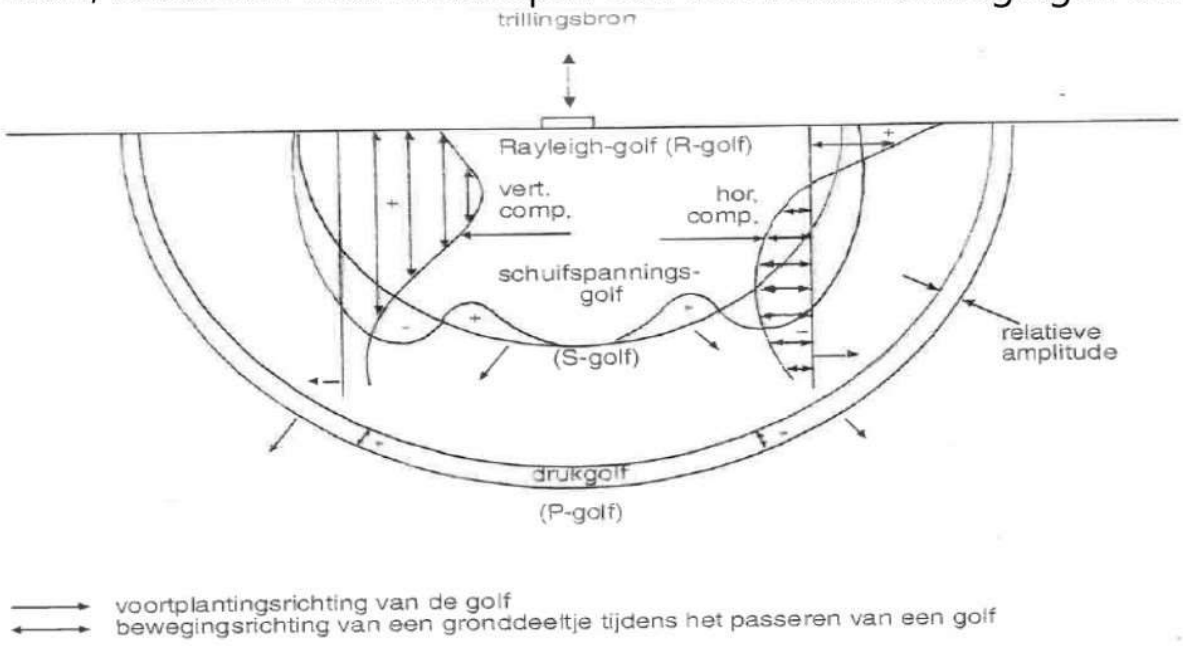
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



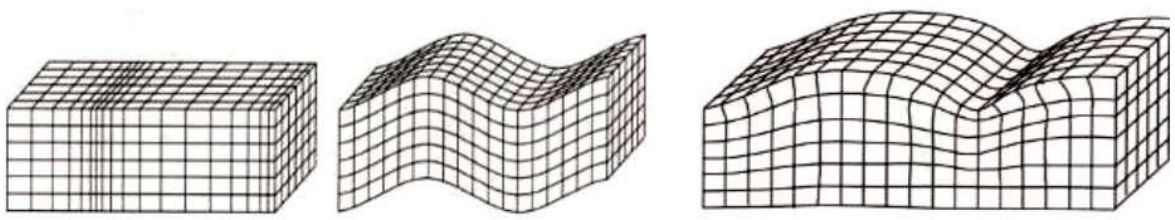
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

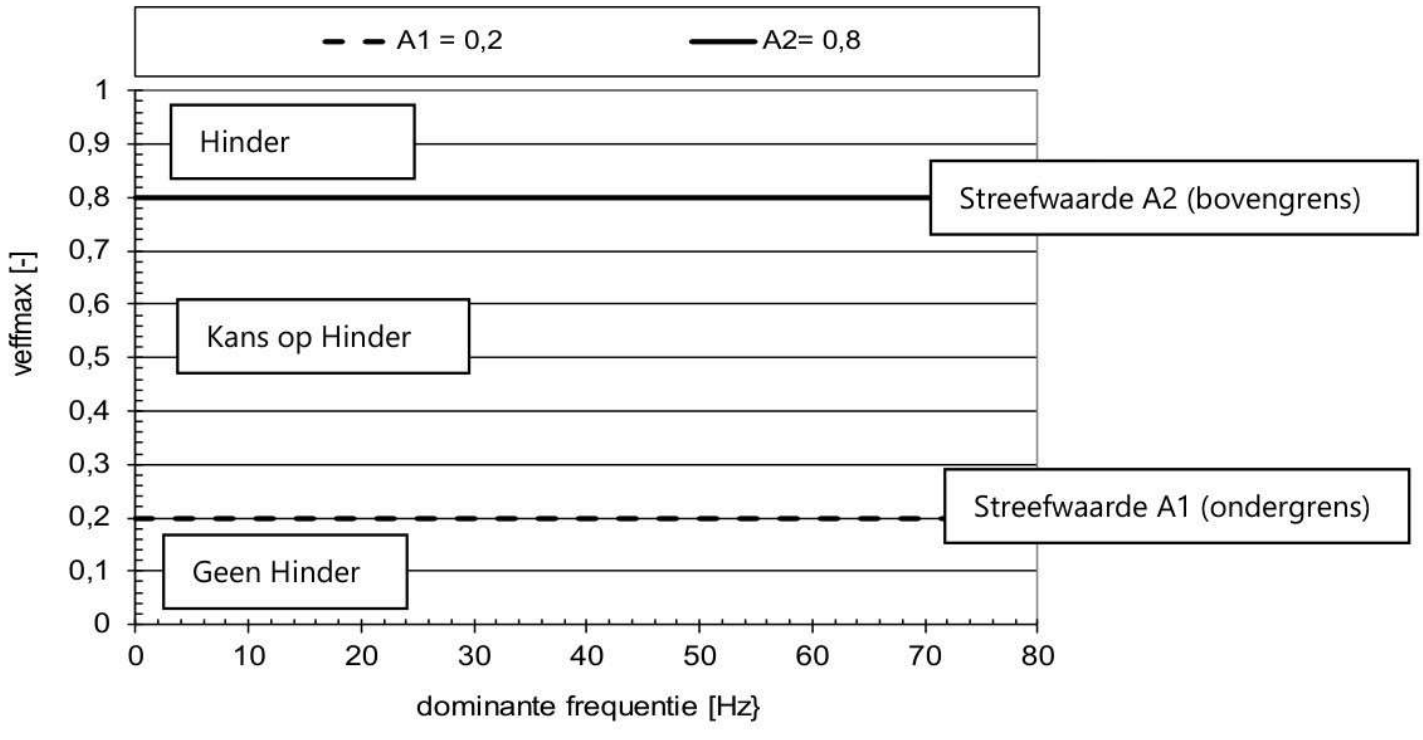
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

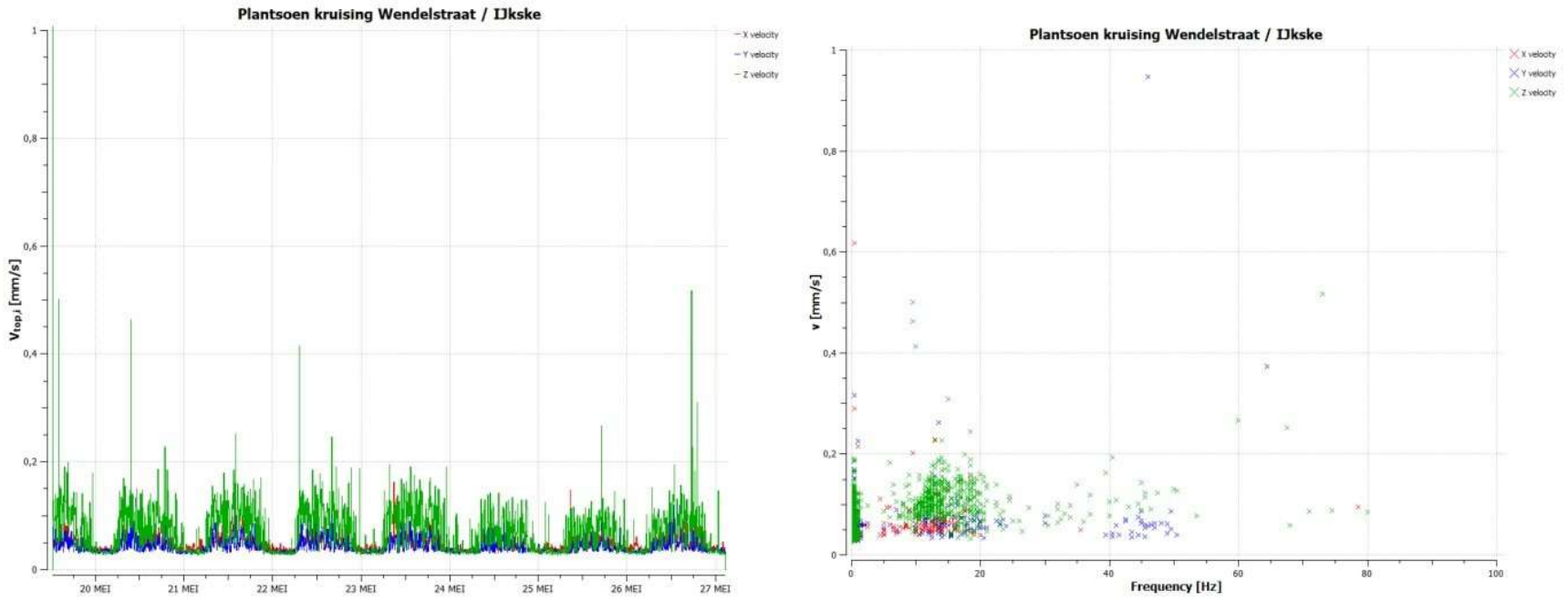
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

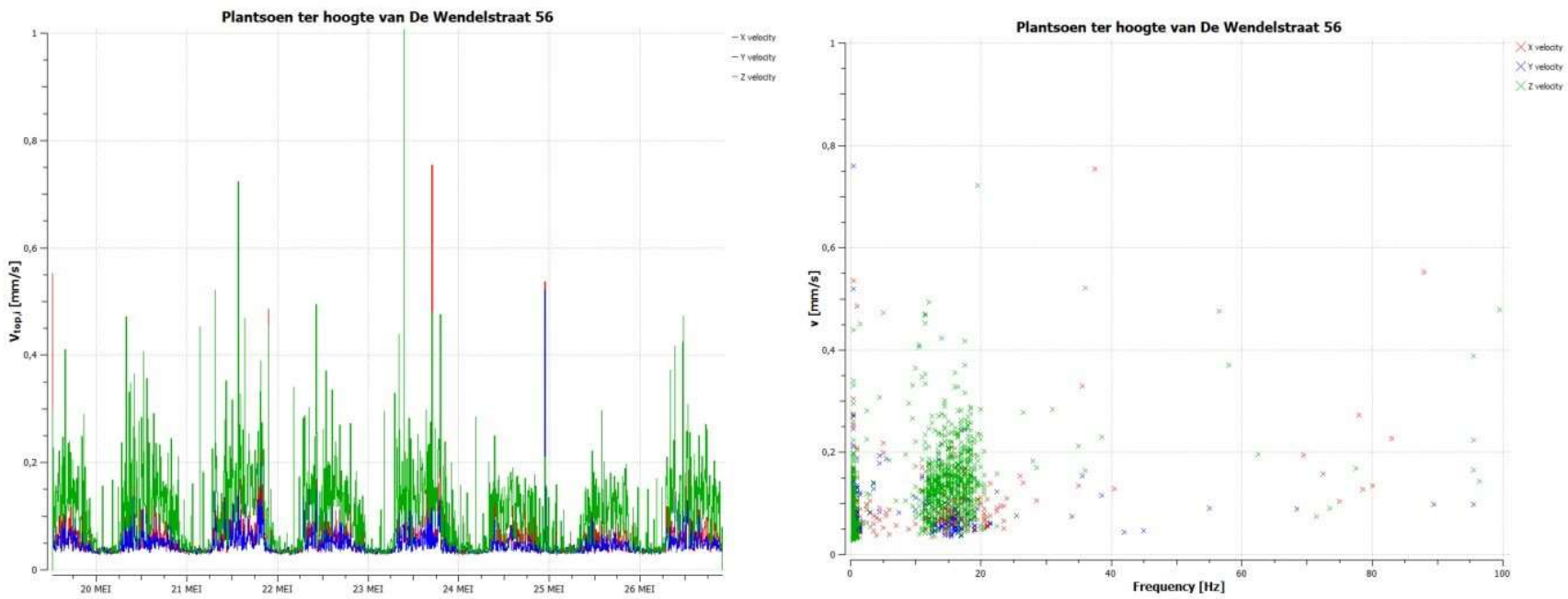
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

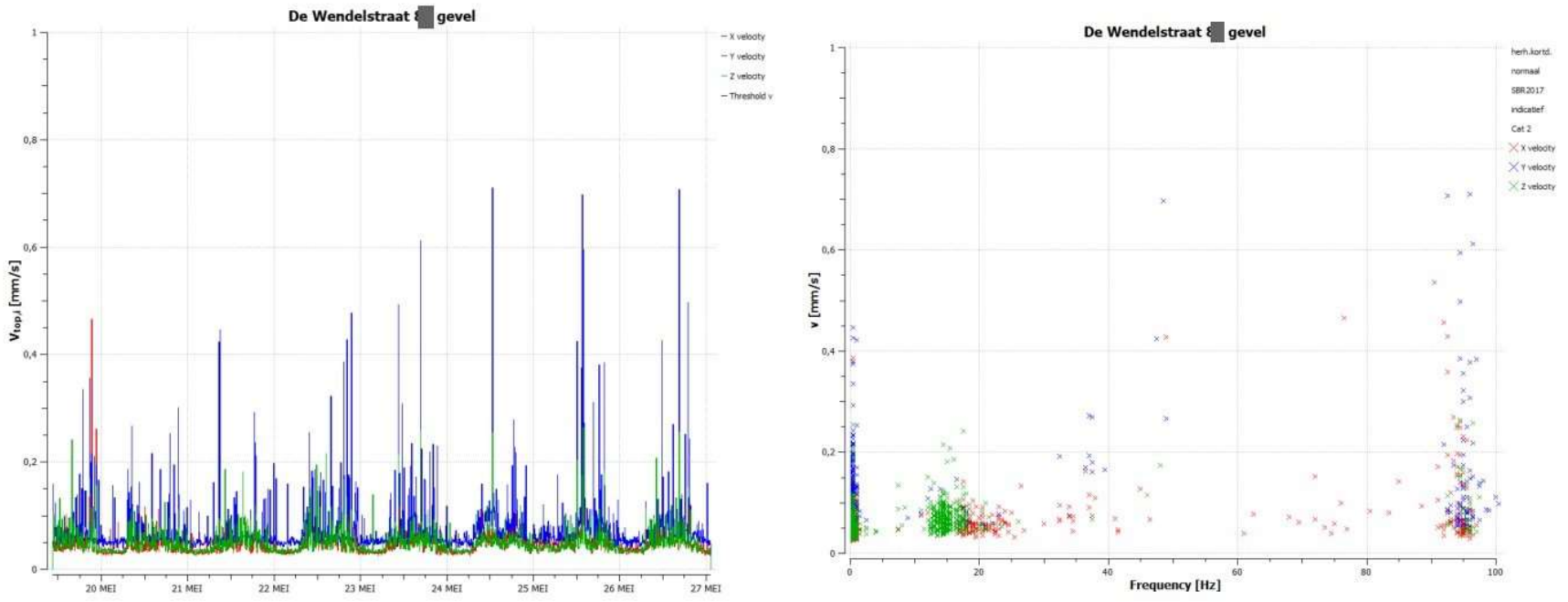


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

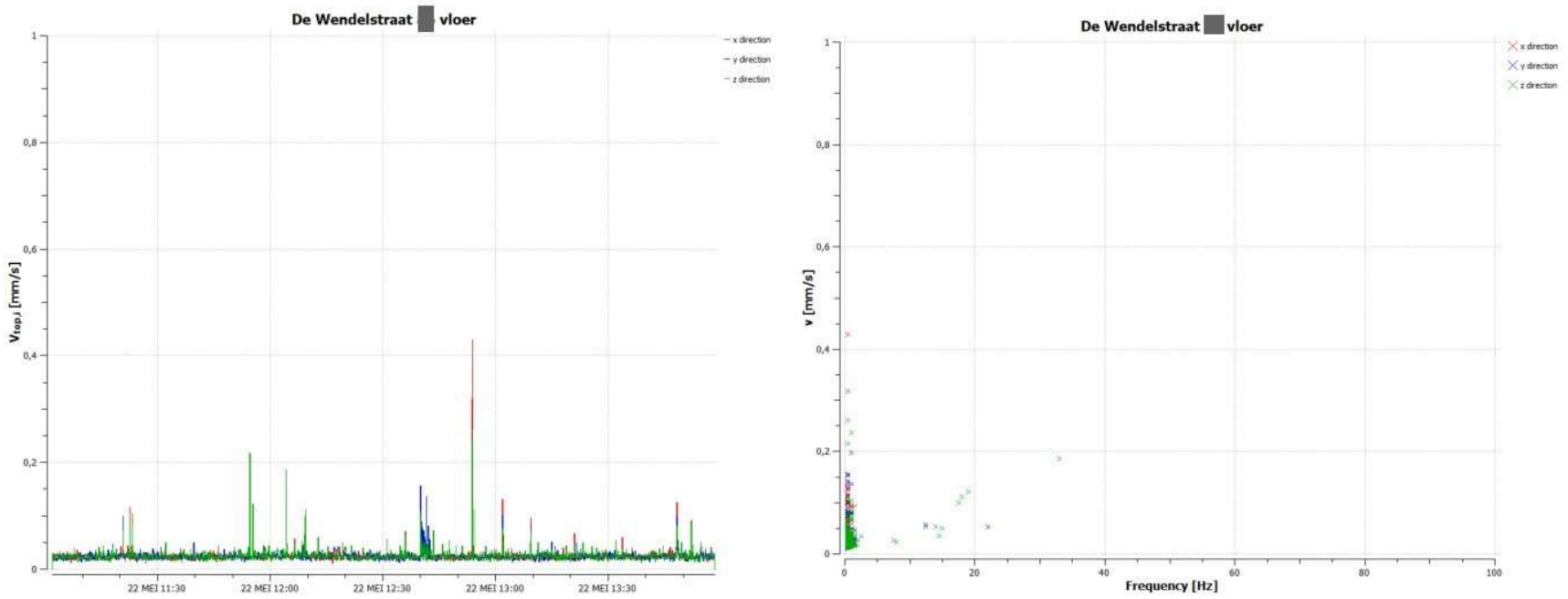
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



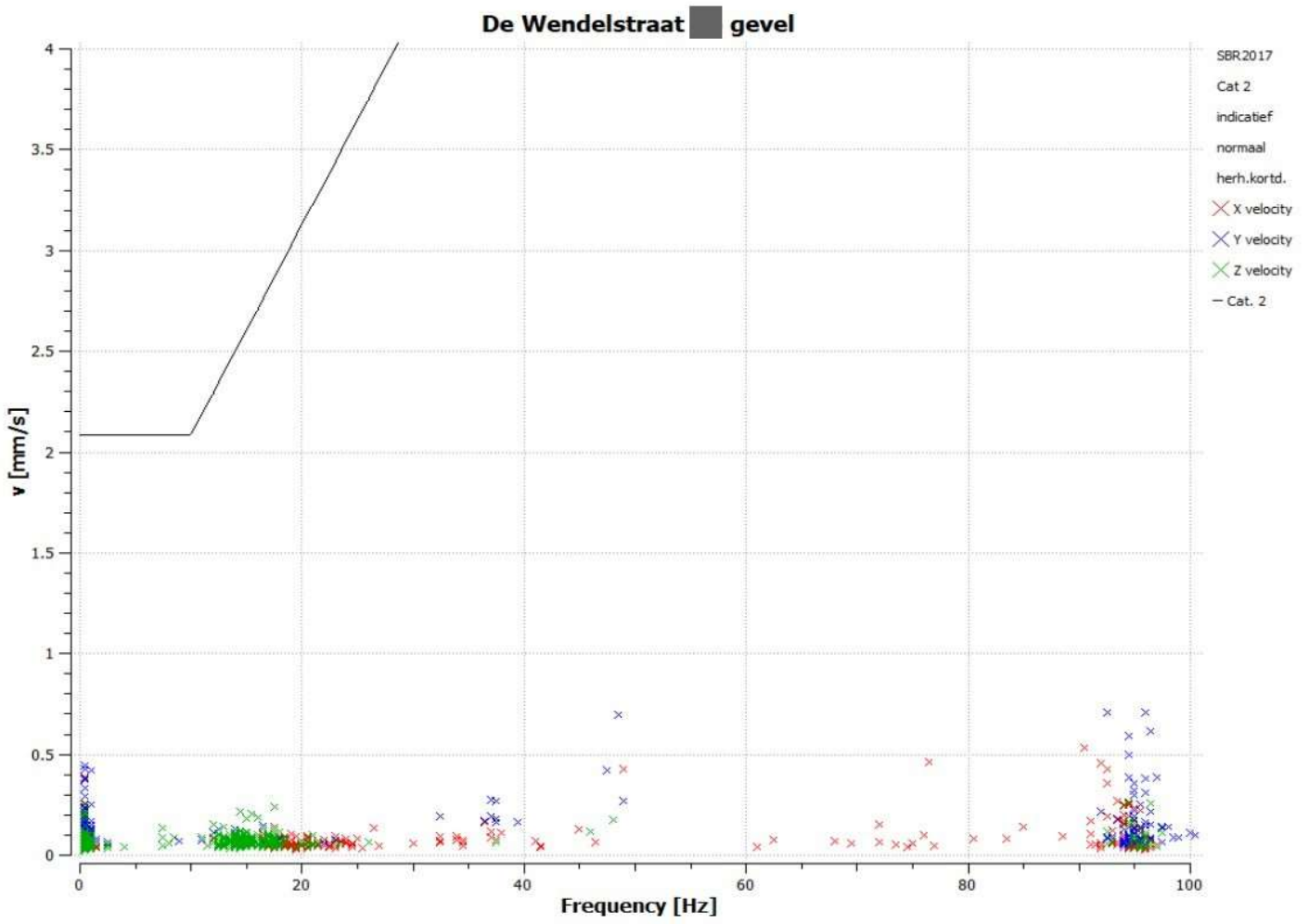
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

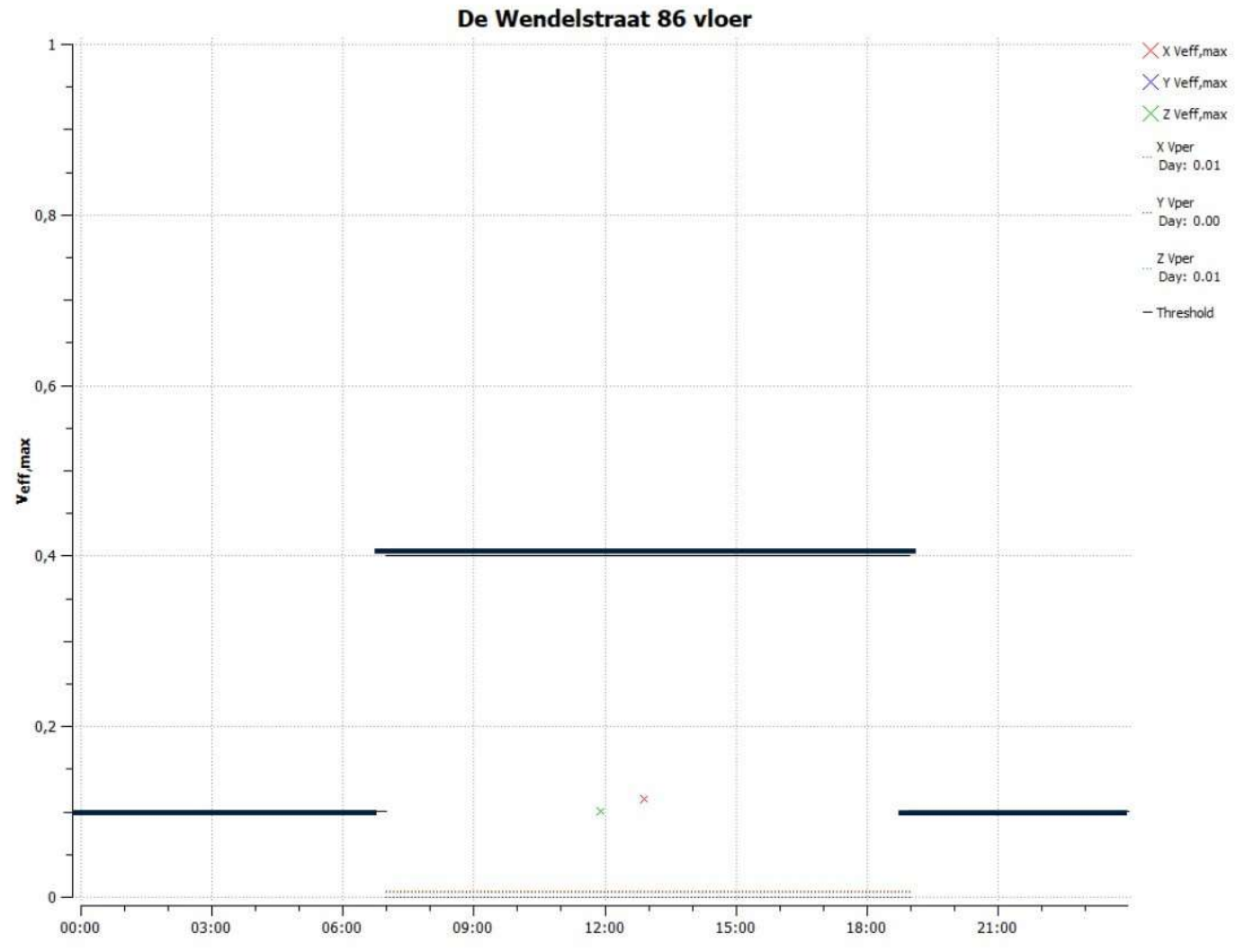
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

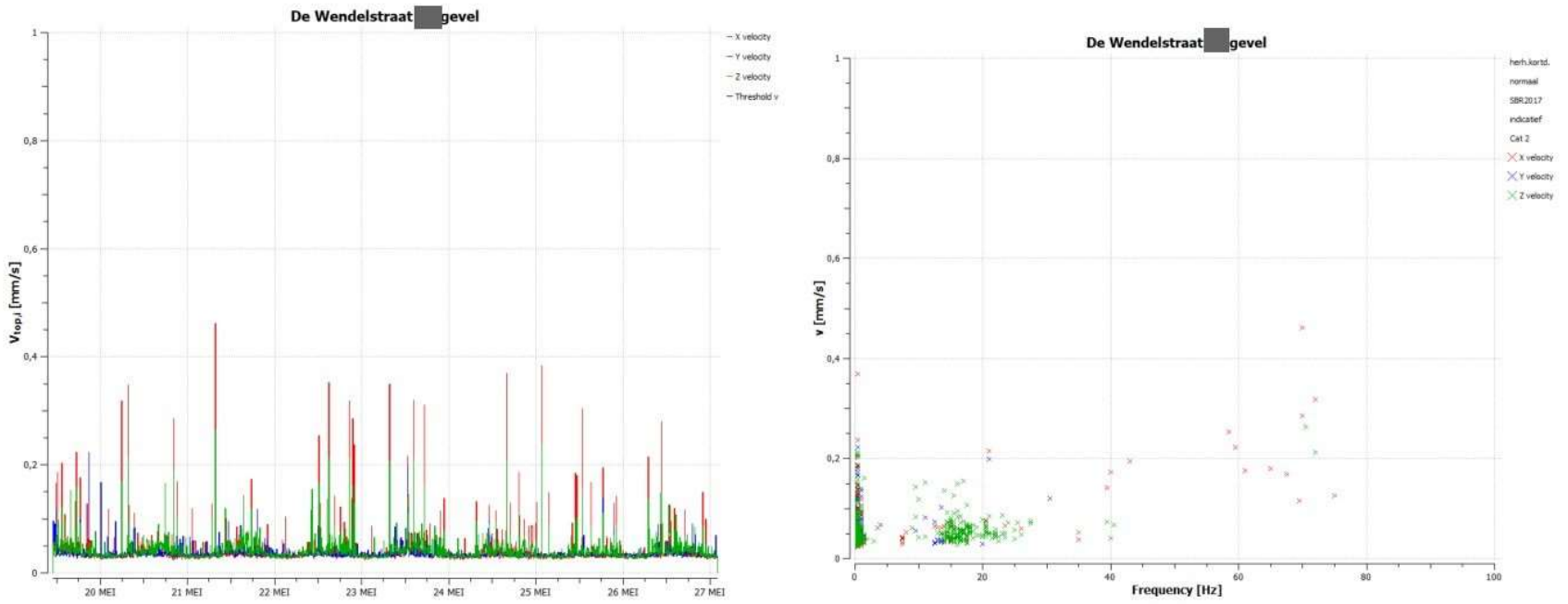


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

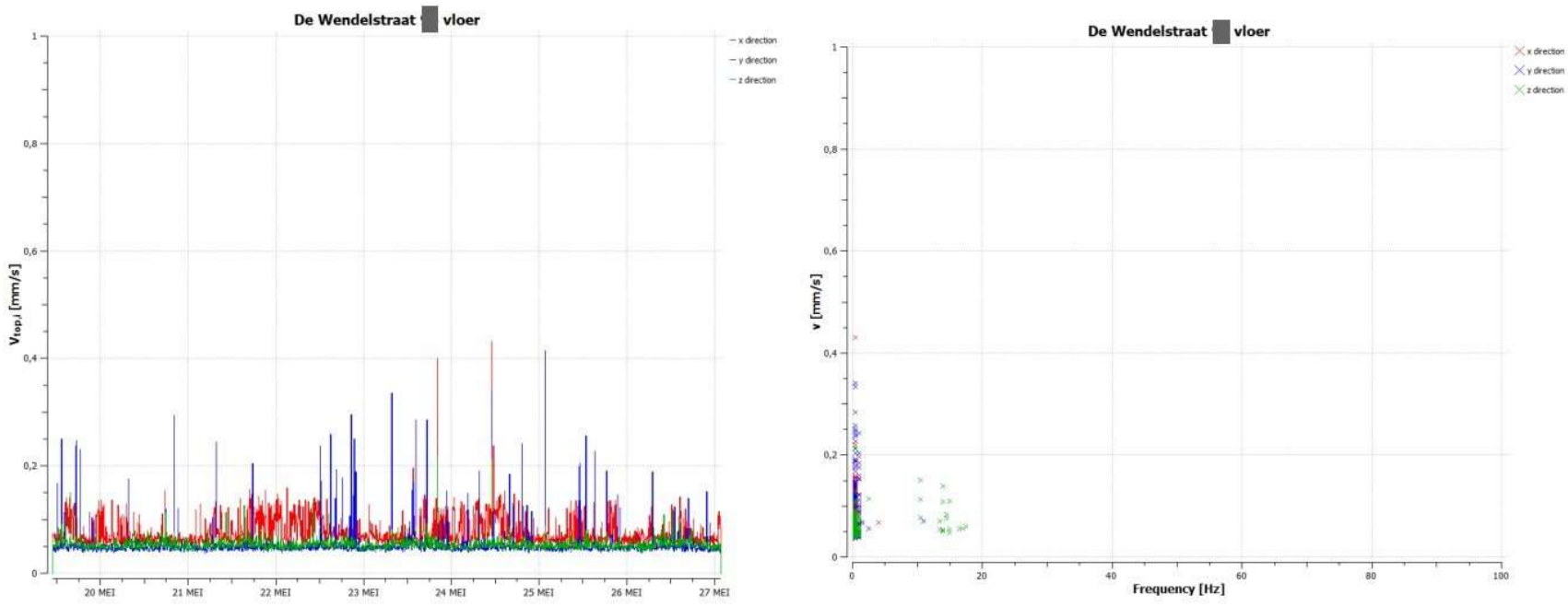
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



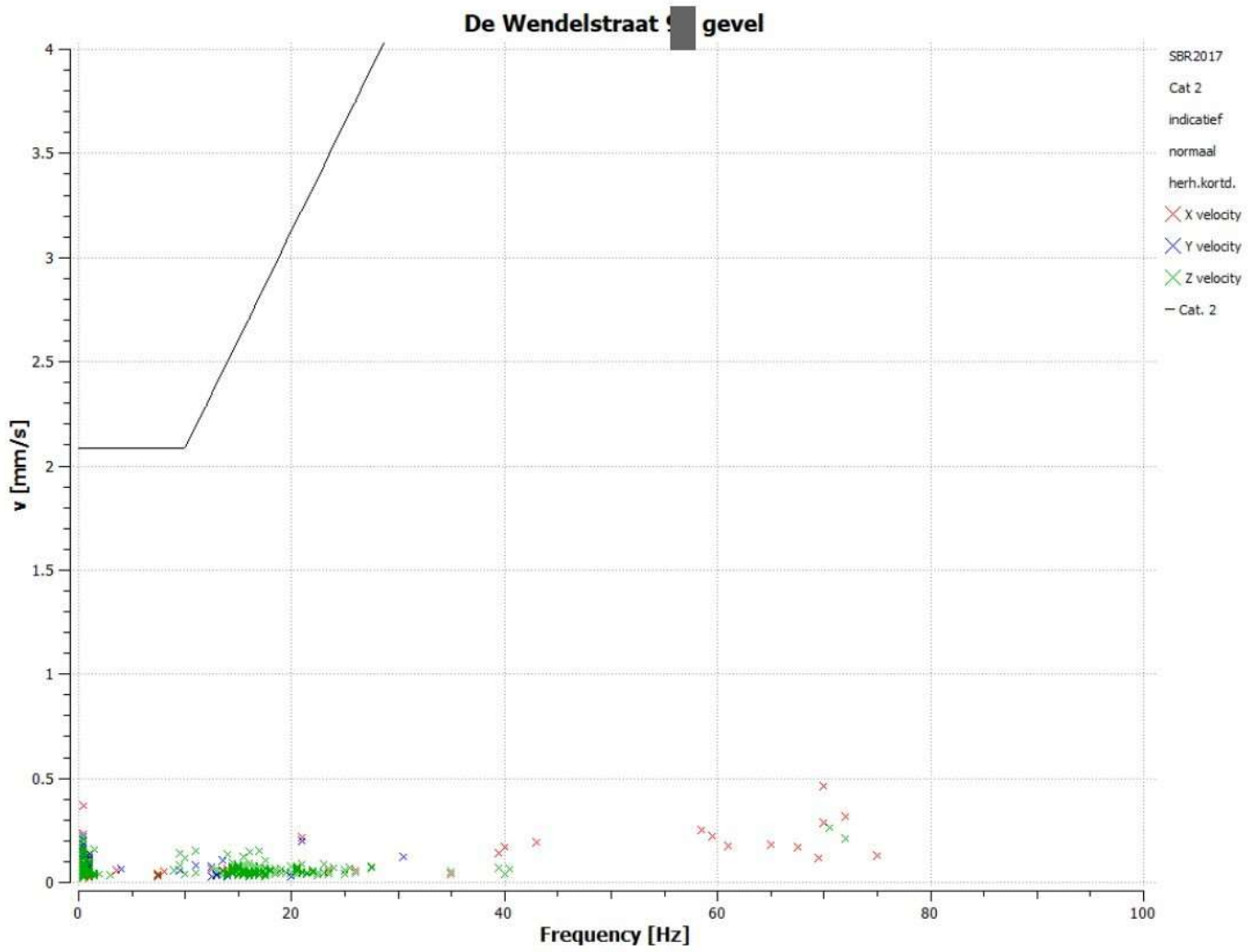
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

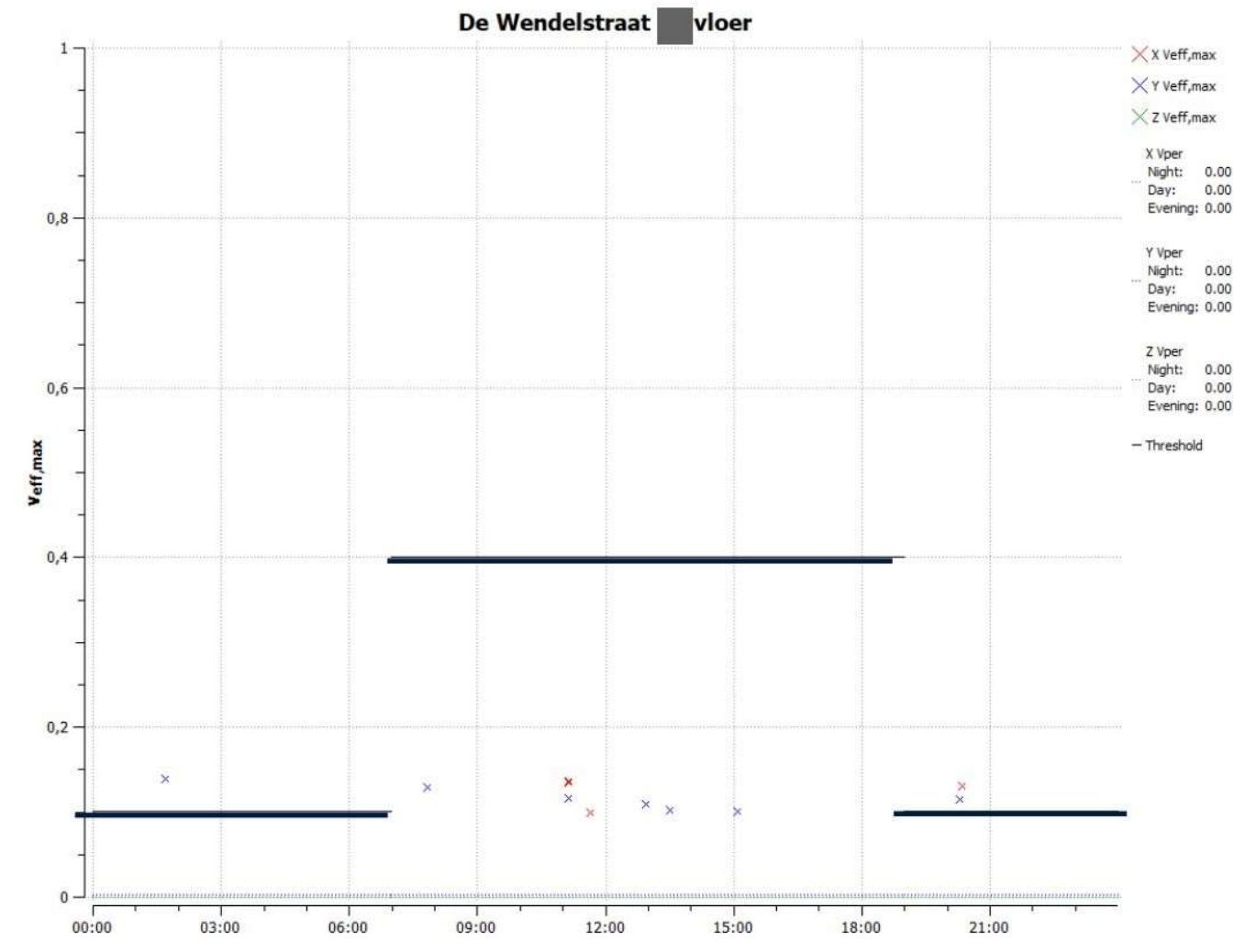
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

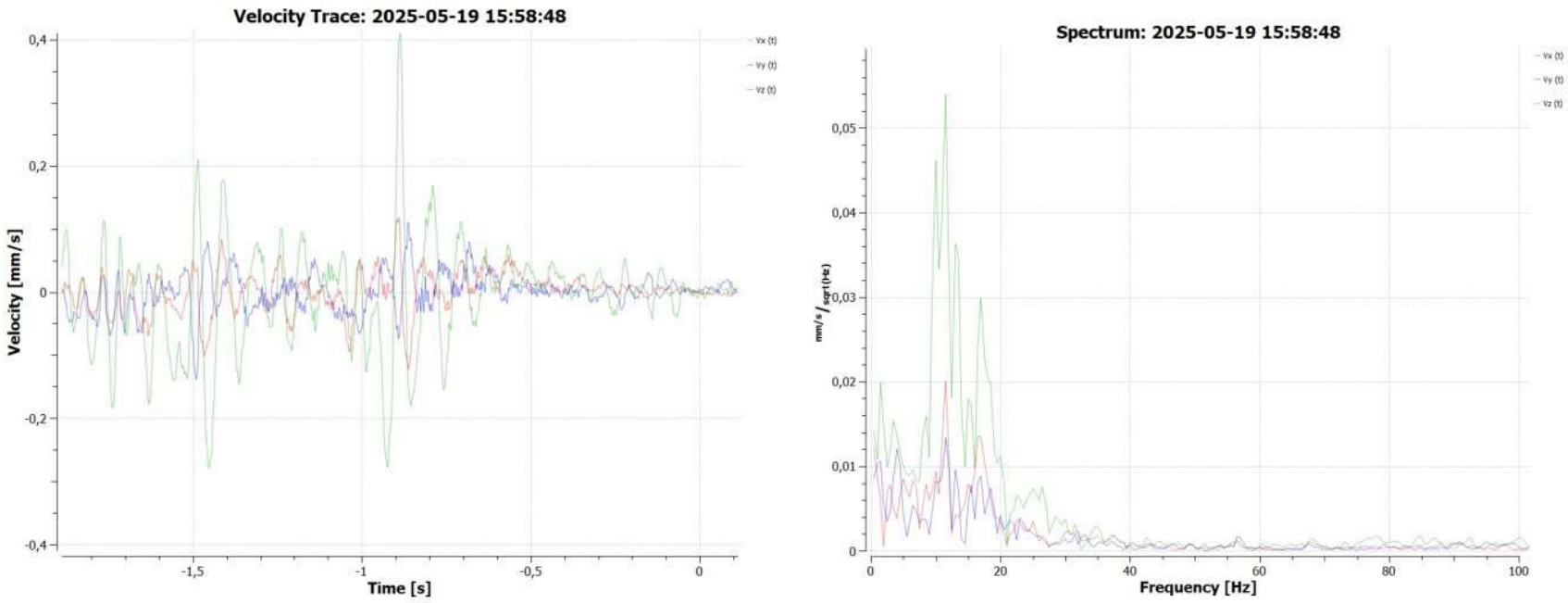
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

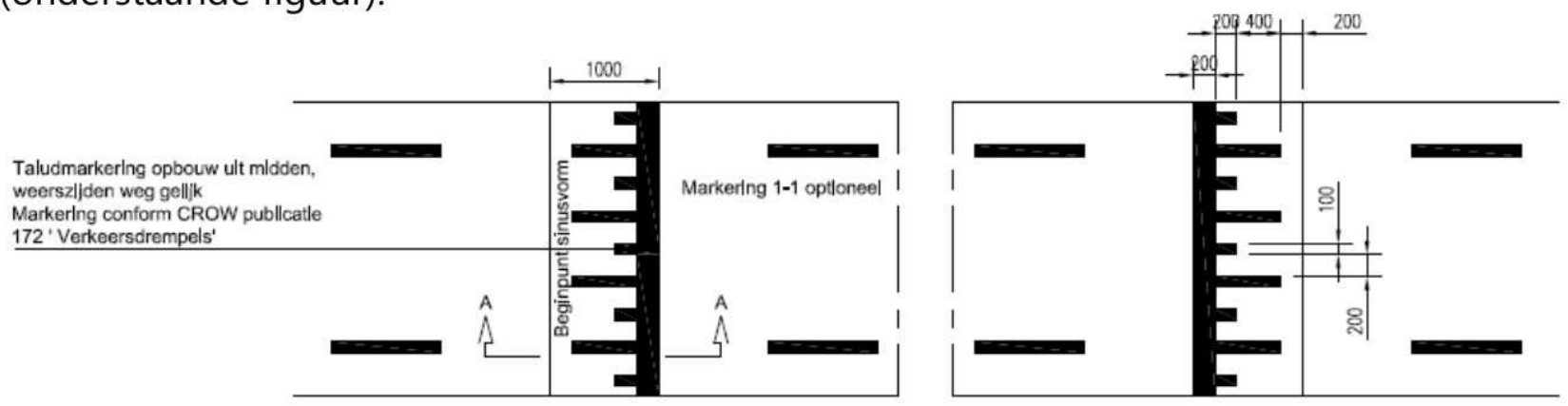
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

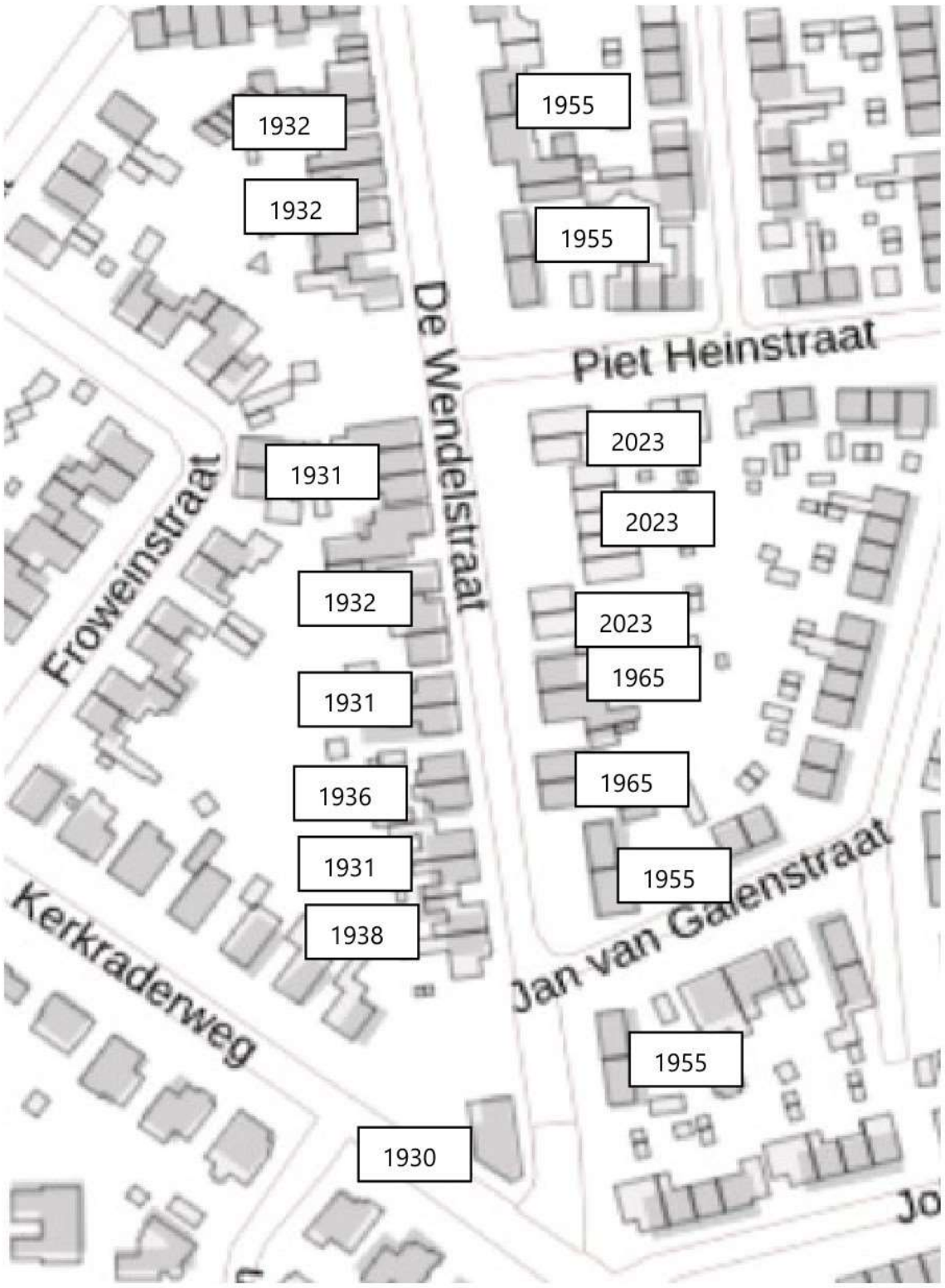
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

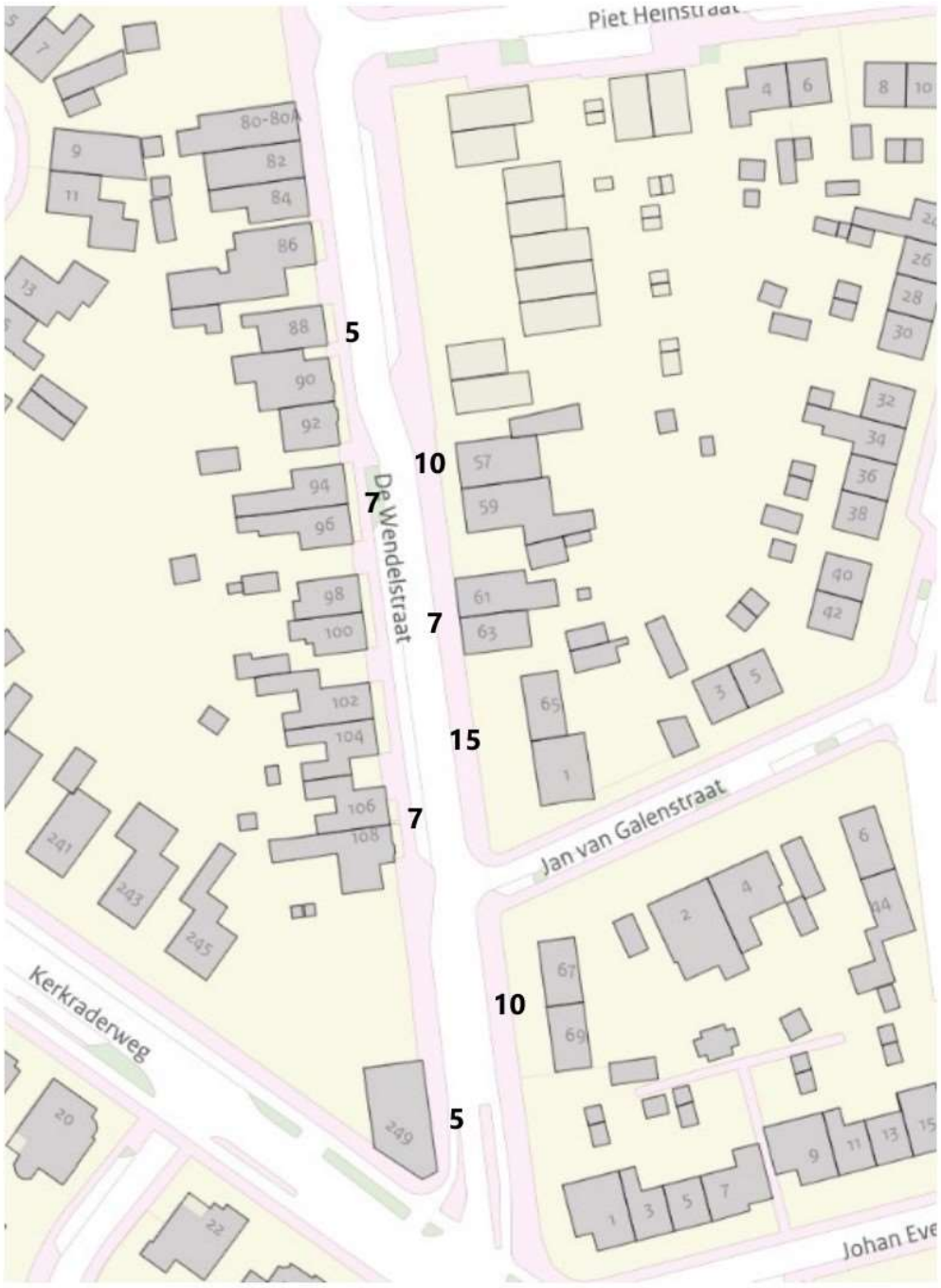
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

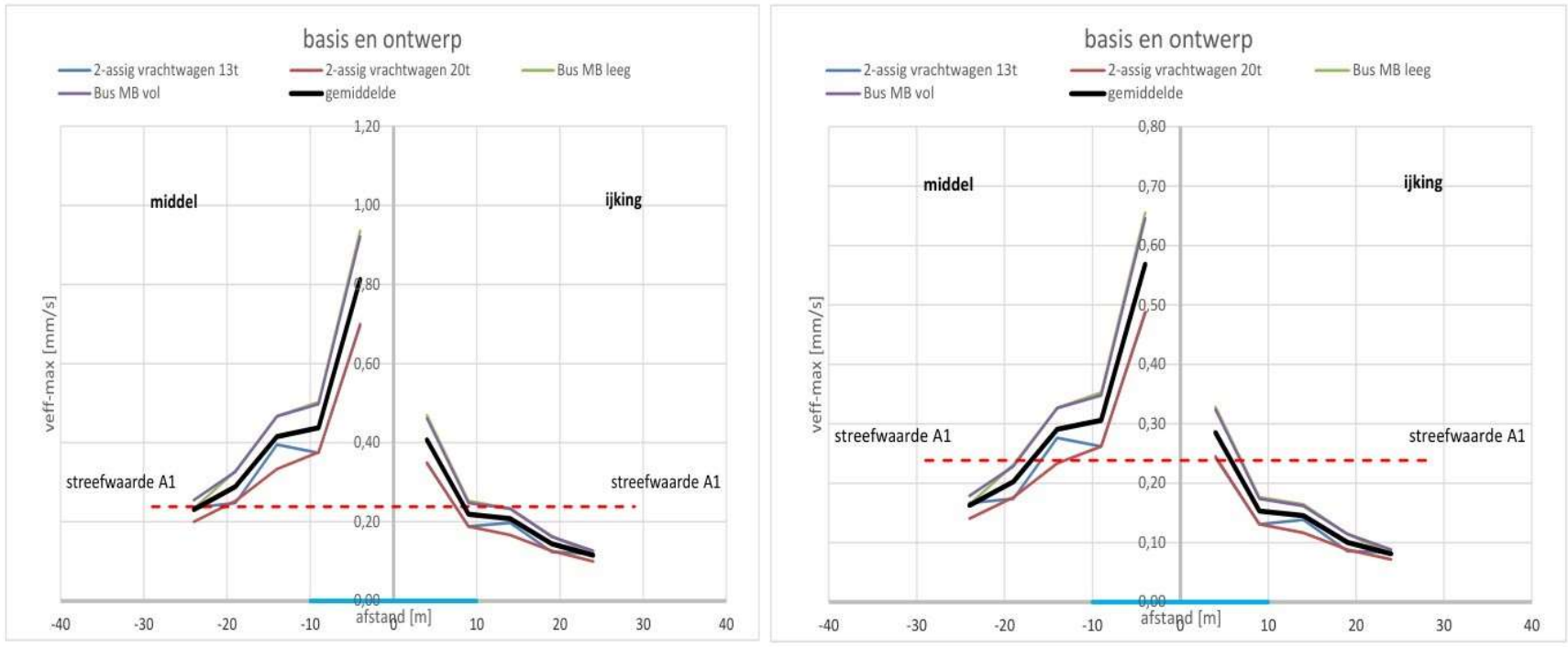
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

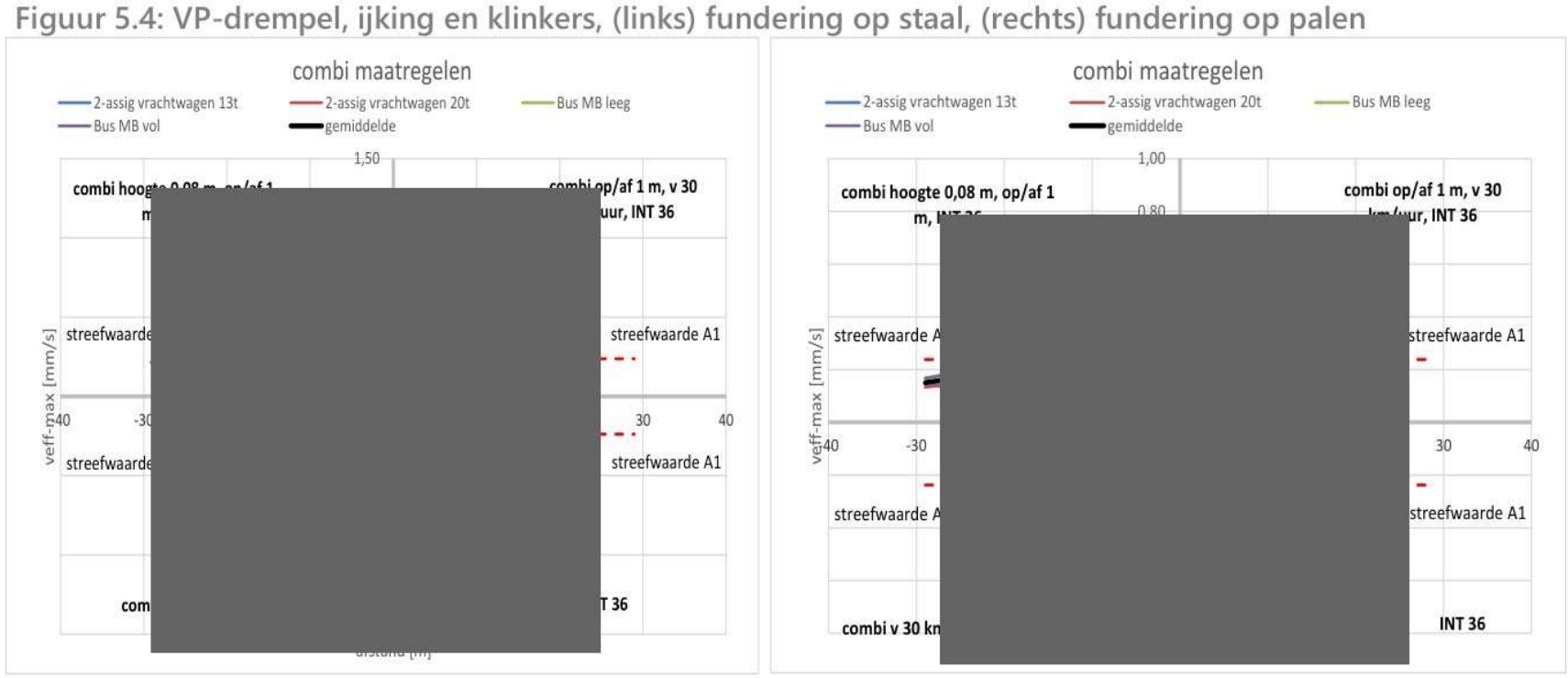
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

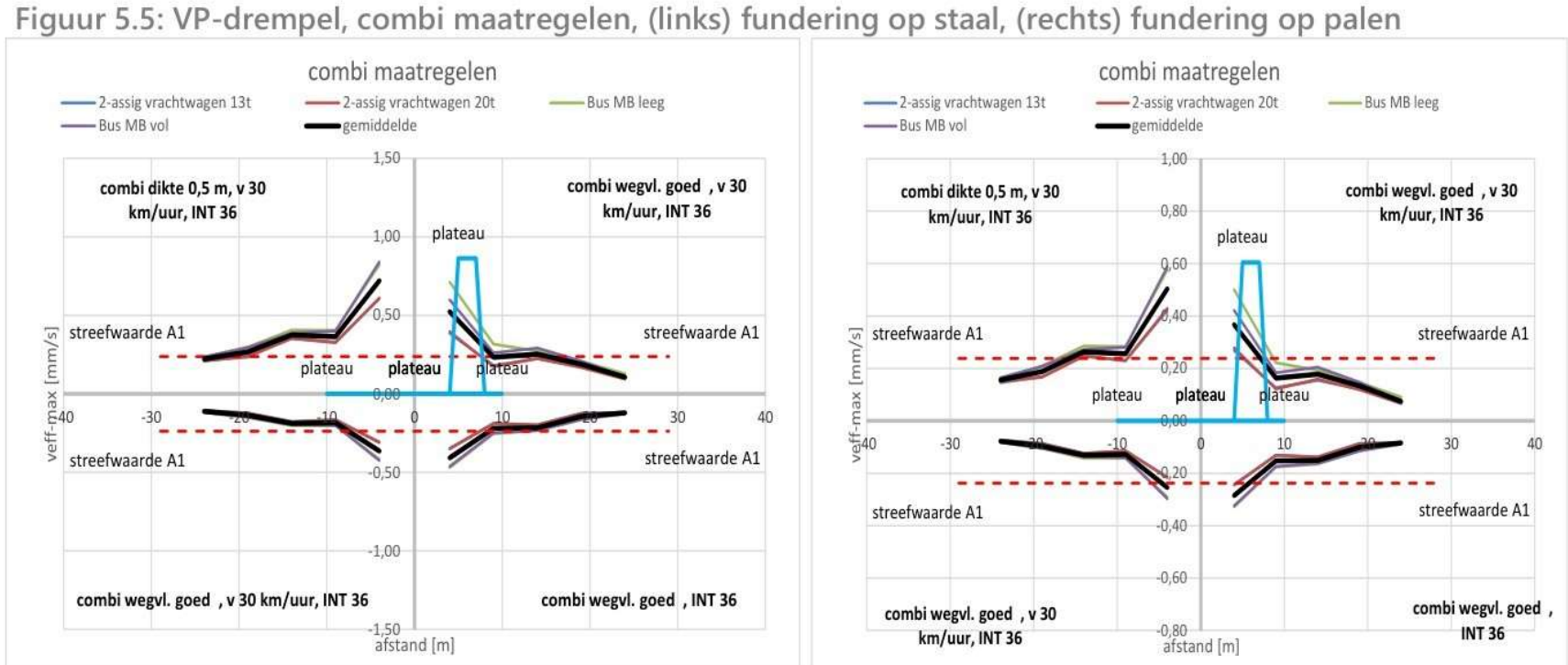
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

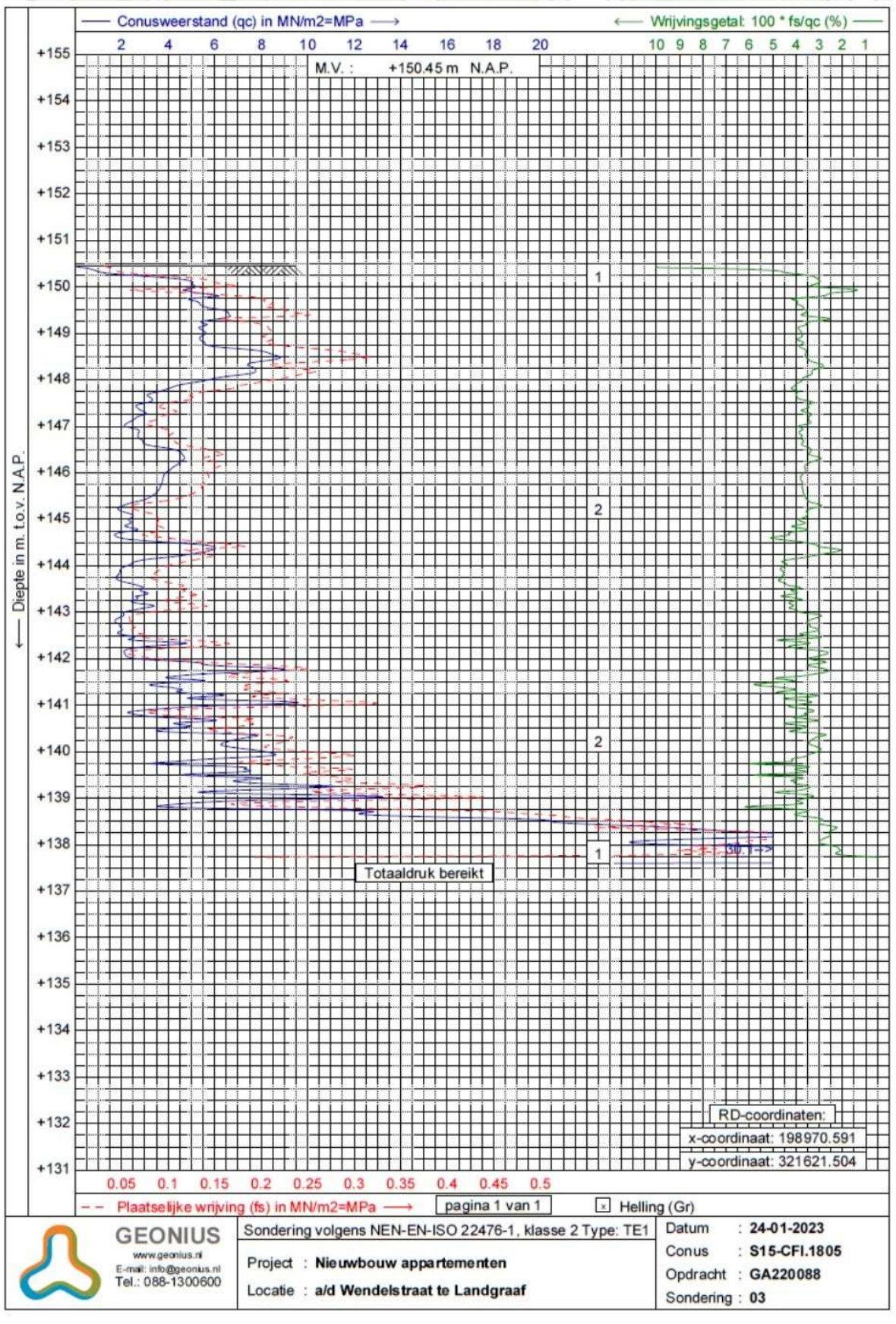
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

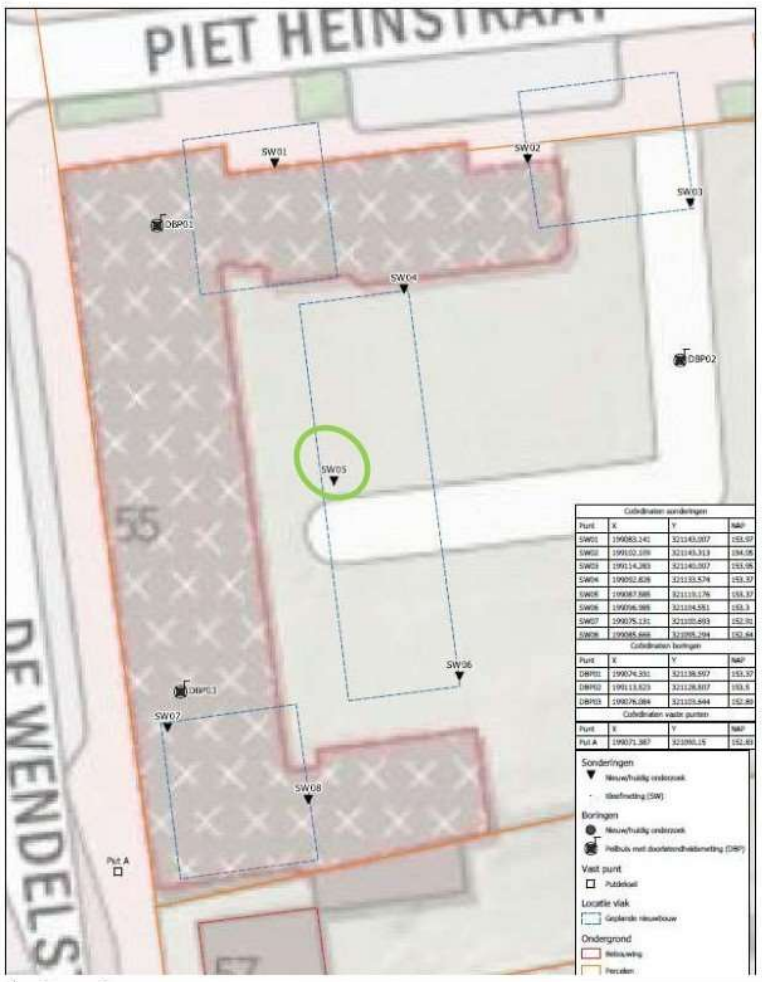
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

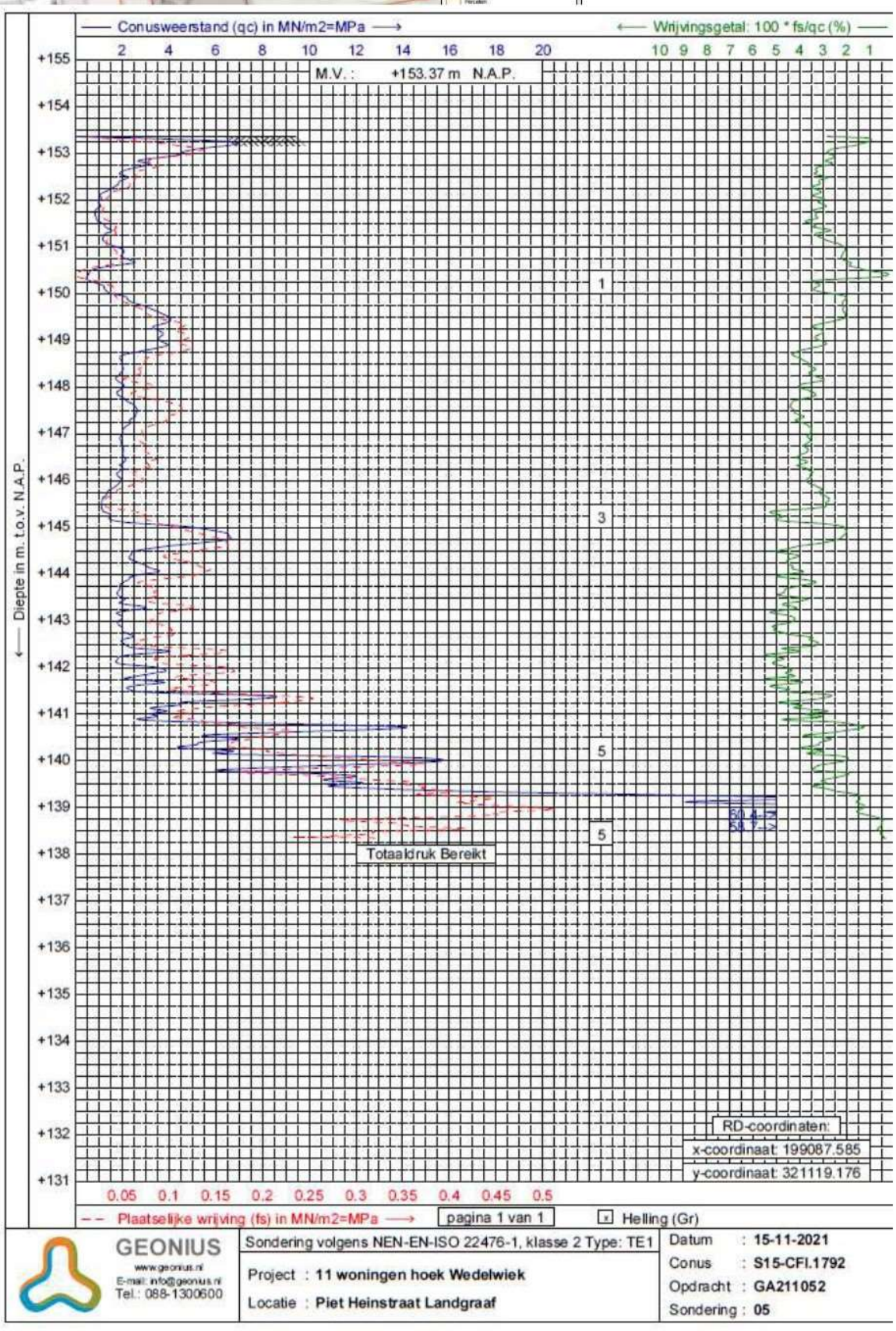
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

Trillingenonderzoek De Wendelstraat te Landgraaf

Rapportage Trillingsmeting |

S1014314 | 23-9-2025

Definitief

Gemeente Landgraaf

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingenonderzoek Landgraaf
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	S1014314
Fugro-documentnr.	S1014314-R01-v2.1
Versienummer	2.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Landgraaf
Adres klant	Sweelinckplein 1, 6371 LB Landgraaf
Contactpersoon klant	. [redacted]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	4-7-2025	definitief	Rapportage	KZB/ASN	DWE	ASN
2.0	22-7-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	KZB/ASN	DWE	ASN
2.1	23-9-2025	definitief	Tekstuele wijzigingen	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	[redacted]	Senior Geotechnical Consultant
DWE	[redacted]	Geotechnical Consultant
KZB	[redacted]	Project Engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Projectbeschrijving 2

2.1 Situatiebeschrijving 2
2.2 Mechanisme trillingen 5
2.3 Meetapparatuur en meetlocatie 7

3. Beoordeling trillingen 10

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure 10
3.2 Grenswaarde SBR A 12
3.3 Streefwaarde SBR B 14

4. Meetresultaten en toetsing 16

4.1 Meetpunten openbare ruimte 16
4.2 De Wendelstraat [redacted] 17
4.2.1 Meetresultaten 17
4.2.2 Toetsing SBR A 17
4.2.3 Toetsing SBR B 18
4.3 De Wendelstraat 96 19
4.3.1 Meetresultaten 19
4.3.2 Toetsing SBR A 19
4.3.3 Toetsing SBR B 20
4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten 21

5. Analyse trillingsoverdracht 24

5.1 Modellering 24
5.2 Uitgangspunten 25
5.2.1 Bron 25
5.2.2 Medium 26
5.2.3 Ontvanger 27
5.3 Invoer VP-drempel 29
5.4 Resultaten 29
5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning 31

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 33

6.1 Samenvatting 33
6.2 Conclusies 34
6.3 Aanbevelingen 36

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen
B. Toelichting SBR - Toetsingskader
C. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis in de De Wendelstraat, ter hoogte van de kruising met de Kerkraderweg, te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Doelstelling
Het doel van de trillingsmetingen is, als gevolg van het verwijderen van de bussluis, inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de omliggende bebouwing in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR-richtlijn A “Schade aan bouwwerken” en SBR-richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*

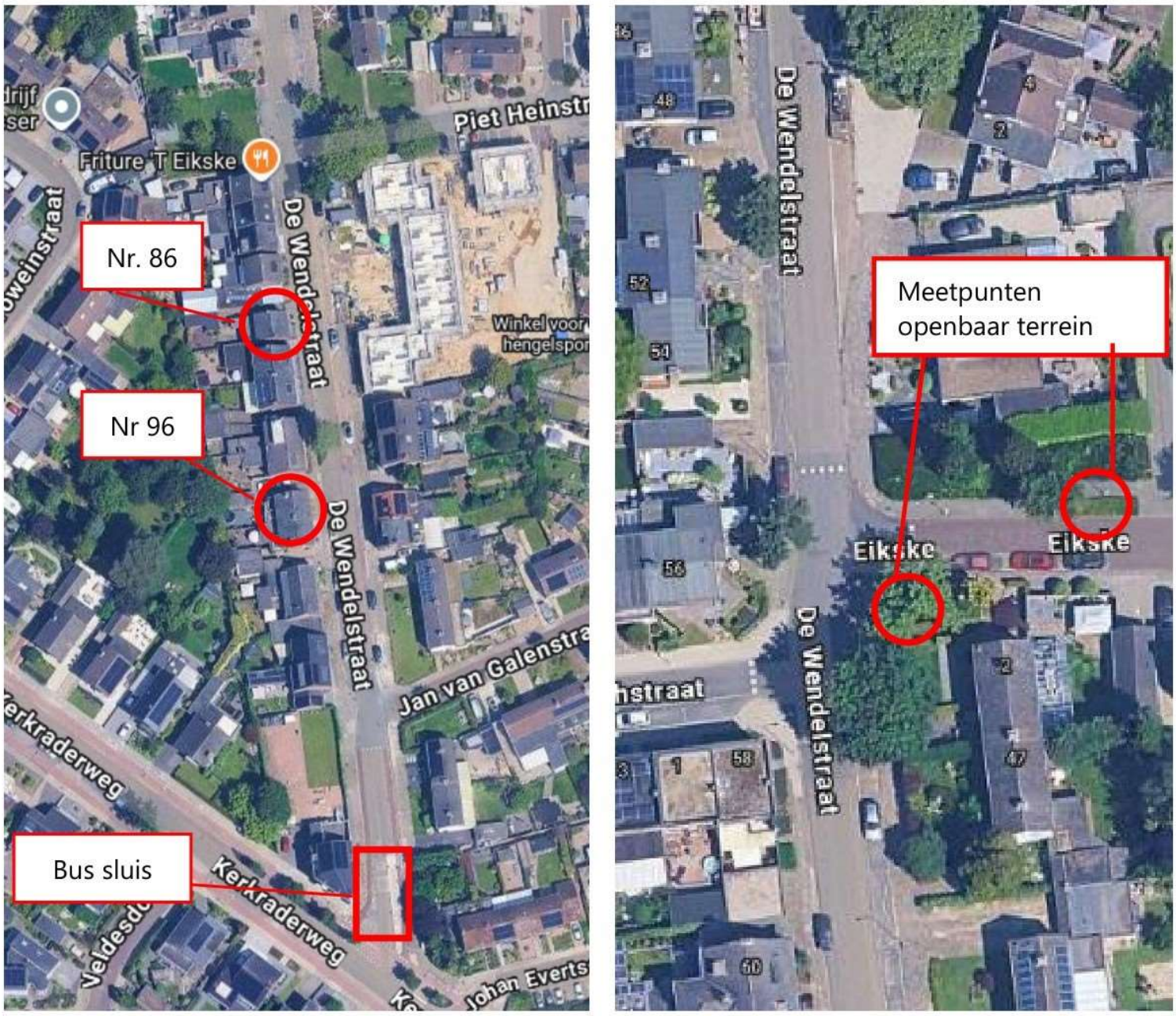
In dit rapport wordt ingegaan op de trillingen meetresultaten, de beoordeling / toetsing ervan en een vertaalslag (trillingen) naar de situatie dat geen bussluis aanwezig is. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Vaktermen en definities
Ter verduidelijking is in de bijlage “Trillingstechnische vaktermen” een verklarende woordenlijst voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

In onderstaande figuur is de projectlocatie (met meetpuntlocaties) in Landgraaf weergegeven.



Figuur 2.1 Projectlocatie met meetlocaties

Huidige en toekomstige situatie
Momenteel is de De Wendelstraat uitgevoerd met een asfaltbestrating. Een maximale rijsnelheid van 30 km/uur is geldig. Het verkeer rijdt circa 40 km/uur (V_{85}). De weg is relatief breed (>5 m), zonder dat verkeer remmende maatregelen zijn toegepast.

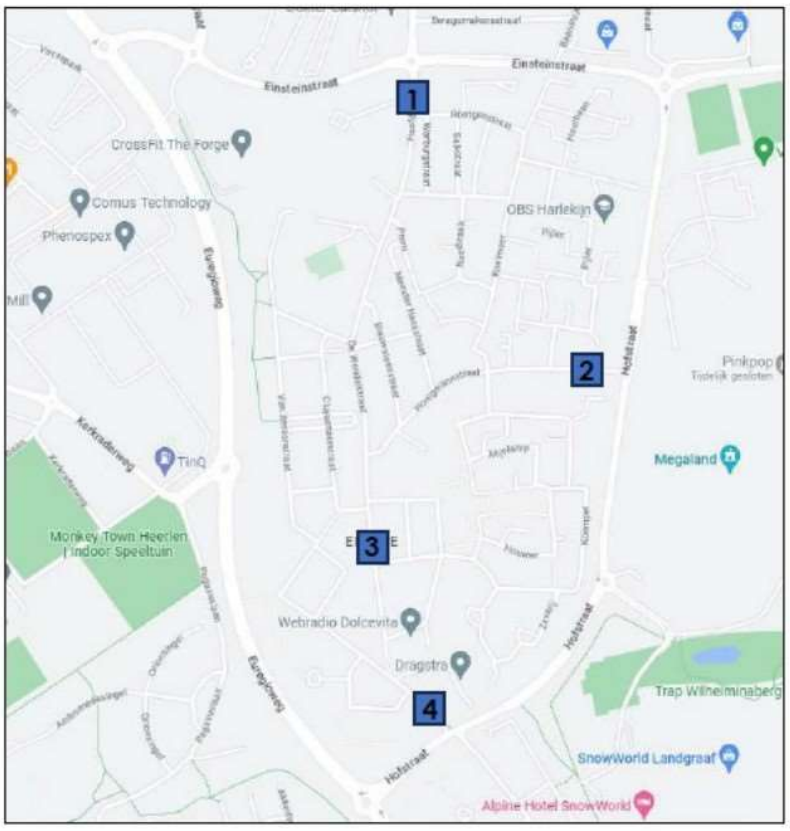
Na openstellen van de bussluis zal de De Wendelstraat ter hoogte van de aansluiting met de Kerkraderweg ingericht gaan worden als een erftoegangsweg waarvoor eveneens een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt. Gepland is om de asfaltbestrating te vervangen door een bestrating van betonstenen klinkers.

Meetlocaties
Bij de representatief gestelde woningen zijn de trillingsmetingen uitgevoerd aan de gevel en binnen op een vloer. Ter beoordeling op risico op schade (conform SBR A) is gemeten aan de gevel, ter beoordeling op hinderbeleving (conform SBR B) is binnen gemeten op een vloer.

Er zijn meetpunten op openbaar terrein ingericht om inzicht te krijgen in trillingen in de grond.

Verkeerstellingen
Met het openstellen van de bussluis is de verwachting dat de verkeerintensiteit over de De Wendelstraat gaat toenemen. In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft adviesbureau Grenspaal12 een verkeersonderzoek voor de De Wendelstraat uitgevoerd [ref. "Verkeersonderzoek opheffen De Wendelstraat", 23-0304-01 d.d. 29 september 2023].

In onderstaande figuur zijn de locaties van de uitgevoerde verkeertellingen weergegeven. Deze zijn uitgevoerd in de periode 17 t/m 30 maart 2023 (nul-meting voorafgaand aan een tijdelijke openstelling) en in de periode 23 juni t/m 6 juli 2023 (effect-meting tijdens een tijdelijke openstelling).



1) Hoofdstraat
2) Honigmannstraat
3) Wendelstraat thv. nr 66
4) Heistraat

Figuur 3: Locaties van verkeersmetingen

Figuur 2.2 Locaties verkeerstellingen met meetlocaties

Door Grenspaal12 wordt geconcludeerd dat als gevolg van een tijdelijke openstelling van de bussluis er geen sprake is van een toename van doorgaand verkeer door de wijk rijdend over de in-/uitvalswegen van de wijk. Verwacht wordt dat over de De Wendelstraat circa 40% meer verkeer gaat rijden (in vergelijking met een situatie zonder openstelling).

Rijsnelheid De Wendelstraat
Bij de verkeerstellingen zijn eveneens rijsnelheden gemeten. In onderstaande tabel zijn de resultaten opgenomen. De rijsnelheden betreffen waarde v_{85}, zijnde de rijsnelheid die door 85% van de weggebruikers niet wordt overschreden. De rijsnelheid heeft (grote) invloed op de aanstoot en daarmee de beleving van trillingen.

Tabel 2.1 Rijsnelheden V_{85} verkeer [bron Grenspaal12]

Meetpunt	Nul-meting [km/uur]	Effect-meting [km/uur]
Hoofdstraat	37	28
Honigmannstraat	40	40
De Wendelstraat thv [redacted]	41	41
Heistraat	46	45

Type voertuig
De grootte van de optredende amplitude van de trilling is onder andere afhankelijk van het gewicht en assenverdeling van het passerende voertuig. In deze zijn personenauto's en bestelbusjes ondergeschikt aan (zware) vrachtauto's / bussen.
De opbouw van het verkeer volgt eveneens uit de verkeerstellingen, echter is door Grenspaal12 geen opbouw van het passerende verkeer gerapporteerd.

Na-ijl effect drempels voormalige kolenwinning
Het gebied waar ook De Wendelstraat toe behoort ligt in het voormalige kolenwingebied van de Oranje Nassau II kolenmijn. Het Carboon (geologische tijdsschaal waarin steenkool is ontstaan) ligt op circa 100 m tot 150 m onder maaiveld. In het gebied zijn meerdere winningen gedaan in diepere lagen.

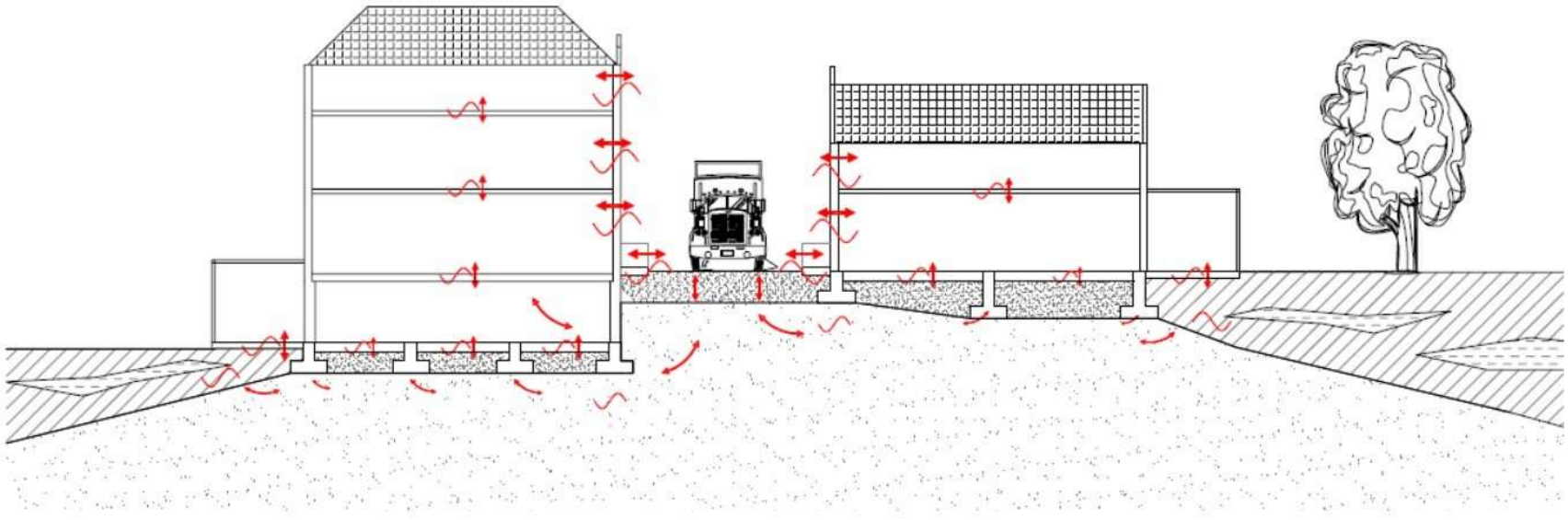
Tijdens de winning in de mijnbouw periode zijn aan het maaiveld verzakkingen (drempels) ontstaan (onderstaande figuur). Drempels zijn lijnvormige verzakkingen die als gevolg van de kolenwinning aan het maaiveld zijn ontstaan. Na de beëindiging van de kolenwinning zijn de mijnwaterpompen successievelijk uitgezet, waardoor het mijnwater in het Carboon is gaan stijgen. Dit resulteert o.a. in bodembeweging aan het maaiveld. In, op of nabij de voormalige oude mijnbouweffecten kan deze bodembeweging ongelijkmatig zijn. Ook kan het stijgende mijnwater oude effecten reactiveren: zo kan het stijgende mijnwater de motor zijn voor (mogelijk differentiële) bodembeweging en mogelijk hiermee gepaard gaande schade aan woningen.

Figuur 2.3: Locatie “drempels” voormalige kolenwinning

Van enkele woningen is bekend dat ze scheefstand hebben en scheurvorming vertonen. De verwachting is sprake is zogenaamde nieuwe mijnschade als gevolg van stijgend mijnwater.

2.2 Mechanisme trillingen

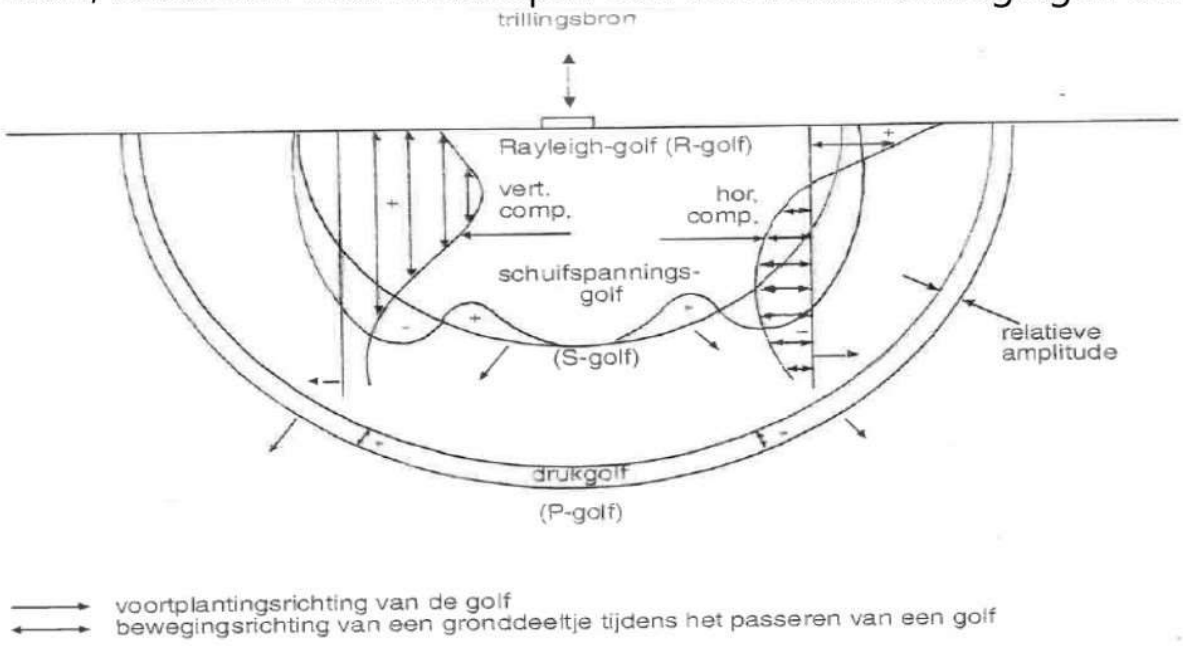
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderings-elementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



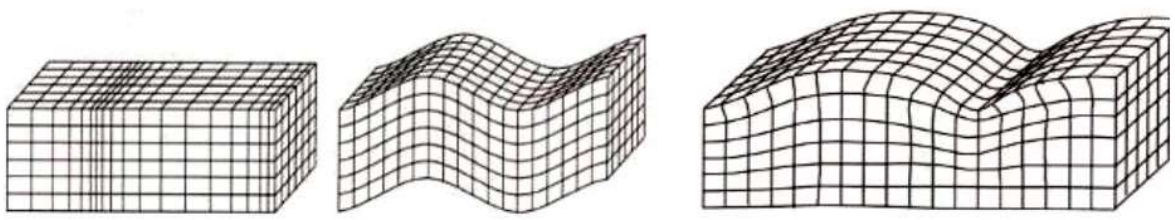
Figuur 2.4: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer verkeer passeert over een ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie en ondergrond. Door de snelle introductie van vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie.

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.4). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.5a: Verschillende trillingsgolven, verspreiding



Drukgolf (links) Schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 2.5b: Verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergiebron op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door o.a. geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

De grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij

toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- (Bij een weg:) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabijgelegen gebouwen / woningen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

Meetuitvoering
De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 4.41). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR- richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (XYZ). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.

Figuur 2.6: Datalogger en geofoon (opnemer)

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen zijn gehanteerd:

- Type systeem Vibra Plus v4.41
- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data savelevel 0,0 mm/s (waarden boven de savelevel worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode

Na afloop van de trillingsmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een laptop en tot grafieken verwerkt.

Locaties meetapparatuur
In onderstaande tabel is een overzicht van de meet(punt)locaties opgenomen. De meetlocatie is in overleg met de opdrachtgever vastgesteld, de meetpuntlocaties in overleg met de bewoners.

Tabel 2.1: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetkast
Meetpunt 1	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	8,0 m	VIBe0696
Meetpunt 2	De Wendelstraat [redacted] gevel	7,5 m	VIB00492
Meetpunt 3	De Wendelstraat [redacted] binnen vloer	6,0 m	VIBe0147
Meetpunt 4	De Wendelstraat [redacted] gevel	5,5 m	VIB00400
Meetpunt 5	In plantsoen kruising De Wendelstraat / Eikske	2,5 m	VIB00479
Meetpunt 6	In plantsoen ter hoogte van De Wendelstraat [redacted]	2,5 m	VIB00087

Figuur. 2.7: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.8: locatie foto's De Wendelstraat [redacted]

Figuur. 2.9: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat kruising Eikske.

Figuur. 2.10: locatie foto conus plantsoen De Wendelstraat ter hoogte van nr. [redacted]

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR-richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk

- Richtlijn A (2017): 'Schade aan bouwwerken;
- Richtlijn B (2006): 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C (2006): 'Storing aan apparatuur'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de bron, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot;

- Schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;
- Hinder voor personen in gebouwen;
- Storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- Zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

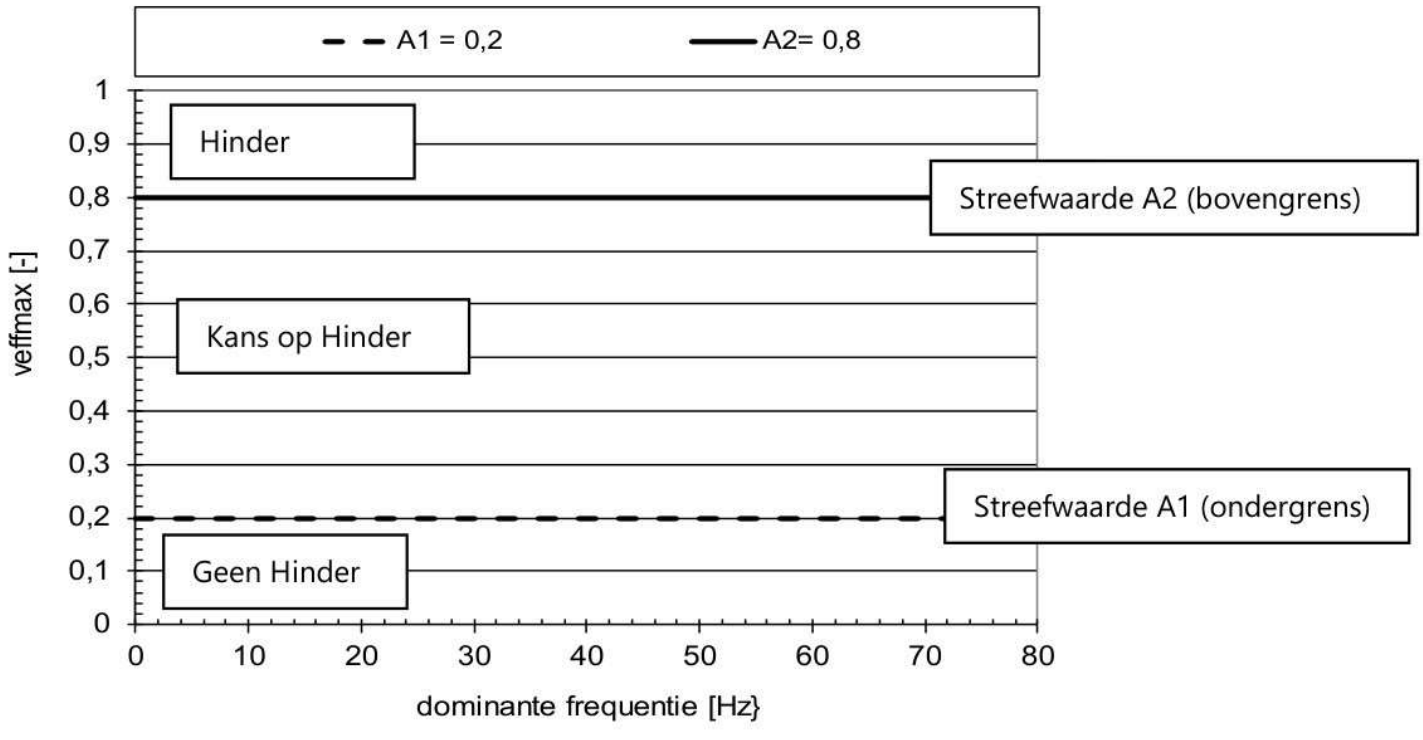
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draag-constructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses. De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r <= V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} <$ A1	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} >$ A2	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} <$ A3	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Benadering voor SBR B beoordelingen

Ten aanzien van beoordeling op hinderbeleving zijn twee benaderingen mogelijk:

1) Een situatie dat de (berekende) effectieve waarde streefwaarde A1 niet overschrijdt. De beoordeling op hinder is dan onafhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (aantal verkeerspassages), want een enkele trilling kan /mag een maximale waarde veroorzaken zodanig dat deze streefwaarde A1 niet overschrijdt.
2) Een situaties waarin wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden. De beoordeling op hinder is dan afhankelijk van de overschrijding van streefwaarde A3. Het aantal optredende trillingen is mede van belang (naast de grootte van de effectieve waarde). Dit aantal volgt doorgaans uit verkeerstellingen.

3.2 Grenswaarde SBR A

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Kans op schade SBR A
Op basis van SBR - richtlijn A 2017 'Schade aan bouwwerken' wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid met de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden.

Hiaat SBR A richtlijn
De SBR-richtlijn doet geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is dan sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden (hoeft niet). Dergelijke cosmetische schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Uitgangspunten t.b.v grenswaarde bepaling SBR A 2017
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Passages van (weg)verkeer wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De woningen zijn deels gefundeerd op staal en deels gefundeerd op palen (verwachting, gezien de grondslag).
- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning opgetrokken is uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object bestaande uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A is de woning als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting". Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).

In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1a: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
5	5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	3,3 / 2,1
10	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	4,2 / 2,6

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Tabel 3.2b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdiket	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactoor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
[Hz]	Cat. 2 [mm/s]	TB [1)] [-]	BG [1)] [-]	TM [1)] [-]	Cat. 2 [mm/s]
7	11,4	1,6	1,0	1,0 / 1,6	7,1 / 4,5
8	10,0	1,6	1,0	1,0 / 1,6	6,3 / 3,9

[1] TB = Type trillingsbron, BG = Bouwkundig gevoelig, TM = type meting

[2] excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

Voor woningen gefundeerd op staal zijn zowel de grenswaarden voor een fundering op palen (toets 'draagconstructie') als de grenswaarden voor een fundering op staal (toets 'trillingsgevoelige fundering') van toepassing. Opgemerkt wordt dat de dikte van de zandlaag onder de funderingselementen invloed heeft op de grootte van de grenswaarde (fundering op staal), hoe dikker de laag hoe lager de grenswaarde in de snelhedensfeer (mm/s). Daarnaast geldt voor de ondergrond direct onder de fundering op staal ook een versnellingswaarde van 1,0 m/s^2.

Omdat de waarde voor fundering op palen lager liggen dan die voor een fundering op staal (= SBR A toets trillingsgevoelige fundering), zijn deze maatgevend.

Partiële factor type meting

Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met de factor voor het type meting. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters, de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

De grootte van de partiële factor voor het type meting (uitgebreidheid van de meting) varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de wijze van meten. Er is sprake van een "indicatieve meting" (= 1 meetpunt per object, factor =1,6), een "beperkte meting" (= 2 meetpunten per object, factor = 1,4) of een "uitgebreide meting" (= meerdere meetpunten (> 4) per object, factor = 1,0).

3.3 Streefwaarde SBR B

In de bijlage "*Toelichting SBR - toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

Uitgangspunten t.b.v streefwaarde bepaling SBR B 2006
De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- *Type trillingsbron*
  Analoog aan SBR A 2017 worden passages van wegverkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- *Situatie*
  Een nieuwe situatie is van toepassing (conservatieve benadering). Wel de ontvanger (woning) is aanwezig, maar de trillingsbron (verkeer) is niet aanwezig. Na verwijderen van de bussluis is wel verkeer aanwezig.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimte is wonen.
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Situatie
SBR B maakt voor de grootte van de streefwaarde onderscheid in de volgende situaties:

- *Bestaande situatie*
  Zowel de trillingsbron (verkeer al dan niet met verkeersdrempel) als de ontvanger (woning) zijn aanwezig;
- *Nieuwe situatie*
  Of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig;
- *Gewijzigde situatie*
  Beiden zijn aanwezig (trillingsbron en ontvanger). 1 van de twee ondergaat een wijziging, bijvoorbeeld meer verkeer / andere opbouw verkeer / aanbrengen verkeersdrempel / afstandsverandering.

Omrekenfactor voor streefwaarden uit CUR 166
Bij beoordeling op hinder worden de trillingsniveaus ($v_{eff.max}$ en v_{per}) getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3). De in SBR B opgenomen streefwaarden zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer deze uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden om te rekenen zijn naar mm/s. Conform CUR166 (6de druk) tabel 5.23 worden onderstaande factoren gehanteerd:

- Trillen van damwanden 0,64;
- Passerend (bouw)verkeer 0,42.

Streefwaarden
In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingenintensiteit voor nieuwe situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,95	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

In geval een "bestaande situatie" zijn de streefwaarden 2x zo hoog. In geval een "gewijzigde situatie" worden optredende amplitudes beoordeeld aan de streefwaarden van de "bestaande situatie" aangehouden en mogen de amplitudes na wijziging niet hoger zijn dan de bestaande situatie (streven naar).

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

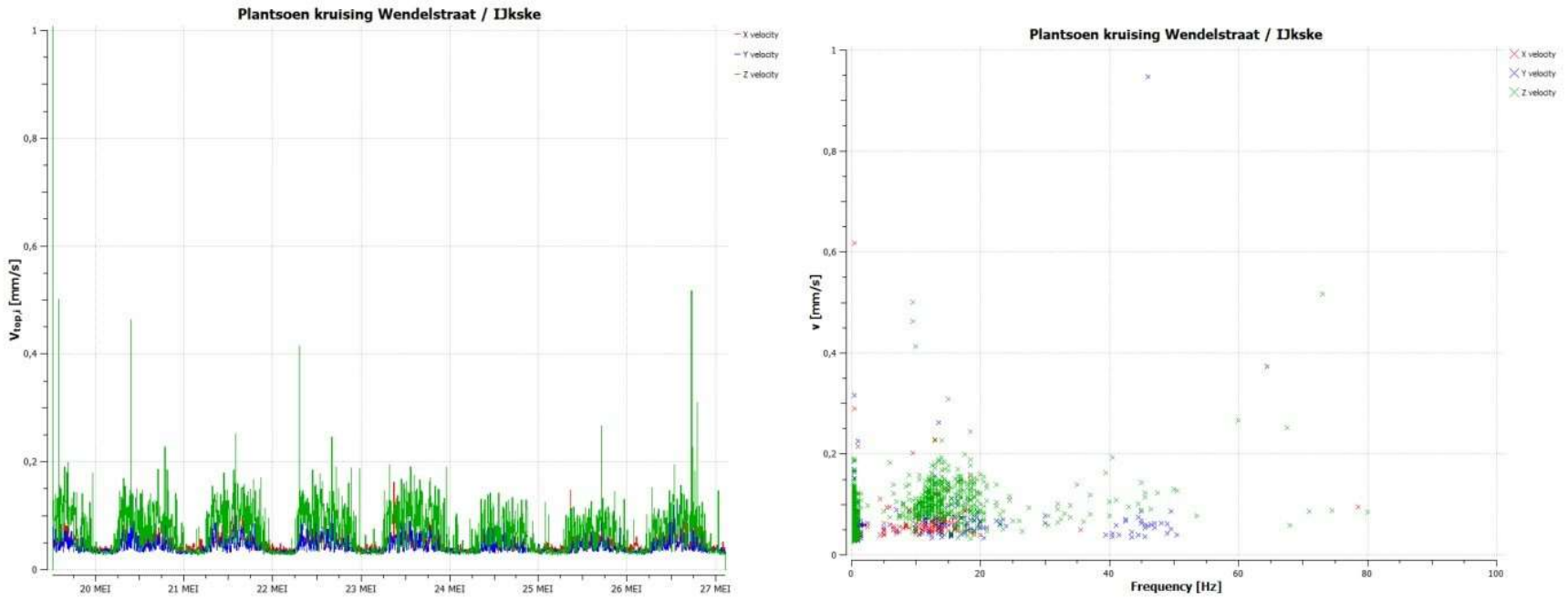
$V_{eff,max}$ [-]	$V_{eff,max}$ [1)] [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
0,2-0,8	0,48-1,90	Matige hinder
0,8-3,2	1,90-7,62	Hinder
>3,2	>7,62	Ernstige hinder
1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen		

SBR-richtlijn B vermeldt:
"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

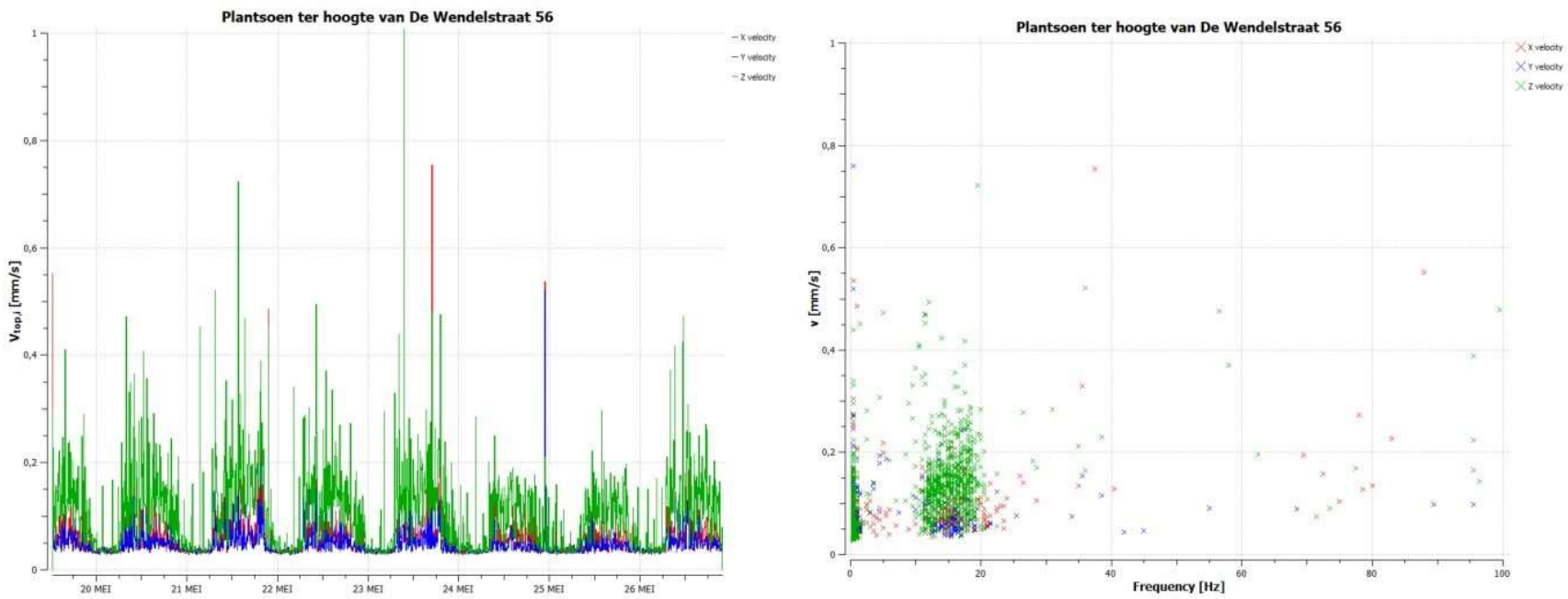
4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Meetpunten openbare ruimte

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van meetpunten geplaatst in de grond opgenomen.



Figuur 4.1: Meetpunt 5, Conus Plantsoen kruising De Wendelstraat / Ijkske
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

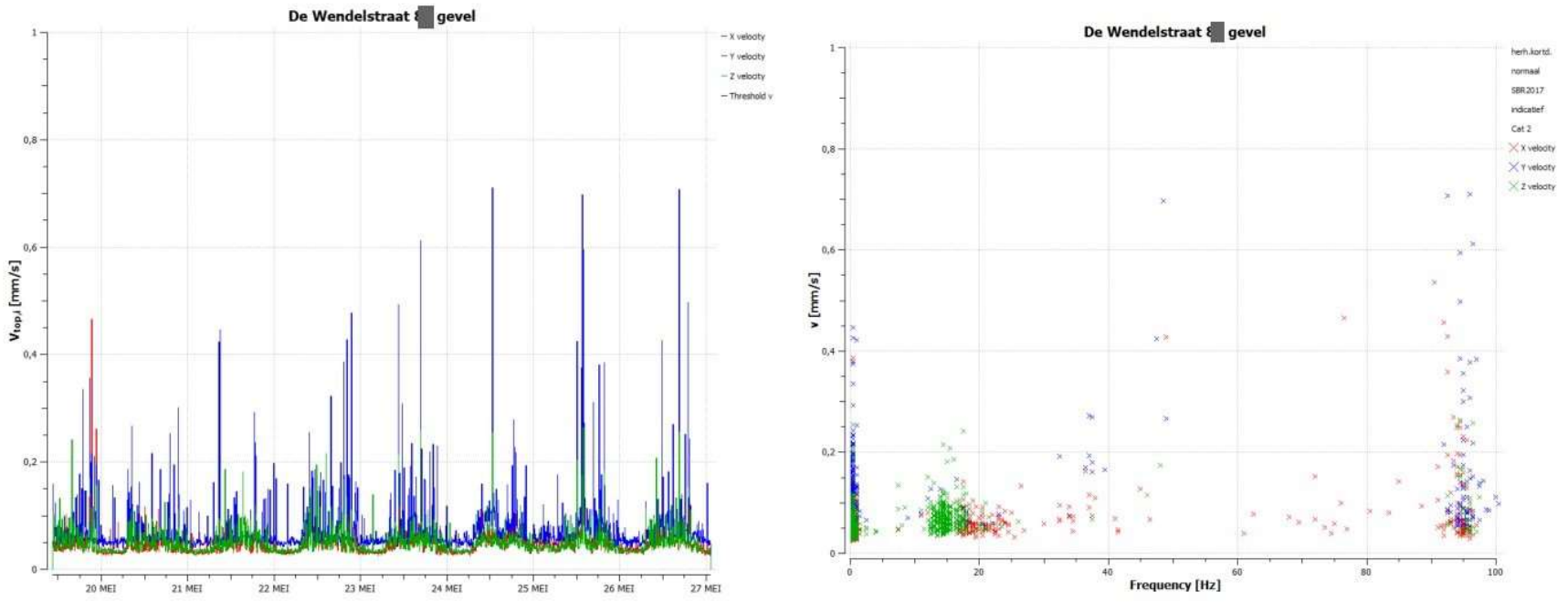


Figuur 4.2: Meetpunt 6, Conus Plantsoen nabij De Wendelstraat [illegible]
Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

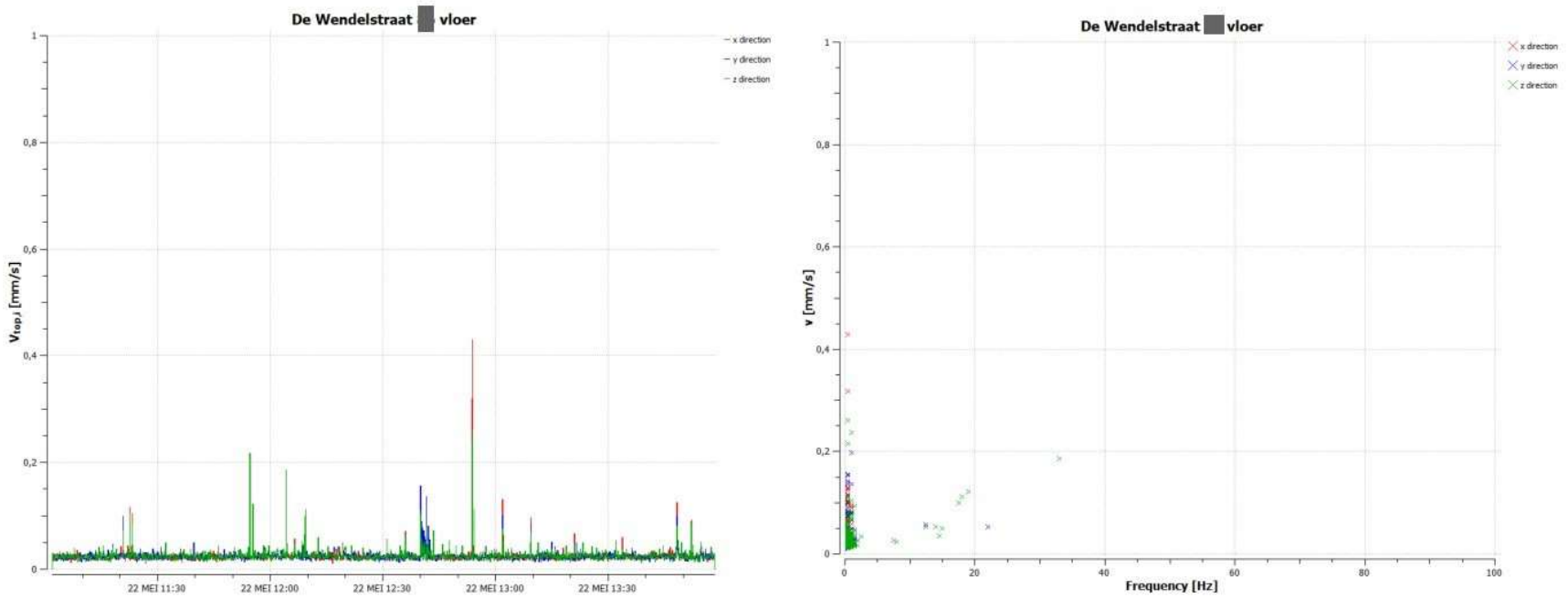
4.2 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.2.1 Meetresultaten



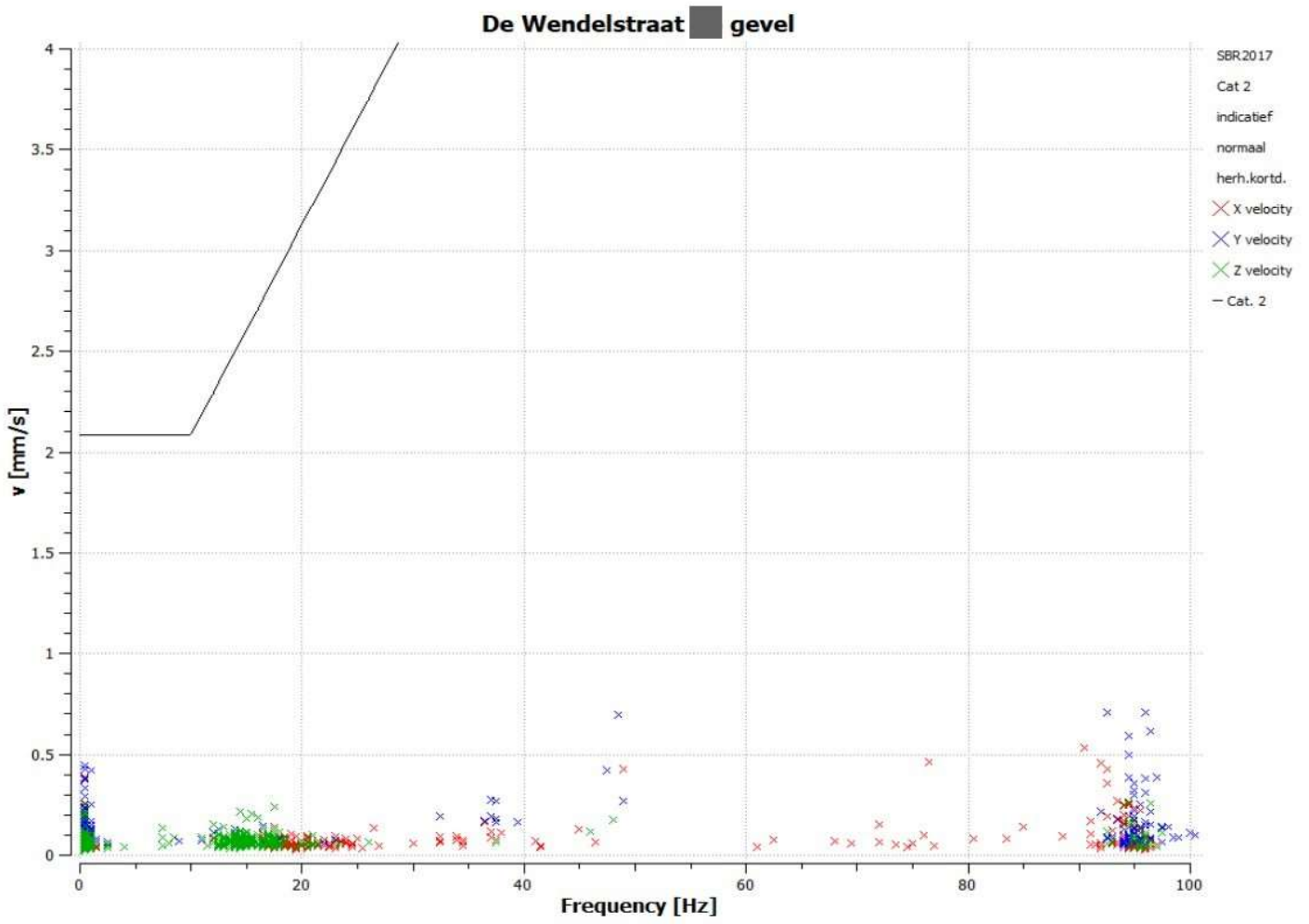
Figuur 4.3: Meetpunt 4, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.4: Meetpunt 4, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.2.2 Toetsing SBR A

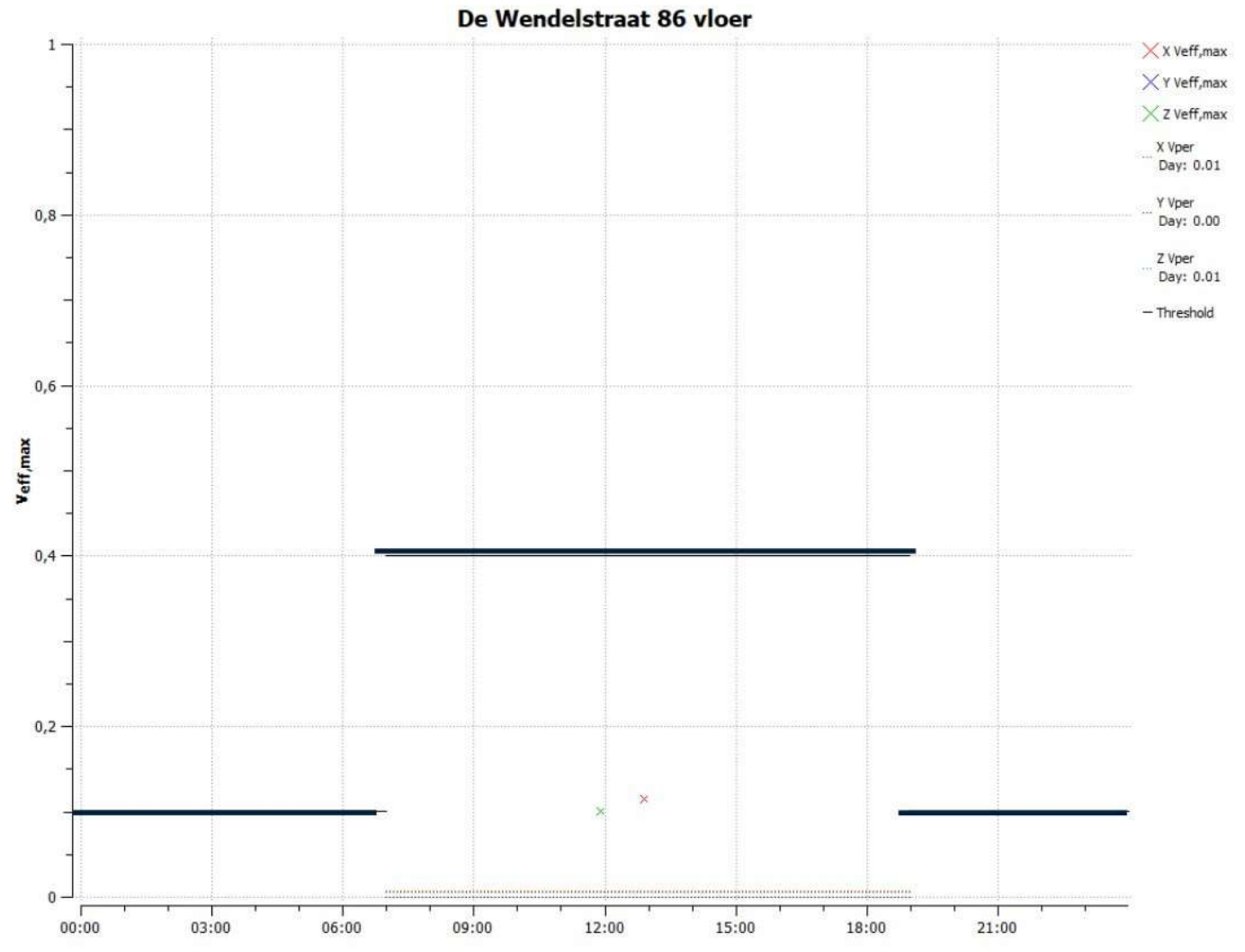
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (niet bouwkundig gevoelig).



Figuur 4.5: SBR A, beoordeling mp 4, nr. [redacted] gevel.

4.2.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.

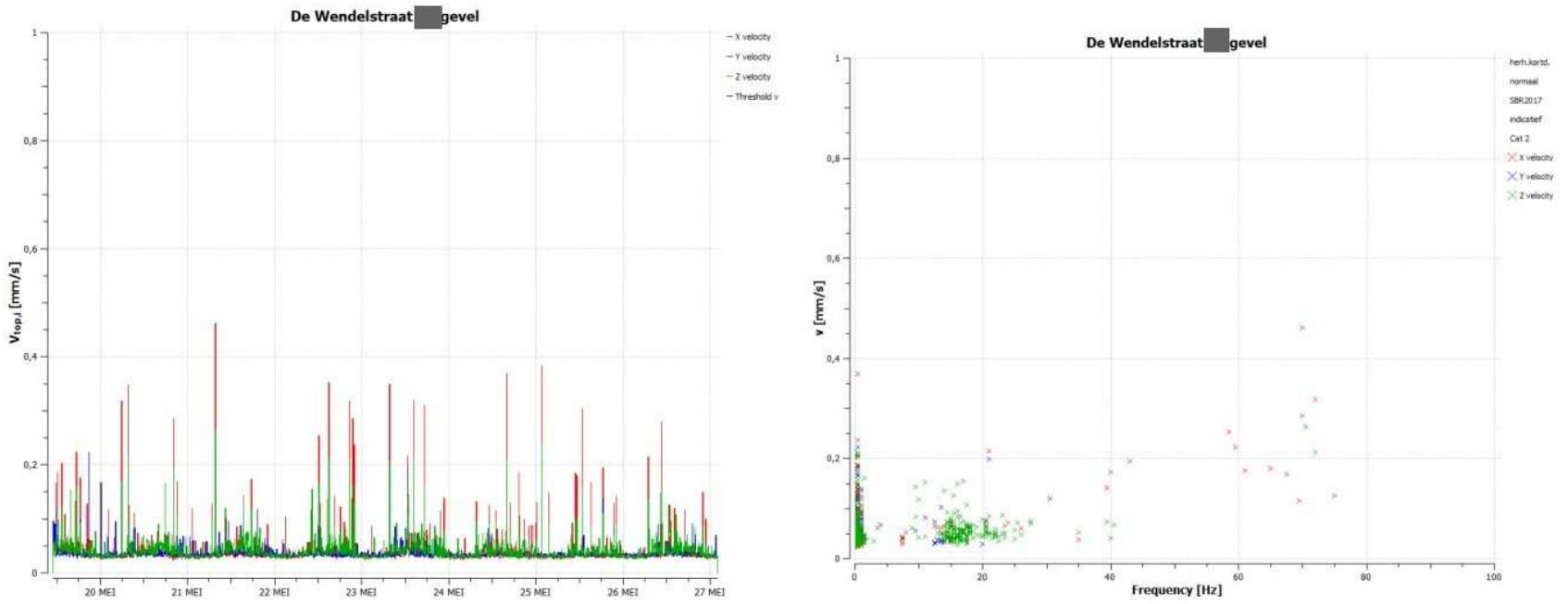


Figuur 4.6: SBR B beoordeling mp 5, nr. [redacted]vloer, periode van de dag

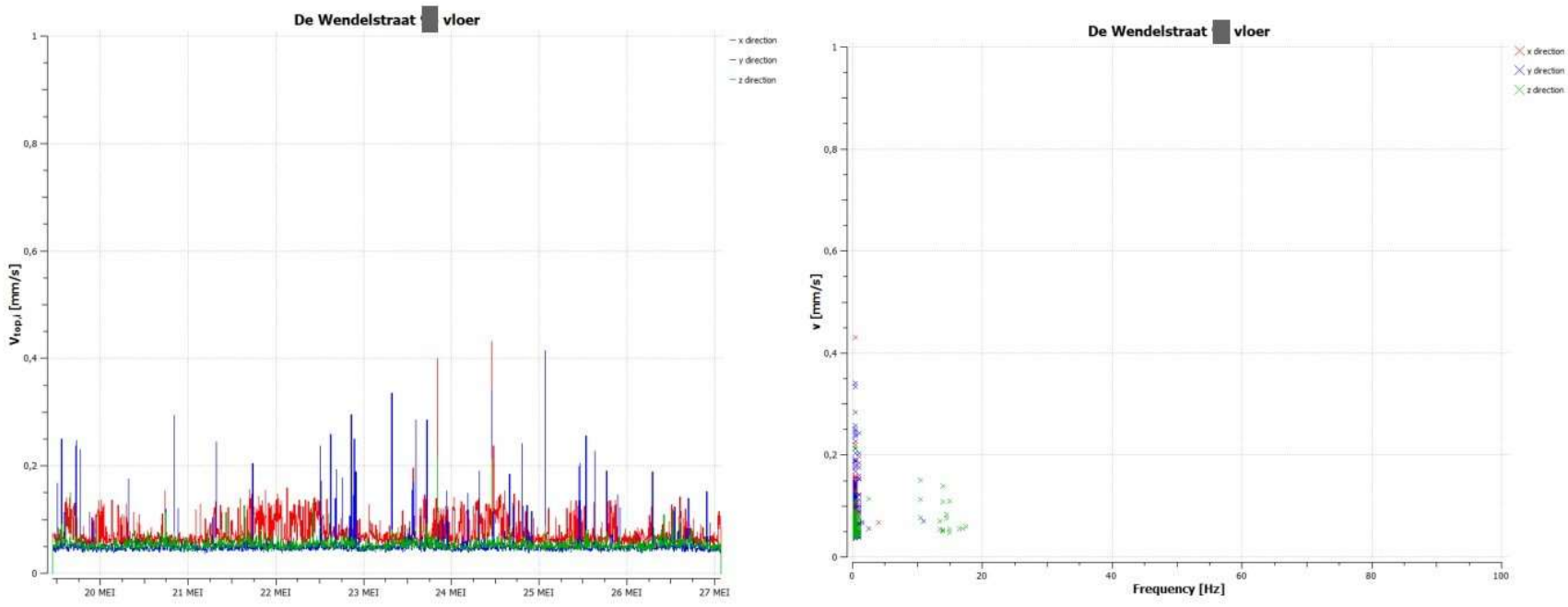
4.3 De Wendelstraat [redacted]

In onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de meetpunten aan de gevel en op de vloer opgenomen.

4.3.1 Meetresultaten



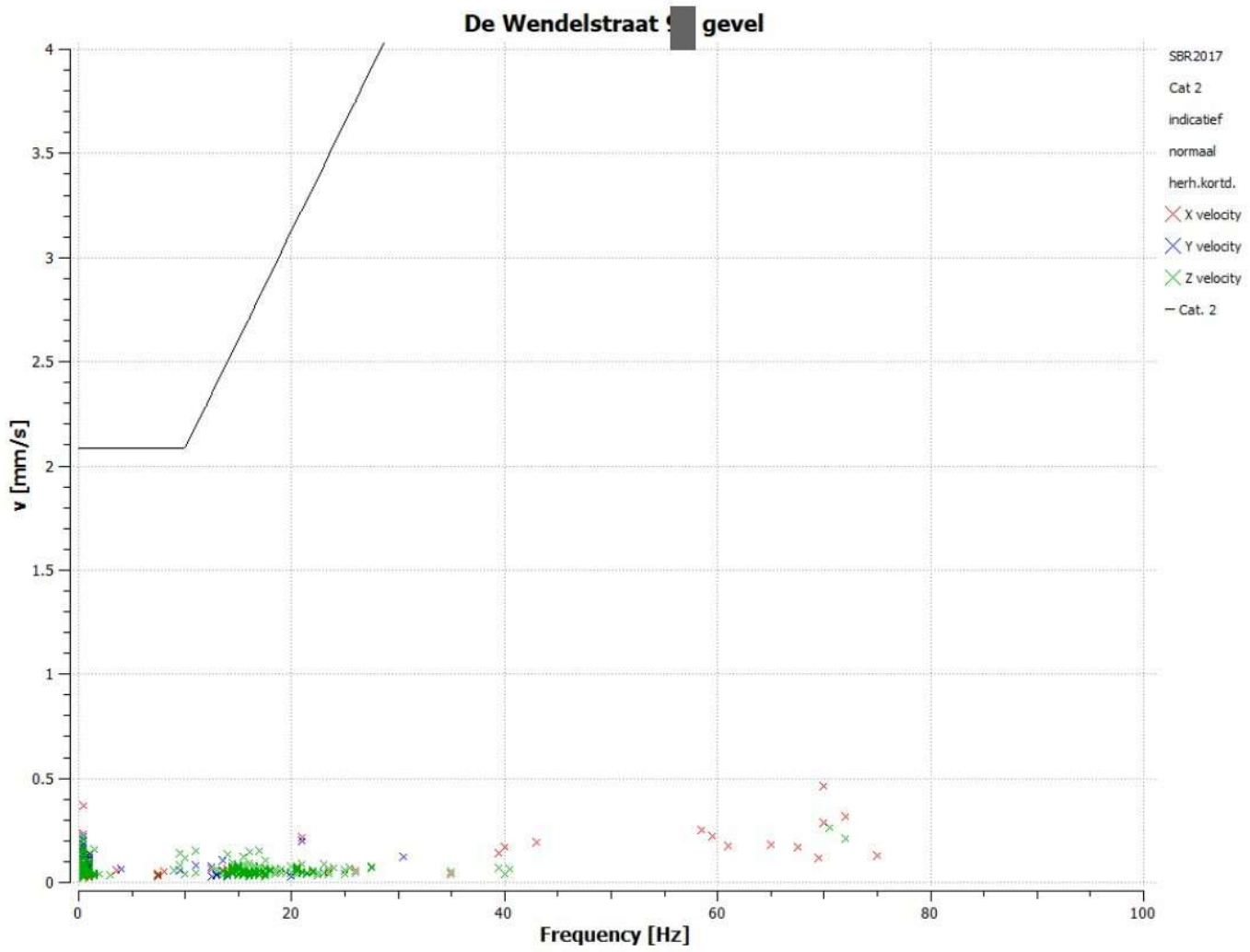
Figuur 4.7: Meetpunt 2, nr [redacted] gevel, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)



Figuur 4.8: Meetpunt 1, nr [redacted] vloer, Snelheid versus tijd (links) en versus frequentie (rechts)

4.3.2 Toetsing SBR A

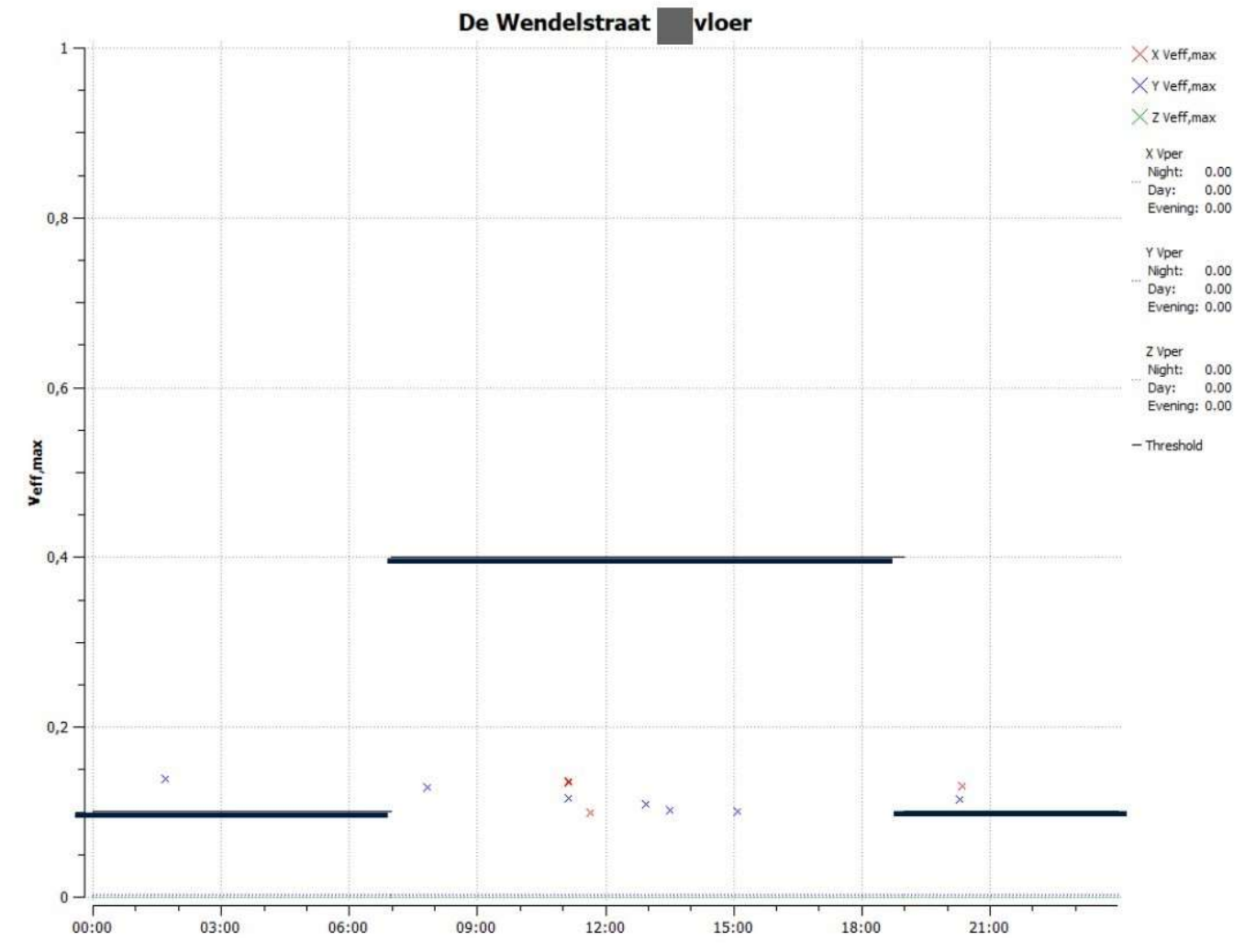
De grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuur is de grenswaarde lijn voor categorie 2 weergegeven (type gebouw: Niet Bouwkundig Gevoelig).



Figuur 4.9: SBR A, beoordeling mp 2, nr. [redacted] gevel.

4.3.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. In de onderstaande figuur zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8) weergegeven.



Figuur 4.10: SBR B beoordeling mp 1, nr. [redacted] vloer, periode van de dag.

4.4 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad.

Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de meetwaarden een onderlinge correlatie tussen “gevel” en “vloer” beschouwd is. Hoge waarden die daarbij niet onderling gecorreleerd kunnen worden, zijn buiten beschouwing gelaten. Opgemerkt wordt dat de waarden in de avondperiode vergelijkbaar zijn met de waarden in de dagperiode.

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden

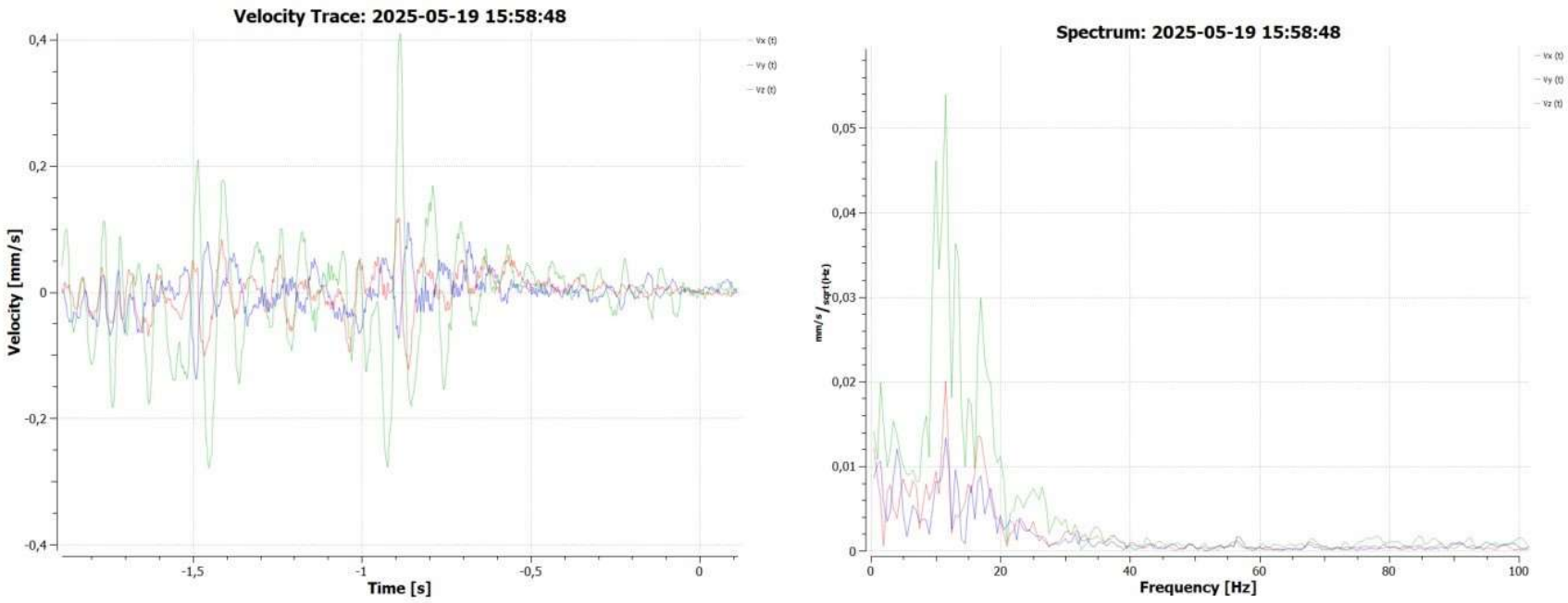
Locatie	afst. [2] [m]	Meetsysteem	Dagperiode [mm/s]	Avondperiode [mm/s]	Nachtperiode [mm/s]
MP 1 nr [redacted] vloer	6,0 X	VIBe0696	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28)	0,06 – 0,08 (0,10 – 0,13)
MP 2 Nr [redacted] gevel	5,5 X	VIBe0492	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35)	0,04 – 0,05 (0,08 - 010)
MP 3 Nr [redacted] vloer	8,0 X	VIBe0147	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,08 – 0,25 (0,35 – 0,46)	0,03 – 0,04 (0,05 – 0,06)
MP 4 Nr [redacted] gevel	7,5 Y	VIBe0400	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45)	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45))	0,02 – 0,04 (0,12 – 0,16)
MP 5	2,5 Z	VIBe0479	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,12 – 0,15 (0,18 – 0,25)	0,03 – 0,04 (0,06 – 0,09)
MP 6 Nabij nr [redacted]	2,5 Z	VIBe0087	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,22 – 0,25 (0,32 – 0,55)	0,03 – 0,04 (0,16 – 0,18)
1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters 2) X, Y, Z dominante trillingsrichting					

Door de Gemeente is een logboekje met enkele passagetijden van een vuilniswagen verstrekt. In onderstaande tabellen is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen, zowel per periode van de dag als van de gepasseerde vuilniswagen.

Tabel 4.2: Samenvatting meetwaarden, passages vuilniswagen

Passage tijd	MP 1 Nr [redacted] vloer VIBe0696 X/Y/Z [mm/s]	MP 2 Nr [redacted] gevel VIBe0492 X/Y/Z [mm/s]	MP 3 Nr [redacted] vloer VIBe0147 X/Y/Z [mm/s]	MP4 Nr [redacted] gevel VIBe0400 X/Y/Z [mm/s]	MP 5 VIBe0479 X/Y/Z [mm/s]	MP 6 Nabij nr [redacted] VIBe0087 X/Y/Z [mm/s]
19/5 15:58	0,07/0,09/0,15	0,07/0,08/0,15	0,05/0,17/0,23	0,11/0,17/0,24	0,07/ 0,07/0,19	0,14/0,14/0,41
21/5 10:30	0,08/0,04/0,11	0,10/0,10/0,12	0,07/0,12/0,17	0,09/0,15/0,19	0,07/ 0,07/0,13	0,14/0,14/0,35
21/5 15:30	0,09/0,05/0,15	0,06/0,07/0,14	0,06/0,11/0,16	0,08/0,13/0,18	0,10/ 0,05/0,15	0,15/0,15/0,47
22/5 10:30		0,05/0,05/0,14	0,12/0,06/0,09	0,09/0,11/0,07	0,05/ 0,05/0,10	0,17/0,17/0,49
22/5 14:30		0,05/0,06/0,14	0,07/0,14/0,21	0,08/0,13/0,21	0,06/ 0,08/0,11	0,12/0,12/0,33

In detail is in onderstaande figuur het karakteristieke trillingenbeeld van een passage opgenomen.



Figuur 4.10: Passage vrachtauto, karakteristieke trillingenbeeld

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen. Bij de toetsing op hinderbeleving (SBR B) zijn de streefwaarden voor een "nieuwe situatie" aangehouden, ondanks dat sprake is ven een "bestaande situatie".

Tabel 4.3: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding [3]	Risico [2] Cat 2 NBG [1]	Mate van overschrijding [3] A1 / A2 / A3	Hinder [2] Wonen
MP 2, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 4, Nr [redacted] gevel	G	GR	-	-
MP 1, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH
MP 3, Nr [redacted] vloer	-	-	dag SP / G / G avond SP / G /G nacht SP / G / G	WH WH GH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel

Toelichting

(SBR A) Op moment dat geen overschrijdingen van de grenswaarde optreden (aangegeven met G), is het risico op schade aanvaardbaar klein (aangegeven met GR).

(SBR B) Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch). Een marginale overschrijding

wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele maar marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

Eindbeoordeling
(SBR A) Omdat geen overschrijdingen van de grenswaarde zijn optreden, is het risico op schade aanvaardbaar klein.

(SBR B) Omdat in de dag- en avondperiode de onder streefwaarde A1 maar niet de boven streefwaarde A2 wordt overschreden (beschouwing nieuwe situatie) is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voor doet (lees: passage voertuig). Een toename van 40% van het verkeer is te verwachten. Echter de verwachting is dat, ondanks genoemde toename, dat het aandeel zwaar verkeer beperkt zal blijven. Daarmee wordt de “periodieke” streefwaarde A3 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.
Gezien de amplitudes van de optredende trillingen vallen qua perceptie de trillingen in de categorie weinig hinder ((net) voelbaar).
Bij beschouwing van een “bestaande” dan wel “gewijzigde” situatie wordt streefwaarde A1 niet overschreden en is hinderbeleving niet aannemelijk.

5. Analyse trillingsoverdracht

5.1 Modellering

Rekenprogramma VP-drempel
In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op belendingen voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Invoer parameters VP-drempel
In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd.

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en rijsnelheid).
  Er zijn verscheidene typen voertuigen (meest voorkomend) beschikbaar.
- Kenmerken van de drempel, zijnde een drempelhoogte, een lengte van de op- / afrit en een breedte van de drempel / plateau.
- Kenmerken van de vlakheid van de weg.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Er zijn een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen opgenomen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "*Damwandconstructies*".
- Kenmerken van de funderingsdikte van de weg. Er zijn een drietal dikten beschikbaar (0,25 m, 0,50 m en 1,00 m)
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d).
  De opslingering en daarmee de beleving van de trillingsintensiteit bij / binnen de woning is hiervan afhankelijk. Houten vloeren slingeren meer op dan betonvloeren, zo ook een grotere overspanning van de vloer dan wel een niet constructief stijf pand.

Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "nieuwe" situatie.

Binnen het toetsingskader van SBR B kan de situatie ook als "gewijzigde" situatie beschouwd worden (= nieuwe bron of nieuwe ontvanger). Hierbij mogen toekomstige trillingen niet hoger zijn dan de bestaande situatie. Om dit te verifiëren zijn nulmetingen (trillingen) nodig. Een "nieuwe" situatie kent strengere streefwaarden.

Vertaalslag De Wendelstraat
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer worden gebruikt ter IJking van het model (bestaande situatie). Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken worden de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (conservatieve benadering);
- De bestrating is momenteel asfalt en wordt op termijn klinkers;
- Rijsnelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur;
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;

- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- Het voertuigtype en het gewicht ervan (soort voertuig);
- De rijsnelheid van het voertuig;
- De verkeersintensiteit, aantal voertuigpassages (per beoordelingsperiode);
- Wegbestrating met verkeersdrempel / plateau.

Verkeerstellingen
Uit gegevens van een verkeerstelling per rijrichting en periode van de dag (dag-, avond- en nachtperiode) volgt doorgaans de opbouw (= aantallen) van het passerende voertuig en de rijsnelheid (V_{85} -waarde). Onderscheid wordt daarbij gemaakt in lichte korte voertuigen (< 3,5 m) tot zware lange voertuigen (> 7,5 m). De gegevens zijn met name van belang bij de beoordelingen/toetsing op hinderbeleving (SBR B, toets 2b).

Voertuigtype
Het rekenprogramma VP-drempel kent een aantal voertuigen, waaronder vrachtauto's en bussen (naast personenauto's). Vrachtauto en bussen zijn maatgevend boven auto's en bestelbusjes.

In 2023 zijn een tweetal verkeerstelingen uitgevoerd. Een toename van 40% van het verkeer rijdend over de De Wendelstraat is te verwachten. Een verdeling van de opbouw (lengte voertuig) is niet gerapporteerd. In deze wordt aangehouden dat ook (zware) vuilniswagens door de wijk rijden (lengte > 3,5 m). Een 1^{e} aanname is gedaan van 2 zware voertuigen per uur (huidige situatie) met een toename naar 3 zware voertuigen per uur (situatie na openstellen bussluis).

In voorliggende beschouwingen / analyses is een schatting gedaan voor de verdeling van het verkeer over de dagperiode. Voor de avondperiode is 50% van de dagperiode en voor de nachtperiode is 25% van de dagperiode aangehouden.

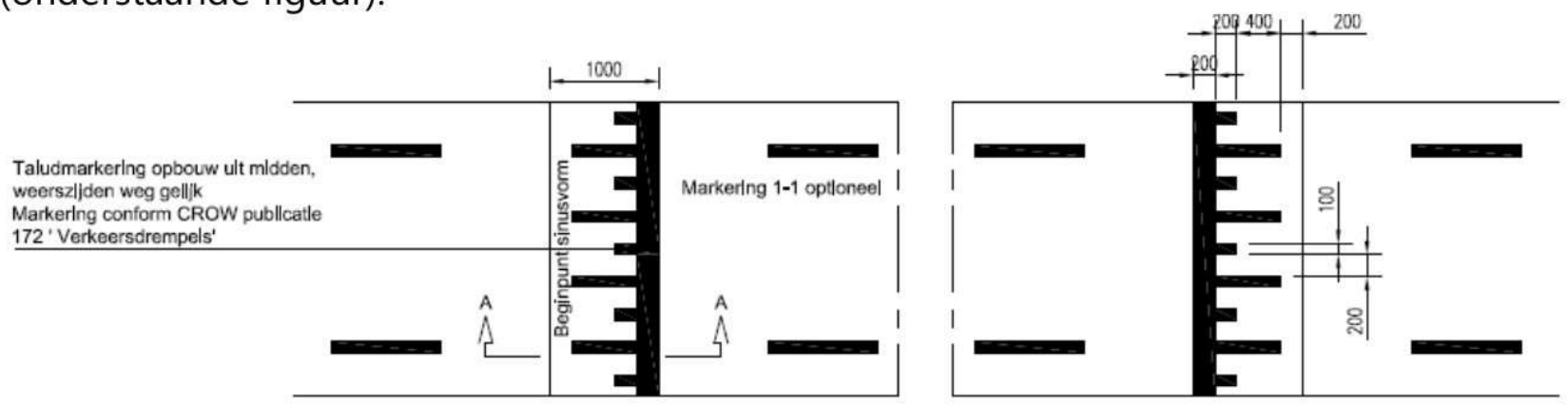
Rijsnelheid
Voor de De Wendelstraat geldt een maximale rijssnelheid van 30 km/uur (bestaande situatie en na openstelling van de bussluis). Uit de verkeerstellingen is gebleken dat het verkeer momenteel circa 40 km/uur rijdt (V_{85}).

Wegbestrating
De huidige bestrating van de De Wendelstraat is asfalt. In de situatie na openstelling zal sprake zijn van een klinkerbestrating. Het asfalt is in redelijke staat gezien de

reparatievlakken, waardoor de wegvlakheid “goed” tot “matig” is. In de analyses wordt “goed” aangehouden. Een weg met een klinkerbestrating wordt gezien als “matig”.

Verkeersdrempels (geometrie)
Om de rijsnelheid te verlagen, zijn na open stellen van de bussluis bij de herinrichting van de straat geen verkeersdrempels in De Wendelstraat voorzien. De verwachting is dat, zonder verkeersdrempels, de werkelijke rijsnelheid van het verkeer na openstelling circa 40 km/uur zal zijn.

Als alternatief zou een 30 km/uur plateaudrempel (bron CROW) kunnen worden aangebracht (onderstaande figuur).



Figuur 5.1: Drempel geometrie (bron CROW)

De volgende geometrische plateau afmetingen gelden daarbij:
- Op-/afritten sinusvormig, 1,0 m lang;
- Plateaulengte variabel (circa 2 m wordt aangehouden);
- Plateauhoogte 8 cm.

5.2.2 Medium

Weg(funderings)constructie
De wegfundering zorgt voor een belastingspreiding. De bestaande weg is aangelegd op zand (aanname), waarbij de dikte van de wegfundering op 25 cm is aangehouden (menggranulaat/puinlaag). Voor de toekomstige situatie is door bureau Grondslag12 een verhardingsadvies uitgebracht weg (uitgaande van een klinkerbestrating).

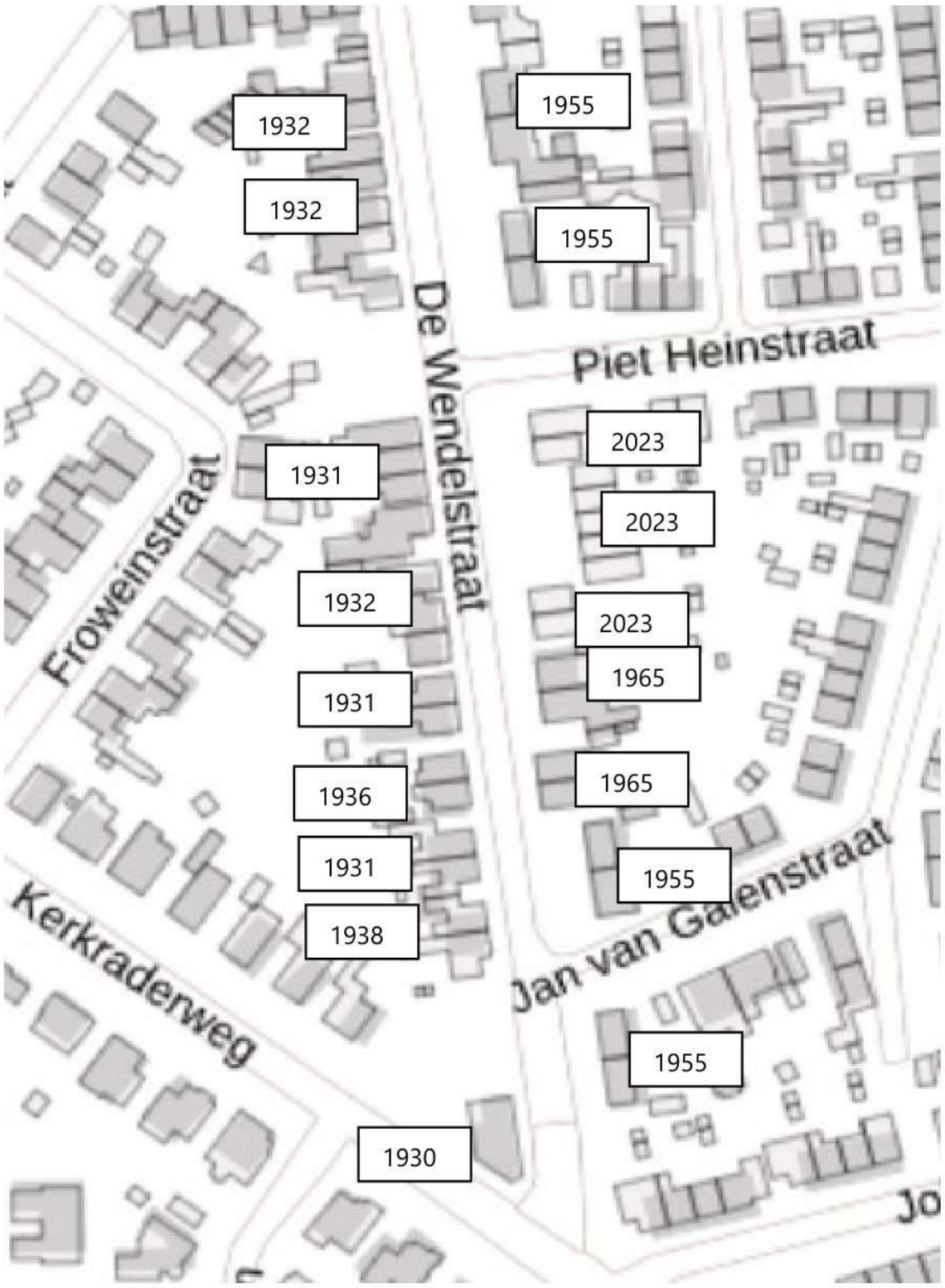
Bodemopbouw
Met de uitvoering van sonderingen (en/of boringen) wordt inzicht verkregen in de opbouw van het grondlagen pakket. Van een tweetal bouwlocaties is geotechnisch grondonderzoek beschikbaar (nabij De Wendelstraat[redacted] en op locatie De Wendelstraat[redacted]). In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

De ondergrond bestaat uit:
- een toplaag (dikte circa 0,5 m) geroerde leem/zand/grind conuswaarde 1 tot 2 MPa;
- een tussenlaag (dikte circa 6 tot 7 m) leem / löss, conuswaarde 2 tot 3 MPa met zanderige tussenlagen 0,5 m tot 1 m dik, conuswaarden tot 5 MPa;
- onderlaag van zand / grind conuswaarden meer dan 20 MPa.

5.2.3 Ontvanger

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren.

BAG-viewer / Monumentale status
Het register van Rijksmonumenten is geraadpleegd voor objecten met een rijk monumentale status. Er zijn geen monumentale objecten aanwezig. Met de BAG-viewer van het Kadaster zijn bouwjaren achterhaald (onderstaande figuur).



Figuur 5.2: Bouwjaren volgens BAG-viewer

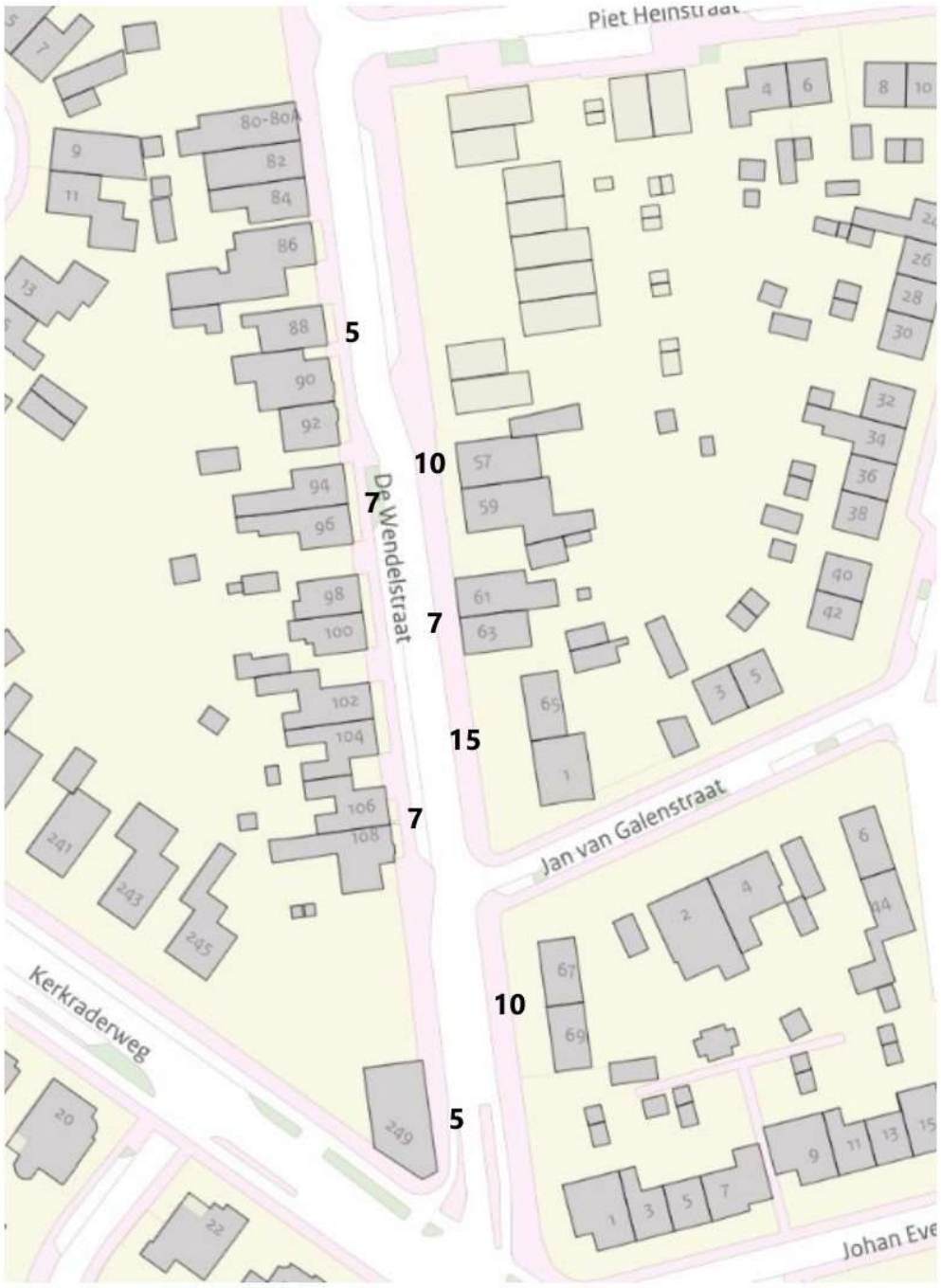
Indeling in gebouwcategorie / bouwkundig gevoelig (conform SBR A)
De indeling is onder andere afhankelijk van de constructiewijze van het object, de wijze waarop het object gefundeerd is, en de staat van het object (monumentale status).

In onderstaande tabel zijn karakteristieken van belendende objecten opgenomen. De afstanden van de belendingen zijn herleid uit Google Earth waarbij de ligging van de gevel zo goed mogelijk is geïnterpreteerd.

Tabel 5.1: Karakteristieken belendingen

Locatie	Bouwjaar	Afstand [m]	Funderings wijze	Categorie [1)]
West	1930 - 1940	5 tot 7,5	Op staal [2)]	2 NBG
Oost	1955 – 1965 2023	10 tot 15	Op palen [2)]	2 NBG

1) NBG – Niet Bouwkundig Gevoelig
2) Aanname, gezien het bouwjaar is een fundering op staal mogelijk



Figuur 5.3: Afstand as-weg tot bebouwing

5.3 Invoer VP-drempel

In onderstaande tabellen zijn de karakteristieken van de (fictieve) verkeersdrempel en invoerwaarden VP-drempel opgenomen.

zTabel 5.2: Drempel afmetingen (fictief / optioneel)

Type drempel/ plateau	vorm [sinus / recht]	Hoogte [m]	Lengte Oprit / afrit [m]	Breedte Plateau [m]
A1 A2	Sinus	0,01 0,08	10 / 10 1,0 / 1,0	20 2

Type A1 geldt bij de ijking van het model, type A2 wordt als optioneel doorgekend om de snelheid van 40 km/uur naar 30 km/uur terug te dwingen.

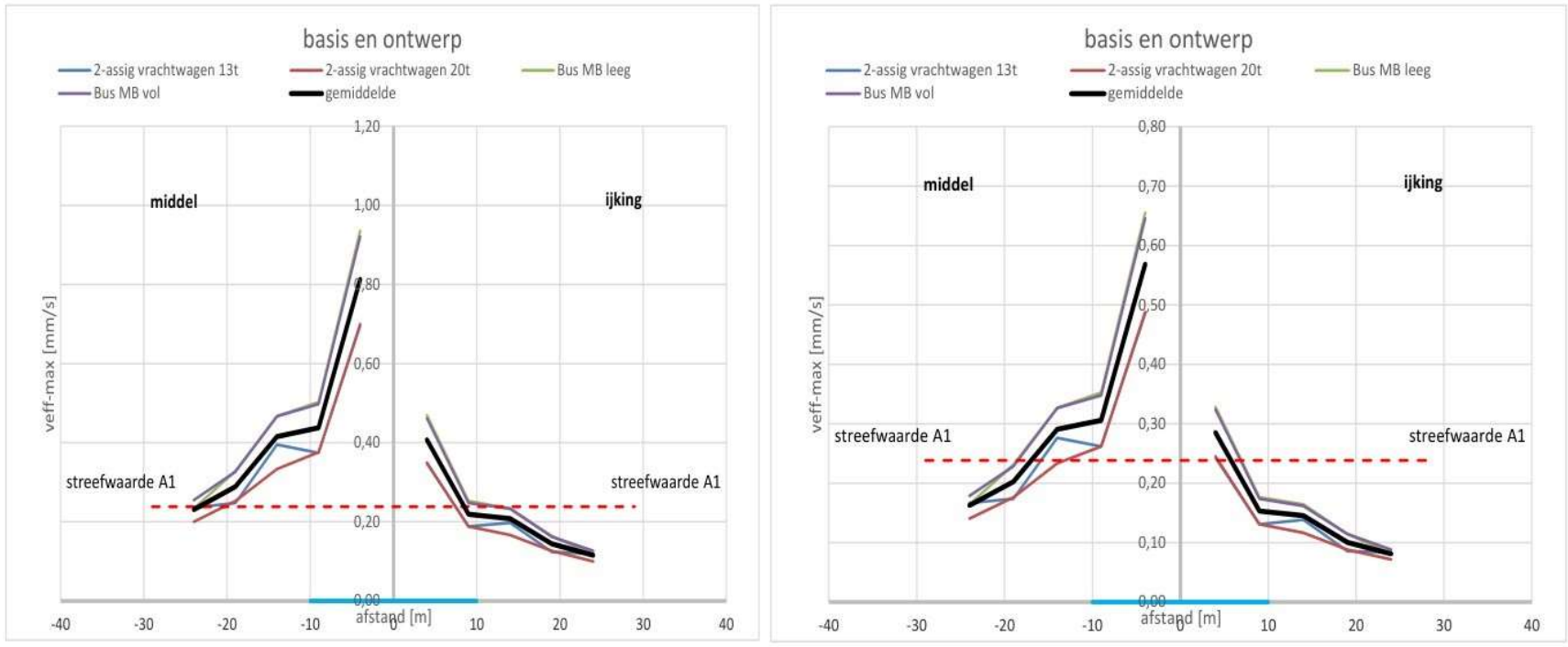
Tabel 5.3: Invoerparameters VP-drempel

Bron	Voertuig	Rijsnelheid [km/uur]	Intensiteit [dag / avond / nacht]	Drempel afmetingen	
Bron	Vrachtauto 13 ton Vrachtauto 20 ton Bus vol Bus leeg	40 km/uur 30 km/uur	24 / 12 / 6 36 / 18 / 9	Type A	
Medium	**Bodemprofiel**	**Wegfundering [m]**	**Weggladheid [1)] [-]**		
Medium	Maasvlakte	0,25 (aanname)	Goed middel		
Ontvanger	**SBR A gebouwcategorie**	**SBR A Funderingswijze**	**SBR B Functie**	**SBR B Stijfheid**	**SBR B vloer**
Ontvanger	Cat 2: metselwerk in goede staat	op palen op staal	wonen	laag	hout
1) Asfalt = goed, klinkers = middel					

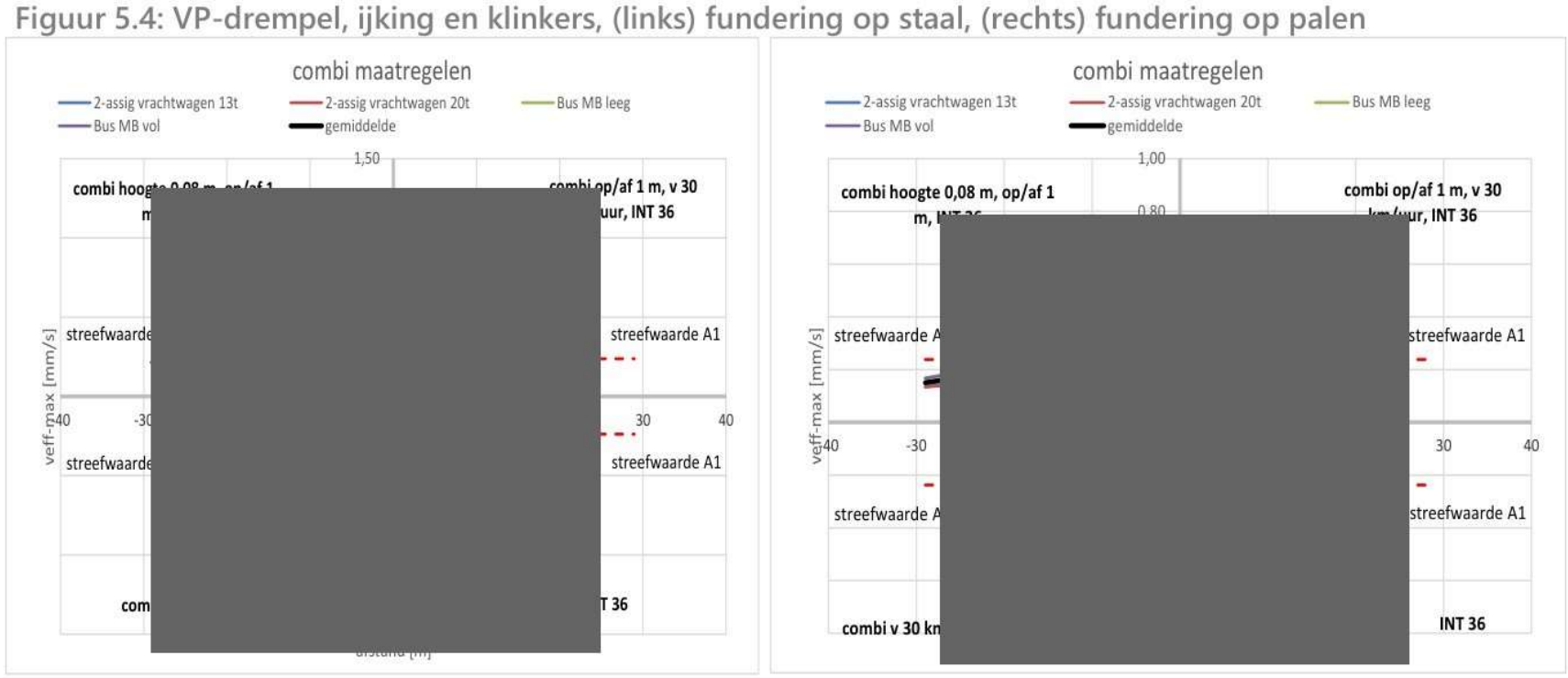
5.4 Resultaten

Uitleg bij de figuren.
In de figuren zijn waarden negatief weergegeven. Het negatief zijn is enkel gedaan om het onderscheid tussen de verschillende onderdelen inzichtelijk te krijgen. Op de y-as zijn de trillingsintensiteit (in mm/s) weergegeven bij een gegeven afstand tot de bron. Op de x-as is afstand vanaf x=0 m (de bron). De streefwaarden zijn aangegeven met horizontale lijnen.

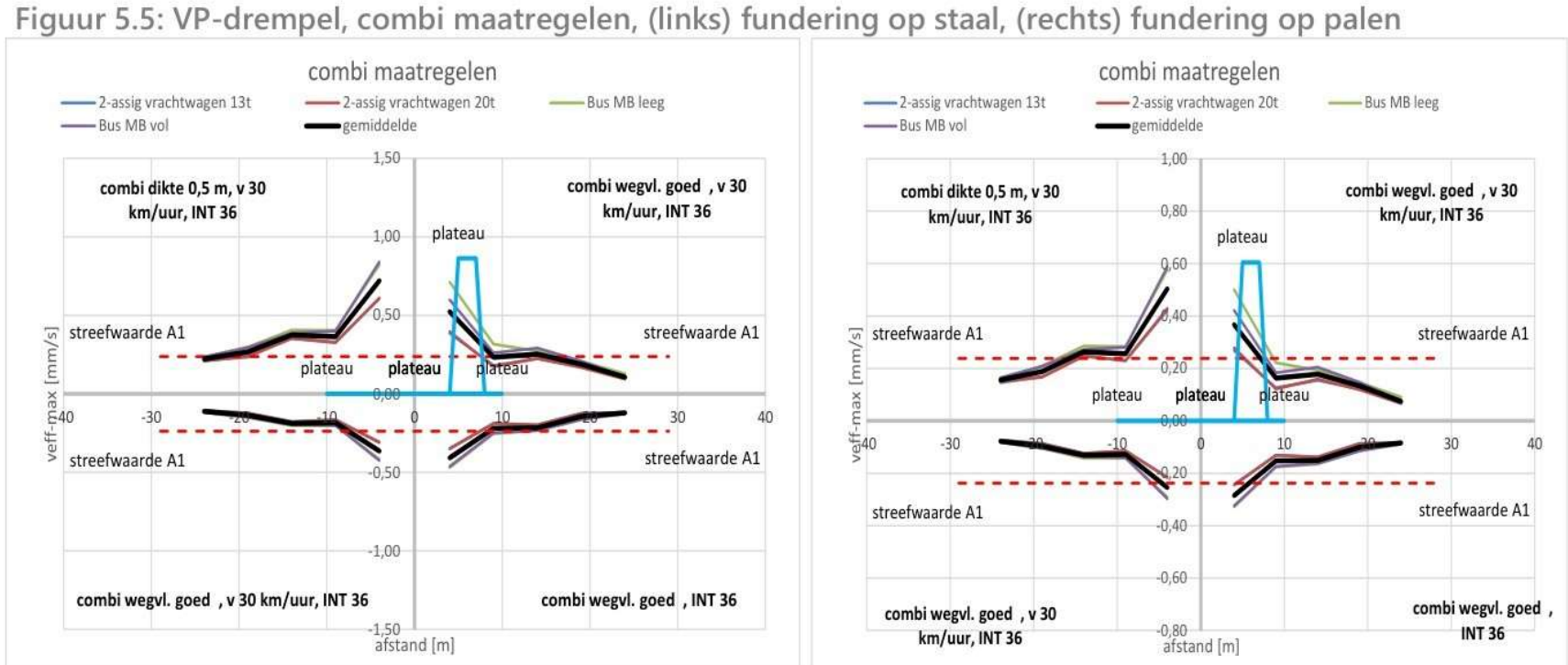
In onderstaande figuren is voor een “nieuwe situatie” het berekeningsresultaat grafisch weergegeven (SBR B). Voor SBR A zijn vergelijkbare grafische weergaven te leveren, aangezien deze onderling sterk vergelijkbaar zijn, zijn deze niet opgenomen.



Figuur 5.4: VP-drempel, ijking en klinkers, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.5: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen



Figuur 5.6: VP-drempel, combi maatregelen, (links) fundering op staal, (rechts) fundering op palen

Invloedsgebied

Gegeven de grenswaarde voor schade (SBR A) c.q. de streefwaarde A1 (SBR B) is uit de voorstaande figuren een invloedsgebied te bepalen. Binnen deze zone mag verwacht worden dat overlast kan optreden (hoeft niet). In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen.

Tabel 5.4: Invloedsgebied SBR B

Maatregel [1]	[2]	Fundering op staal		Fundering op palen	
		SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen	SBR A Cat 2 NBG	SBR B Wonen
		[m]	[m]	[m]	[m]
IJking	5.3 RB	<3	7,5	<3	5
A	5.3 LB	<3	22,5	<3	7,5
B	5.4 RO	<3	25,0	<3	15,0
C	**5.4 LO**	**<3**	**22,5**	**<3**	**17,5**
D	5.4 RB	<3	17,5	<3	12,5
E	5.4 LB	<3	25,0	<3	20,0
F	5.5 RO	<3	12,5	<3	5,0
G	5.5 LO	<3	7,5	<3	5,0
H	5.5 RB	<3	12,5	<3	7,5
I	5.5 LB	<3	17,5	<3	15,0

1) A = klinkers, v = 40 km/uur, 2 voertuigen per uur
B = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
C = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
D = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
E = klinkers, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
F = asfalt, v = 40 km/uur, 3 voertuigen per uur
G = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur
H = asfalt, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, drempel
I = klinkers, v = 30 km/uur, 3 voertuigen per uur, wegfundering

2) Voorstaande figuren, RB = rechtsboven, LB = links boven, RO = rechts onder, LO = links onder

De **vetgedrukte** waarden gelden voor de toekomstige situatie na openstellen van de bussluis.

5.5 Invloed trillingen voormalige mijnbouwwinning

De De Wendelstraat ligt in het gebied van voormalige mijnbouwwinning. Steenkoolwinning uit het Carboon geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m. Tijdens de winning zijn maaiveldzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stopzetten van het mijnwater treden (ongelijkmatige) bodembewegingen in het Carboon op. Het stijgende mijnwater kan oude effecten reactiveren.

Grondbewegingen door trillingen veroorzaakt door passerend verkeer zijn oppervlakkig. In deze is de oppervlakte Rayleighgolf maatgevend. Doorgaans reiken deze golven tot een diepte van circa 10 tot 15 m (afhankelijk van de grondgelaagdheid), waarbij tot een diepte van circa 5 tot 10 m een mogelijk effect kan optreden.

Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is, heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de diepere grondgelaagdheid. Als gevolg van verschuiven/deformeren van grond kan de (uniforme) grondstijfheid veranderen met als gevolg dat looptijden van trillingsgolven veranderen (trillingen). De verwachting is niet dat mogelijke na-ijl effecten enige invloed zal hebben op de (ondiepe) invloedssfeer van de trillingen door verkeer.

6. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Gemeente Landgraaf heeft Fugro NL Land een trillingenonderzoek in de De Wendelstraat te Landgraaf uitgevoerd. De gemeente is voornemens de bussluis ter hoogte van de De Wendelstraat kruising Kerkraderweg te verwijderen en de doorgang vrij te geven voor doorgaand verkeer.

Het uiteindelijke doel is invulling geven op de vraag *Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers*? *Dit mede in relatie tot aanwezige mijndrempels*
Het onderzoek heeft bestaan uit de uitvoering van trillingsmetingen en het analyseren van de meetdata om vervolgens het (trillingen) effect als gevolg van het verwijderen van de bussluis te achterhalen (vertaalslag). De analyses zijn uitgevoerd met behulp van het door TNO ontwikkelde programma VP-drempel.

De (onbemande) trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 19 t/m 26 mei 2025.

Wegomstandigheden
Momenteel is De Wendelstraat geasfalteerd en geldt een maximale rijsnelheid van 30 km/uur (geldt ook in de toekomst). Na openstellen van de bussluis is een klinkerbestrating gepland.

Toetsingskader.
De oudere woningen aan de De Wendelstraat gebouwd in een periode van 1930 tot 1940, gelegen aan de Westzijde van de De Wendelstraat zijn gefundeerd op staal (verwachting). De woningen aan de Oostzijde van de De Wendelstraat dateren van 1955 – 1960 en zouden op palen gefundeerd kunnen zijn (verwachting), mede gezien de grondslag. Alle woningen zijn opgetrokken uit metselwerk (in goede staat).

Conform SBR A is een gebouwindeling categorie 2 Niet Bouwkundig Gevoelig van toepassing. Bij een fundering op palen geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”). Bij een fundering op staal geldt een grenswaarde van 3,9 mm/s (frequentie 10 Hz, “indicatieve meting”).

Conform SBR B is sprake zijn van een “bestaande situatie” (zowel ontvanger, de woning, als de bron, verkeer, zijn aanwezig). In de toekomst na openstelling van de bussluis is de situatie niet anders. Ondanks voorstaande wordt toch een “nieuwe situatie” aangehouden (conservatieve benadering). De functie wonen is van toepassing. Beoordelingen gelden voor de gehele dag (dag-, avond- en nachtperiode). Streefwaarde A1 = 0,1, A2 = 0,4 en A3 = 0,05 zijn in de dag- en avondperiode van toepassing. In de nachtperiode zijn A1 en A3 ongewijzigd en is A2 = 0,2. De waarden zijn dimensieloos. In een “bestaande” situatie liggen de waarden 2x zo hoog.

Opgemerkt wordt dat bij beoordeling van de meetwaarden een “bestaande” situatie is aangehouden, bij de vertaalslag is de conservatieve “nieuwe” situatie aangehouden.

Verkeerstellingen
Tijdens een tweetal perioden (17 t/m 30 maart 2023 en 23 juni t/m 6 juli 2023) zijn verkeerstellingen in de De Wendelstraat uitgevoerd. Een periode met en een periode zonder open bussluis. Samengevat is geconcludeerd:
- Een toename van circa 40% rijdende door De Wendelstraat is te verwachten;
- De rijsnelheid bedraagt circa 40 km/uur (ondanks dat een maximale snelheid van 30 km/uur van toepassing is);
- Geen opbouw van het verkeer is gerapporteerd (aantallen versus lengte voertuig).
- Geen onderscheid in voertuigtype versus tijd zijn gerapporteerd.

Meetresultaten
De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. In figuren zijn de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is voor de 2 woningen een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting meetwaarden (alle type voertuigen)

Meetpunt	Omschrijving locatie	Locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 4 MP 3	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0400 VIBe0147	0,18 – 0,22 (0,26 – 0,45) 0,08 – 0,24 (0,35 – 0,46)
MP 2 MP 1	De Wendelstraat [redacted]	gevel vloer	VIBe0492 VIBe0696	0,13 – 0,21 (0,25 – 0,35) 0,12 – 0,16 (0,21 – 0,28

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters

In de meetperiode heeft een vrachtauto de meetopstelling een aantal maal gepasseerd. Deze meetwaarden zijn vergelijkbaar met in voorstaande tabel genoemde meetwaarden.

6.2 Conclusies

Beoordeling meetwaarden
De meetwaarden aan de gevel overschrijden de grenswaarde conform SBR A niet. Daarmee is het risico op schade aanvaardbaar klein. De meetwaarden op de vloer overschrijden streefwaarde A1 (ondergrens) geregeld. Omdat streefwaarde A2 (bovengrens) niet wordt overschreden, is de (mogelijke) hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Het aantal hogere meetwaarden waarden ($v_{eff.max)}$) is dusdanig laag dat zelfs met een intensiteit van 2 voertuigen per uur streefwaarde A3 niet wordt overschreden. Ook niet na openstelling met een intensiteit van 3 voertuigen per uur. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving niet aannemelijk is. Qua perceptie: de waarden op de vloer zijn (net) voelbaar.

Vertaalslag De Wendelstraat (situatie na openstellen bussluis)
De meetresultaten van aan de gevel en op de vloer zijn gebruikt ter IJking van het prognosemodel VP-drempel. De analyses (prognoses) zijn met name uitgevoerd voor zwaar

verkeer en niet voor personenauto's. Dit, omdat de (prognose) amplitudes van de trillingen veroorzaakt door zwaar verkeer vergelijkbare waarden leveren als die gemeten zijn (en veroorzaakt zijn door personenauto's). De prognose waarden voor personenauto's liggen vele malen lager. Om de situatie na openstelling van de bussluis inzichtelijk te maken zijn de volgende "aanpassingen" gedaan:

- Een "nieuwe situatie" wordt aangehouden (SBR B), in werkelijkheid is eerder een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie van toepassing;
- De bestrating is momenteel asfalt en zal in de toekomst klinkers worden;
- Ondanks dat een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt, is de rijsnelheid momenteel 40 km/uur. Deze wordt teruggebracht naar 30 km/uur (herinrichting weg);
- Aantal (zware) voertuigen van 2 per uur (aanname) naar 3 per uur;
- (optioneel) aanbrengen van een 30 km/uur zone drempel om de rijsnelheid terug te dwingen.

Opgemerkt wordt dat het (aangenomen) aantal passage per uur niet direct invloed heeft op de amplitude (deze treedt al op bij 1 enkele passage), maar wel op de gewogen periodieke waarde (v_{per}). In werkelijkheid rijdt een vuilnisauto circa 6 maal per maand door de straat.

Invloedsgebied (SBR A)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 3 m de grenswaarde aan de draagconstructie wordt overschreden (geldt voor zowel een fundering op palen als een fundering op staal). Aangezien de afstand van de woningen op circa 5 m (of groter) is, is het risico op schade aanvaardbaar klein. Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Opgemerkt wordt dat het aantal passages per uur van verkeer geen invloed heeft op de amplitude van de trilling (een enkele passage geeft al de amplitude), het heeft wel invloed op mogelijke beleving van de trilling.

Invloedsgebied (SBR B)
In een toekomstige situatie met een klinkerbestrating zonder verkeersdrempels en een intensiteit van 3 voertuigen per uur, waarbij deze 30 km/uur rijdt, is de verwachting dat binnen een afstand van circa 17,5 m tot 22,5 m de streefwaarde A1 voor een "nieuwe situatie" op de vloer wordt overschreden (conservatieve benadering). Genoemde afstanden zijn gerekend vanaf de as van de weg.

Omdat wel streefwaarde A1 maar niet streefwaarde A2 wordt overschreden, is de hindebeleving conform SBR B afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (lees aantal passages voertuig). Bij een aantal van 3 voertuigen per uur wordt streefwaarde A3 niet overschreden, waardoor hinderbeleving niet aannemelijk is.

Aangezien een groot deel van de woningen binnen de genoemde afstanden staan voor een "nieuwe situatie", kan niet worden uitgesloten dat qua perceptie de (sporadisch) optredende trillingen voelbaar zijn (verwachting).

Beschouwing bestaande/gewijzigde situatie in plaats van nieuwe situatie
In de analyses is een conservatieve benadering van een "nieuwe situatie" aangehouden (of de trillingsbron of de ontvanger is (nog) niet aanwezig). In werkelijkheid zijn zowel de trillingsbron (het verkeer) en de ontvanger (de woning) aanwezig en is eerder sprake van een "bestaande" dan wel "gewijzigde situatie". Bij beschouwing van een "bestaande" dan wel "gewijzigde" situatie, zijn de streefwaarden 2x zo hoog in vergelijking met een "nieuwe situatie" en is de verwachting dat het invloedsgebied circa 7,5 tot 12,5 m zal zijn. In dat geval staat het merendeel van de woningen buiten het invloedsgebied en zal geen sprake zijn van hinderbeleving of voelbare trillingen.

Eindconclusie trillingen (in antwoord op de vraag "Kan de bussluis open en kan de bestrating vervangen worden door klinkers")

1. In de huidige situatie met een "gesloten" bussluis (en asfaltbestrating) is geen sprake van een risico op schade (conform SBR A) en is geen sprake van hinderbeleving (conform SBR B);
2. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **zonder** dat een **klinkerbestrating** wordt toegepast is de situatie niet anders zijn;
3. In een toekomstige situatie na openstellen van de bussluis **tezamen** met een **klinkerbestrating**, wordt een toename van trillingen verwacht. Deze toename is dusdanig laag dat geen risico op schade dan wel hinderbeleving te verwachten is (beschouwing SBR B "bestaande/gewijzigde situatie").

Na-ijl effect voormalige kolenwinning
Kolenwinning geschiedde op een diepte van circa 100 m tot 140 m diepte (Carboon). Tijdens de winning zijn aan maaiveld verzakkingen ontstaan (zogenaamde drempels), zo ook in de De Wendelstraat. Als gevolg van het stop zetten van mijnwater onttrekking kunnen na-ijleffecten optreden. Omdat de reikwijdte van de trillingen (ook bij toename van het verkeer) beperkt is (diepte tot circa 10 tot 15 m), heeft dit geen invloed op mogelijke na-ijl effecten van de voormalige kolenwinning. Omgekeerd, een mogelijk na-ijl effect vanuit de voormalige kolenwinning kan effect hebben op de grondgelaagdheid (stijfheidsverandering). Als gevolg hiervan, veranderen looptijden van trillingsgolven (trillingen).

6.3 Aanbevelingen

Bij een mogelijke openstelling van de bussluis is een toename van circa 40% van verkeer rijdend over de De Wendelstraat te verwachten. Zonder verkeersremmende maatregelen is tevens de verwachting dat de rijsnelheid circa 40 km/uur zal zijn (een maximale rijsnelheid van 30 km/uur geldt voor de De Wendelstraat). Als gevolg van de toename van het verkeer (personenauto's) tezamen met de toepassing van een klinkerbestrating, zal de beleving van trillingen bij bewoners toenemen (zeker als het verkeer 40 km/uur rijdt en een (conservatieve) "nieuwe situatie" conform SBR B wordt aangehouden). Voor de De Wendelstraat is, conform SBR B, eerder sprake van een "bestaande situatie" waarbij na openstellen van de bussluis sprake is van een "gewijzigde situatie".

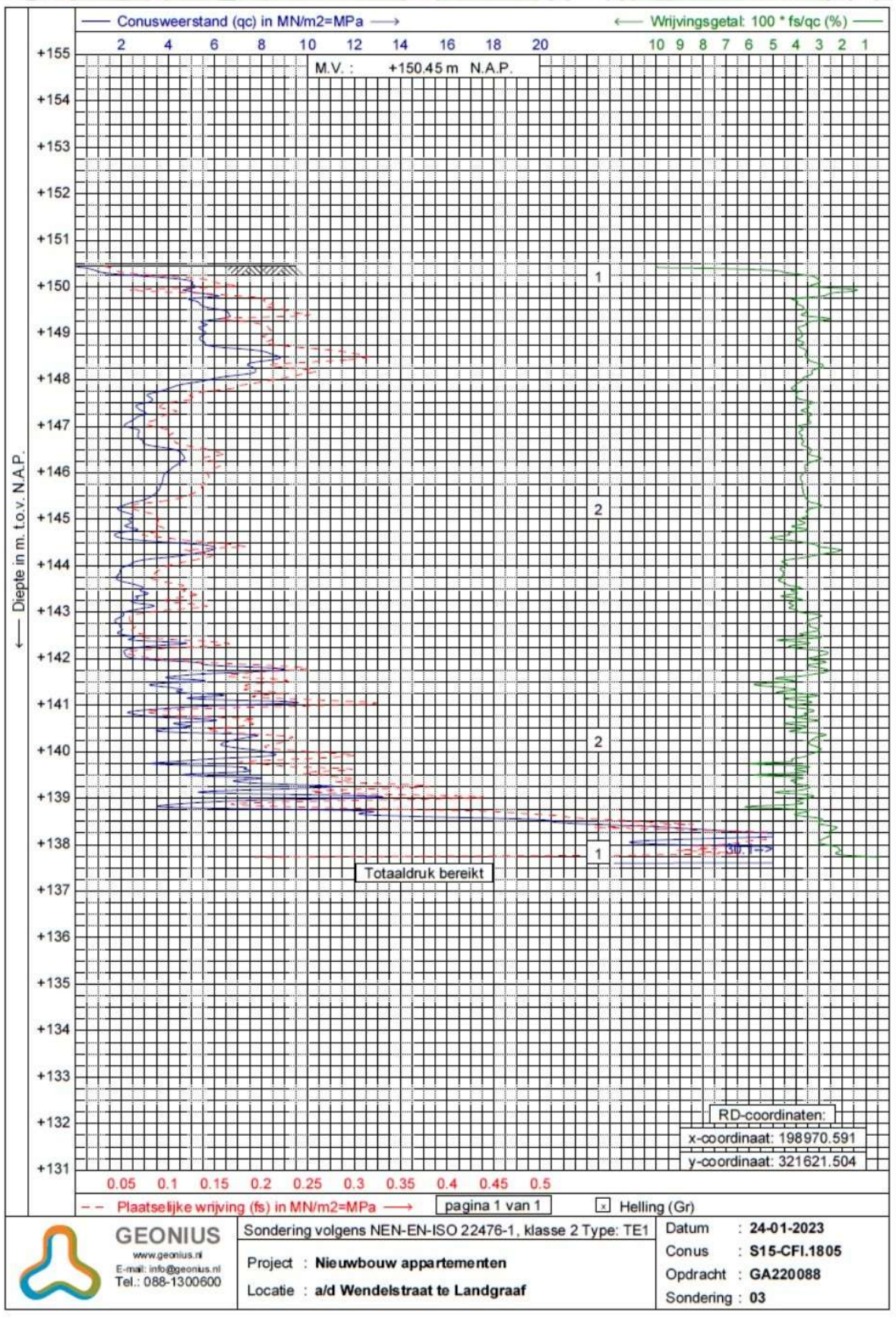
De belendingen staan aan de Westzijde momenteel circa 5 tot 7 m uit de as van de weg (afhankelijk van de aanwezige parkeerstrook) en aan de Oostzijde op circa 10 tot 15 m. Zonder extra verkeersremmende (en trillingsreducerende) maatregelen kunnen de trillingen bij een klinkerbestrating voelbaar zijn. De rijsnelheid is in deze een zeer belangrijke aanstootfactor, belangrijker dan de aanstoot door klinkers. Op moment dat de rijsnelheid laag is, is de verwachting dat de trillingen marginaal voelbaar zijn. Het advies is om rijsnelheid remmende maatregelen toe te passen.

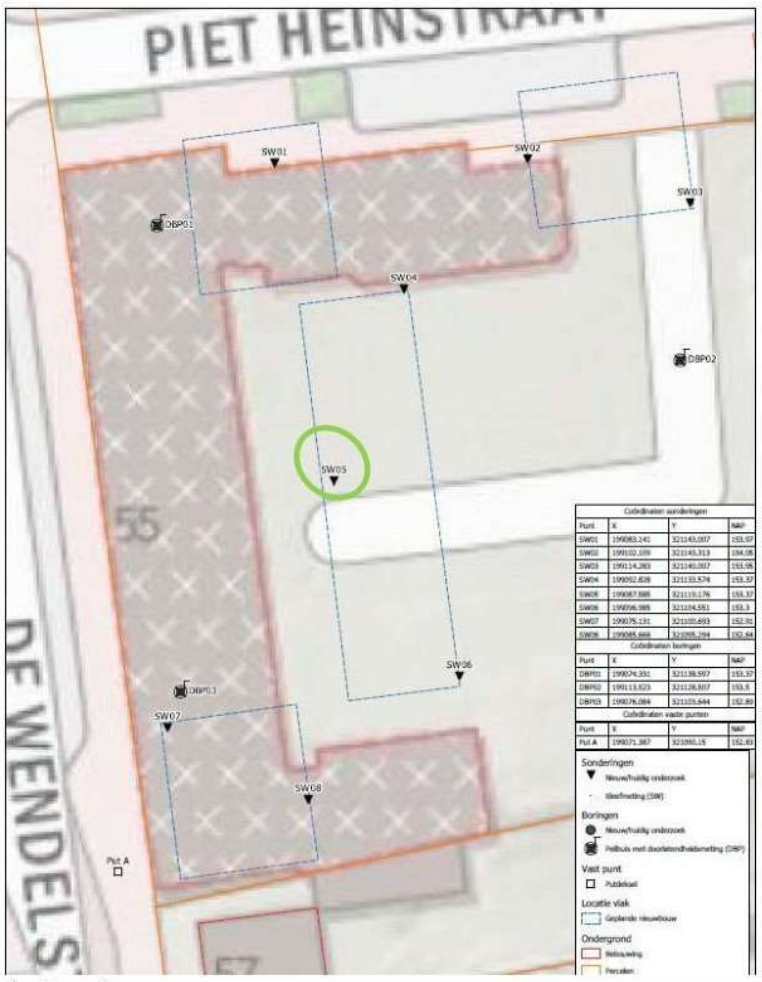
Gezien voorstaande wordt bij een herinrichting van de weg geadviseerd:

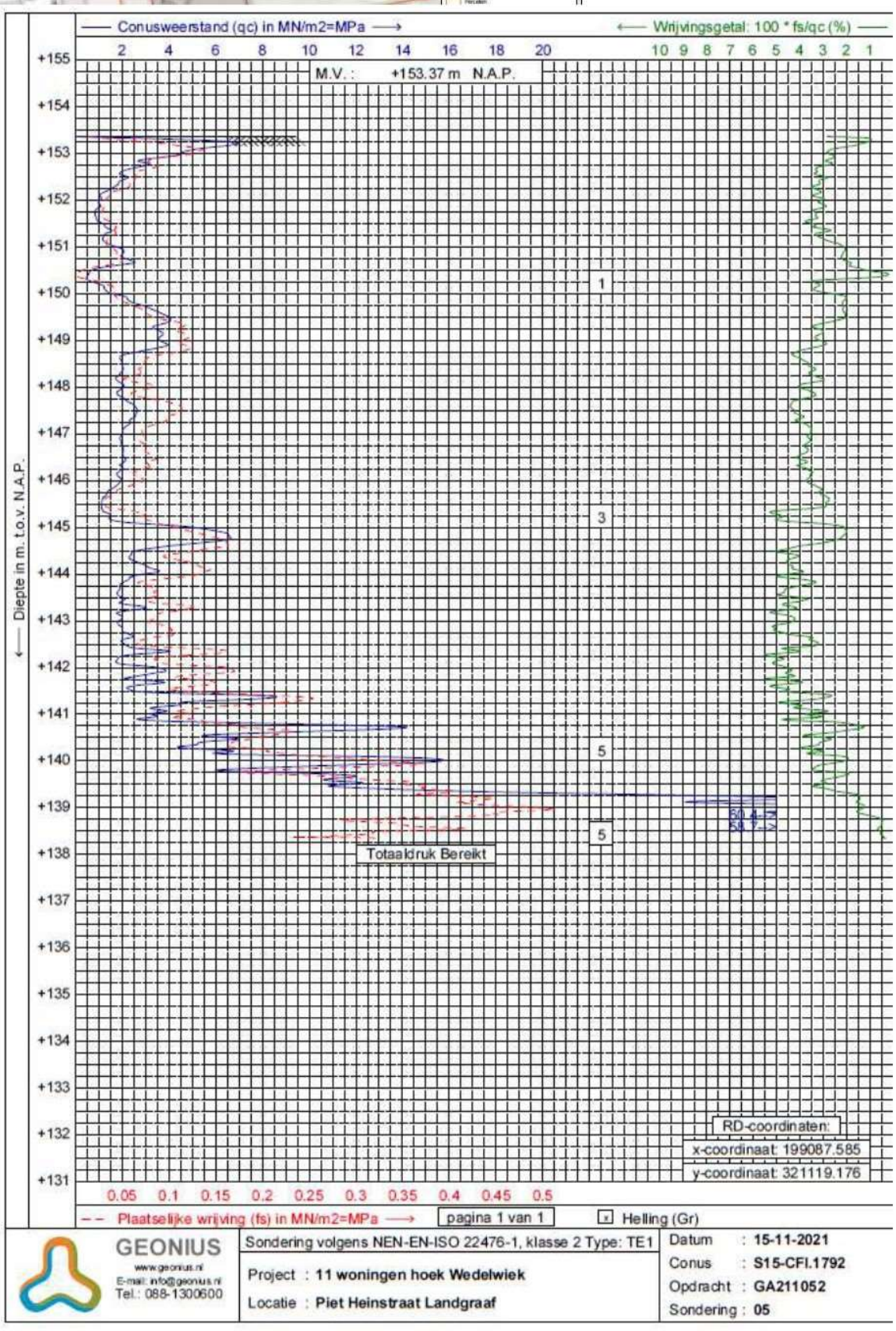
- De afstand van de weg tot de belendingen maximaal te kiezen;
- Bij voorkeur aan de Westzijde van de weg parkeervakken maken;
- Toepassen van (plaatselijke) versmallingen;
- De klinkers machinaal (laten) plaatsen. Bij handmatig plaatsen van de klinkers is er risico dat de klinkers hoogteverschillen krijgen waardoor de aanstoot groter is;
- De klinkerbestrating “opsluiten”, Dit is toepassen van een geogrid in de wegfundering, waardoor de klinkerbestrating strak blijft liggen en niet uitzakt naar de kant van de weg;
- (Optioneel) Toepassen van een 30 km/uur zone drempel (CROW) waarbij deze aan weerszijde voorzien wordt van een trillingenscherm (of van Polystyreen of van Trillingen Absorberend Schuimbeton (TAS)).
- (Optioneel) Bij toepassen van de 30 km/uur zone drempel deze niet haaks maar onder een hoek met de as van de weg aanbrengen en op korte afstand tot elkaar. Hierdoor zal passerend verkeer met de linker- en rechterkant van de voor- en achter-as achtereenvolgens worden gelift, in plaats van tegelijk. Hierdoor kan het verkeer geen snelheid maken.

Bijlagen

A. Representatieve sonderingen




PIET HEINSTRAAT
DE WENDELS
55
SW01
SW02
SW03
SW04
SW05
SW06
SW07
SW08
DBP01
DBP02
DBP03
Put A
Coördinaten sonderingen
Coördinaten boringen
Coördinaten vaste punten
Sonderingen
Boringen
Vast punt
Locatie vlak
Ondergrond


Conusweerstand (qc) in MN/m2=MPa
Wrijvingsgetal: 100 * fs/qc (%)
M.V.: +153.37 m N.A.P.
Diepte in m. t.o.v. N.A.P.
Totaaldruk Bereikt
RD-coordinaten:
x-coordinaat: 199087.585
y-coordinaat: 321119.176
Plaatselijke wrijving (fs) in MN/m2=MPa
pagina 1 van 1
Helling (Gr)
GEONIUS
www.geonius.nl
E-mail: info@geonius.nl
Tel.: 088-1300600
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : 11 woningen hoek Wedelwiek
Locatie : Piet Heinstraat Landgraaf
Datum : 15-11-2021
Conus : S15-CFI.1792
Opdracht : GA211052
Sondering : 05

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding
In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk:

- richtlijn A 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:

- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A
De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)
In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- **categorie 1:** in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- **categorie 2**: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

Funderingswijze
SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.
Rekenwaarde van de grenswaarde
De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s * \gamma_m}$$

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig WEL gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de versnelling van 1 m/s2 in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van cosmetische schade die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:

- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron

Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie

SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:

- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 "*Damwandconstructies*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff.max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden bestaande of nieuwe situatie, continue trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.

Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.