

RAPPORT

The BlueZone Offices, Rotterdam

FEM analyse van trillingshinder
door passerend treinverkeer

Versie: 2.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 13-12-2024

Kenmerk: D79-ANI-HS-RAP-
24007783

Autorisatieblad

The BlueZone Offices

FEM analyse van trillingshinder door passerend treinverkeer

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door		√	13-12-2024
Gecontroleerd door		√	13-12-2024
Vrijgegeven door		√	13-12-2024

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	The BlueZone Offices, Rotterdam	12-12-2024	Vrijgegeven versie
2.0	The BlueZone Offices, Rotterdam	13-12-2024	Datum aangepast

Samenvatting

In opdracht van De Vries-Verburg voert Movares onderzoek uit naar de verwachte trillingshinder in de geplande BlueZone Offices op de locatie Schiekadeblok in Rotterdam. Movares heeft eerder metingen en berekeningen uitgevoerd op de planlocatie, waaruit bleek dat de verwachte trillingen boven de streefwaarden van de SBR B richtlijn lagen. In dit onderzoek worden eindige elementen berekeningen gebruikt om een preciezere voorspelling te doen van de te verwachten trillingshinder, waarbij ook maatregelen worden meegenomen in de berekeningen. De eerste versies van de modellen bevatten een damwand en een onderwaterbetonvloer om de trillingen te verminderen. Doordat een deel van de funderingspoeren en palen buiten de damwand liggen, zijn de voorspelde trillingen in het gebouw nog steeds te hoog.

Met aanvullende maatregelen kunnen de trillingen wel voldoen aan de SBR-B streefwaarden. Door het doortrekken van de onderwaterbetonvloer naar de voorste fundering, en de damwand voor alle funderingen te plaatsen, worden de trillingen voldoende verminderd en geven de resultaten van het model geen overschrijdingen van de SBR B streefwaarden voor nieuwe situaties.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Doel	5
1.2	Aanpak	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Situatiebeschrijving en uitgangspunten	7
2.1	Uitgangspunten	7
2.2	Omgeving	7
2.3	Meetlocatie	8
2.4	Geplande bebouwing	8
2.5	Trillingsbronnen	8
3	Beoordelingskader	9
3.1	Algemeen	9
3.2	Grootheden	9
3.3	Streefwaarden	9
3.3.1	Nieuwe of bestaande situatie	10
3.3.2	Periode gedurende de dag	10
3.3.3	Gebouwfunctie	10
3.4	Beoordeling in huidige onderzoek	11
4	Meetresultaten	12
5	Analyse en berekeningen	16
5.1	Prognosemethode	16
5.2	Bepaling overdrachtsfuncties	17
5.2.1	Modelbeschrijving	17
5.2.2	Belasting en randvoorwaarden	18
5.2.3	Resultaten overdrachtsfuncties	18
5.3	Resultaten prognosemethode	19
5.4	Aanvullende berekeningen	20
5.4.1	Isolatielaag om voorste poeren	20
5.4.2	Loskoppelen voorste poeren	22
5.4.3	Damwand verplaatsen en onderwaterbetonvloer uitbreiden	22
6	Conclusie	24
	Bijlage 1 Materiaalgegevens	25
	Bijlage 2 Resultaten overdrachtsfuncties	26
	Colofon	31

1 Inleiding

In Rotterdam ontwikkelt Schiestraat Ontwikkeling B.V. The Bluezone Offices op de locatie Schiekadeblok in Rotterdam. Het betreft een kantoorgebouw met verschillende bouwhoogten tot maximaal ca. 60 meter. De locatie ligt vlak bij station Rotterdam Centraal, en op minder dan 15 meter afstand van het spoor. Hinder van trillingen is dan niet uit te sluiten. In het bestemmingsplan voor Schiekadeblok staat beschreven dat alleen een omgevingsvergunning kan worden verleend wanneer er is aangetoond dat wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR richtlijn deel B met betrekking tot het aspect trillingshinder. Om dit te onderzoeken is door Movares een trillingsonderzoek uitgevoerd (zie uitgangspunt [1] in Hoofdstuk 2.1). Dit bestond uit trillingsmetingen ter plaatse van het plangebied, waarna de meetresultaten met een empirisch prognosemodel werden omgezet in verwachte trillingshinder in de geplande bebouwing. Hier uit kwam dat er aanzienlijke overschrijdingen van de streefwaarden waren. Dit vond vooral plaats ter hoogte van een wissel in het spoor naast het plangebied. Om dit te mitigeren zijn verschillende maatregelen genomen; er wordt een damwand geplaatst, eventueel met rubberen isolatielaag, en er komt een onderwaterbeton vloer. In dit aanvullende onderzoek wordt het effect van deze maatregelen onderzocht met een verbeterde prognose, waarvoor een eindige elementen rekenmethode wordt gebruikt.

1.1 Doel

Het onderzoek heeft tot doel om de volgende vragen te beantwoorden:

- Zijn de beoogde damwand en laag onderwaterbeton voldoende om de trillingshinder te beperken?
- Is er een extra isolatielaag nodig achter de damwand?
- Welke aanpassingen zijn mogelijk nodig om trillingshinder verder te beperken?

1.2 Aanpak

De aanpak van het eerdere trillingsonderzoek is in dat rapport ([1]) te vinden. Voor dit aanvullend onderzoek hanteren we de volgende aanpak. We stellen modellen op van de doorsnede van het gebouw ter hoogte van de wissel, aangezien hier de hoogste trillingen zijn gemeten. Om het effect van de damwand en onderwaterbetonvloer te bepalen stellen we drie modellen op.

- In het eerste model plaatsen we een damwand en een onderwaterbetonvloer.
- In het tweede model voegen we een rubberen isolatielaag achter de damwand toe.
- Het derde model is het maaiveldmodel, hier modelleren we geen gebouw of maatregel maar enkel de grondlagen en het spoortalud.

Het derde model fungeert als referentiemodel. Door de modellen met en zonder gebouw te vergelijken kunnen we de overdrachtsfuncties van trillingen van maaiveld naar de gebouwfundering bepalen.

Daarna hanteren we de volgende stappen:

- Bepaling van overdrachtsfuncties van trillingen van maaiveld naar fundering.
- Met de trillingsmetingen en nieuwe overdrachtsfuncties een nieuwe prognose maken van trillingshinder in de bebouwing.
- Als de prognose nog steeds te hoog uitvalt, doen we mogelijk aanvullende berekeningen om een maatregel te vinden waarmee wel wordt voldaan aan de streefwaarden.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de situatiebeschrijving en uitgangspunten beschreven, waaronder de planlocatie, verwachte trillingsbronnen en geplande bebouwing vallen. In Hoofdstuk 3 wordt het gebruikte beoordelingskader SBR B toegelicht voor deze situatie. In Hoofdstuk 4 geven we een overzicht van de resultaten van het eerder uitgevoerde meetonderzoek. Vervolgens bevat Hoofdstuk 5 de modelomschrijving en analyse van de eindige elementen modellen die in dit onderzoek zijn

opgesteld, samen met de resultaten van deze modellen. De conclusies van het onderzoek volgen in Hoofdstuk 6. De bijlagen bevatten gedetailleerde informatie over de gebruikte data in de modellen, zoals bodem- en materiaaleigenschappen.

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

2.1 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt:

- [1] Rapport "The BlueZone Offices, Rotterdam", versie 2.0, kenmerk D79-WGA-HS-RAP-24002847, datum 18-04-2024, opgesteld door Wybo Gardien
- [2] DO tekeningen TP1383 CDSR_DO DO-001 – DO-607 MVRDV, 08-03-2024
- [3] Sondering TE1, locatiecode S21, opdrachtnummer 02585.01.48, uitvoeringsdatum 5-10-2023, uitgevoerd door Geobest B.V.
- [4] Informatie onderwaterbeton en damwand verstuurd per email op 28-08-2024
- [5] Palenplan, Dossier 23050, document D.00.01.P Versie 0, datum 31-05-2024, uitgangspunt voor eerste versies modellen
- [6] Bouwkuip, Dossier 23050, document D.00.00.P Versie B in bewerking, datum raadplegen 19-11-2024 08:23:15. Uitgangspunt voor laatste versie model (doorgetrokken onderwaterbetonvloer).
- [7] Doorsneden assen 12, 13, 14, 15 van bouwkuip Dossier 23050.

2.2 Omgeving

Het plangebied bevindt zich ten zuiden en ten oosten van station Rotterdam Centraal ten zuiden van het spoor. In Figuur 2-1 is de geplande bebouwing te zien, en de meetpunten waar de trillingsmetingen in het vorige onderzoek zijn uitgevoerd.



Figuur 2-1 Onderzoeksbied met omlijning van de vier verschillende gebouwdelen.

2.3 Meetlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op de locatie van het plangebied.

De meetpunten zijn aangegeven in Figuur 2-1.

- Langeduur metingen op 2 punten om het verloop van de trillingen gedurende een week te bepalen;
- Korteduur metingen op 2 punten om de spreiding van trillingen binnen het plangebied te bepalen.

2.4 Geplande bebouwing

Het gebouw bestaat uit 4 gebouwdelen met verschillende hoogten, zie Figuur 2-1. De aangehouden eigenschappen staan in Tabel 2-2.

Tabel 2-1 Aangehouden gebouwkenmerken voor prognose

Gebouw	Afstand	Hoogte	Type vloer	Beukmaat	Meetpunt prognose
gebouwdeel 1 h=49m	14	49.4	Breedplaatvloer	7.2	5-1
gebouwdeel 2 h=61m	14	60.9	Breedplaatvloer	7.2	10-1
gebouwdeel 3 h=49m	13	49.4	Breedplaatvloer	7.2	10-1
gebouwdeel 4 h=42m	13	42.4	Breedplaatvloer	7.2	7-1

2.5 Trillingsbronnen

Rond het plangebied bevinden zich verschillende bronnen die voor trillingen kunnen zorgen.

De belangrijkste bron is het hoofdspoor (spoorlijn Rotterdam – Dordrecht), dat in gebruik is door zowel reguliere reizigerstreinen, HSL-treinen als goederentreinen. De uitgangspunten voor de treinen zijn weergegeven in Tabel 2. De trillingen van de treinen zijn vastgesteld met behulp van metingen.

Tabel 2-2 Voertuigen en intensiteiten per uur, beide richtingen samen. Tussen haakjes PHS 2030-prognose voor treinen

Type voertuig	Snelheid	Per uur, overdag 7:00 – 19:00	Per uur, 's avonds 19:00 – 23:00	Per uur, 's nachts 23:00 – 7:00
Reizigerstreinen	50 – 80 km/h	17.5 (31.3)	19.2 (28.2)	6.3 (7.7)
Goederentreinen	50 – 80 km/h	0.7 (2.2)	0.7 (2.4)	0.7 (1.5)

Andere mogelijke bronnen van trillingen zijn tramverkeer en wegverkeer. Uit de trillingsmetingen bleek echter dat de relevante trillingen in het plangebied afkomstig waren van treinverkeer.

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd.

Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor is schade in nieuwbouw als gevolg van passerende treinen onwaarschijnlijk. Er is daarom niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

3.2 Grootheden

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. Trillingssterkte V_{max} .
Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden, zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de $V_{eff, max}$. V_{max} is de hoogste $V_{eff, max}$ in de meetperiode van een week. Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. Trillingssterkte over de beoordelingsperiode V_{per} .
Een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden over de beoordelingsperiode (dag, avond, nacht). Trillingsnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van V_{per} . Zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

3.3 Streefwaarden

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
3. A3, de streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode V_{per} .

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;
3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

3.3.1 Nieuwe of bestaande situatie

Voor dit gebied is het bestemmingsplan Schiekadeblok, artikel 8.4.a van toepassing. Hierin staat dat een omgevingsvergunning voor het bouwen van gebouwen alleen kan worden verleend wanneer er is aangetoond dat wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR richtlijn deel B met betrekking tot het aspect trillingshinder.

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Bij dit onderzoek gaat het alleen om nieuwe gebouwen, en dan is er volgens de SBR-B richtlijn sprake van een nieuwe situatie.

In sommige gevallen is het vermijden van overschrijdingen van de streefwaarden voor nieuwe situaties niet realistisch. Sommige gemeenten hanteren daarom een voorwaardelijke bepaling in het bestemmingsplan. In die voorwaardelijke bepaling voldoet het gebouw ook als de trillingen niet hoger zijn dan de streefwaarden voor bestaande situaties, onder de voorwaarde dat alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen om de trillingssterkte te verminderen worden getroffen. Hoewel er in het bestemmingsplan niet een dergelijke bepaling staat, toetsten we naast de streefwaarde voor nieuwe situaties ten behoeve van de maatregelafweging ook aan de streefwaarde voor bestaande situaties.

3.3.2 Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk. Voor kantoorgebouwen is er echter geen onderscheid tussen de dag- avond en nachtperiode.

3.3.3 Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties *Gezondheidszorg*, *Wonen*, *Kantoor*, *Bijeenkomsten* en *Kritische werkruimte*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 en Tabel 3-2 voor nieuwe en bestaande situaties.

In de beoordeling voor The Bluezone Offices is gekeken naar gebouwen met bestemming *kantoor* en *bijeenkomsten*, zie de omkaderde waarden in de tabellen.

Tabel 3-1 Streefwaarden bij beoordeling volgens nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1 ¹⁾	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Wonen</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Kantoor</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Bijeenkomsten</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

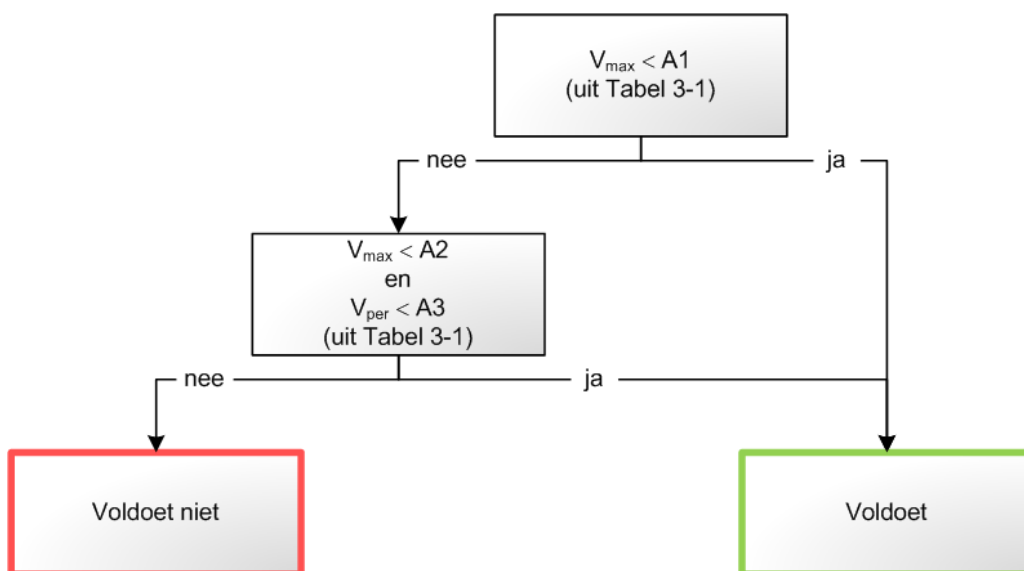
¹⁾ Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

Tabel 3-2 Streefwaarden bij beoordeling volgens bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10
Wonen	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10
Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische werkruimte	0.1	0.1	-.--	0.1	0.1	-.--

3.4 Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingssterkte over de beoordelingsperiode lager is dan A3.



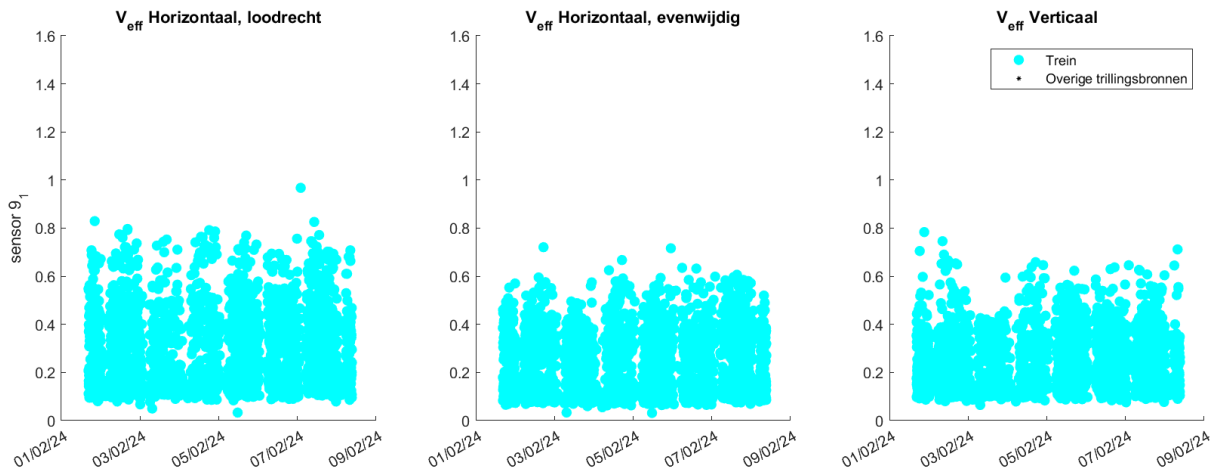
Figuur 3-1 Stroomschema beoordeling volgens nieuwe situatie in SBR B-richtlijn (bij beoordeling volgens bestaande situatie Tabel 3-2 gebruikt i.p.v. Tabel 3-1)

4 Meetresultaten

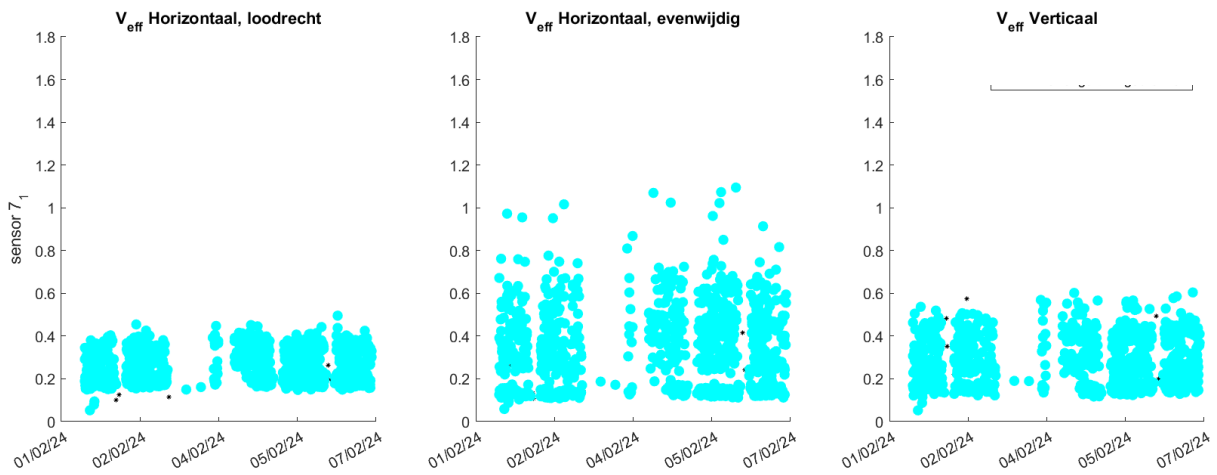
De gemeten trillingssnelheden van de treinen tijdens de langeduur metingen zijn per richting weergegeven in Figuur 4-2 en Figuur 4-1. door treinen.

De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

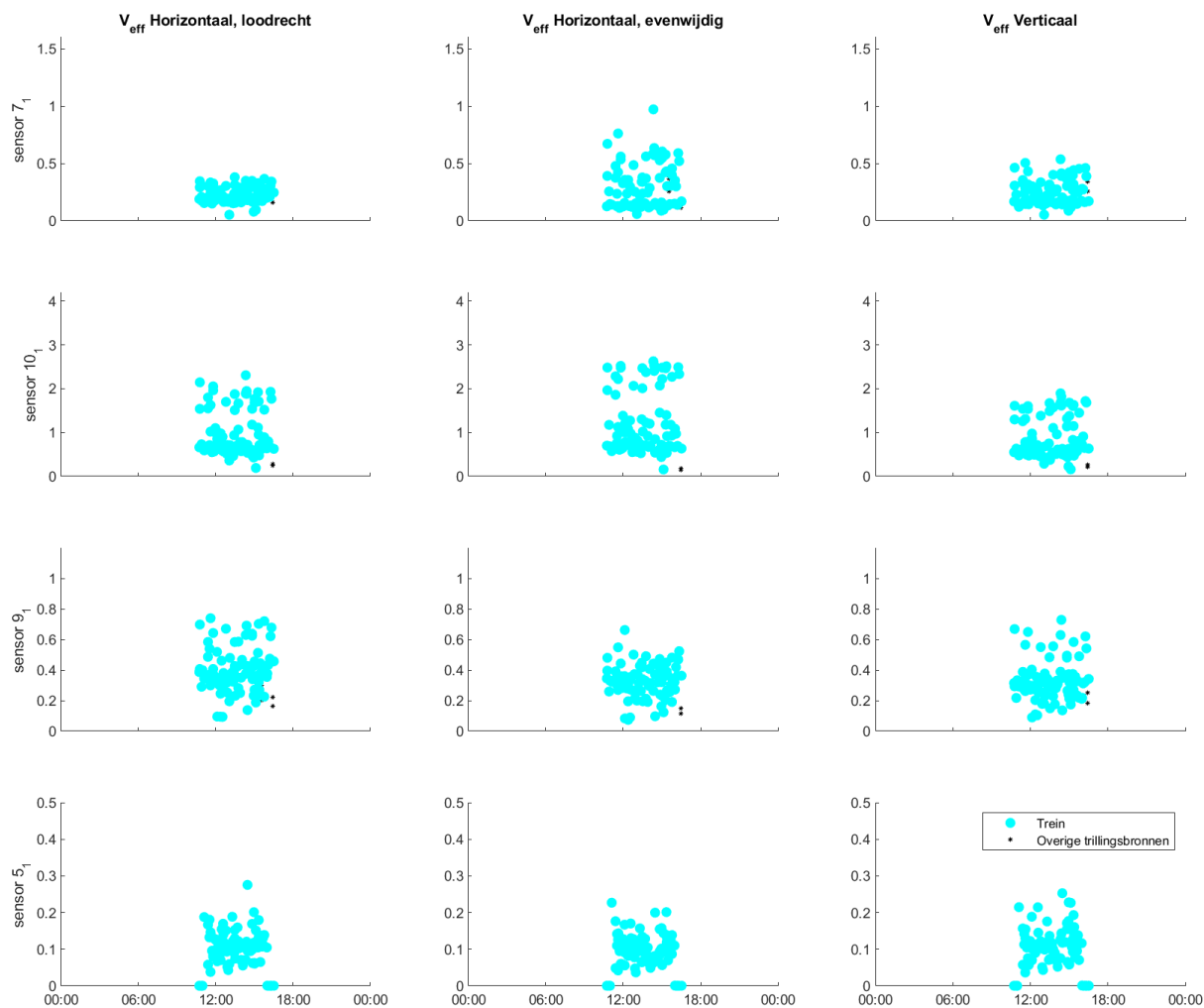
1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).



Figuur 4-1 Gemeten met langeduur meetpunt 9_1

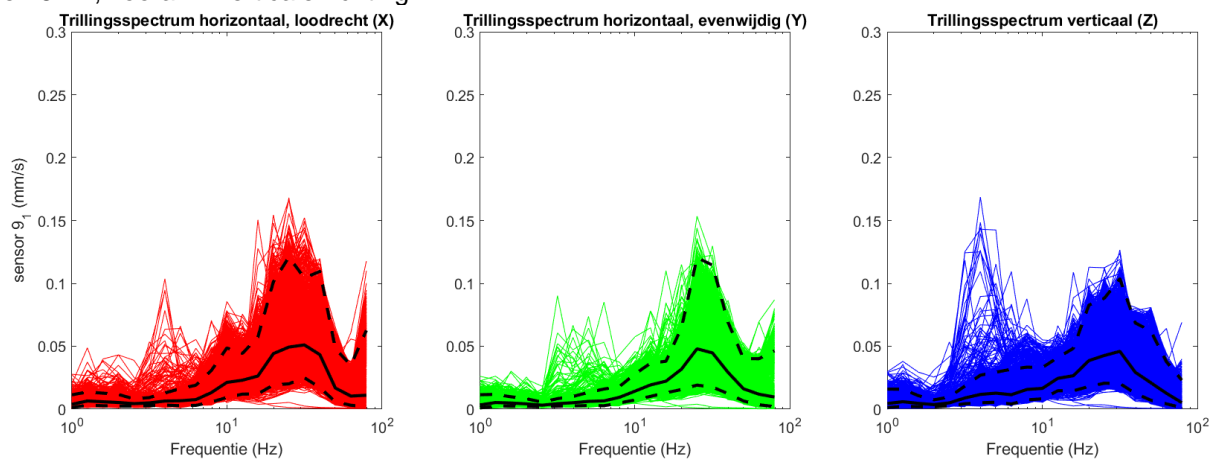


Figuur 4-2 Gemeten met langeduur meetpunt 7_1

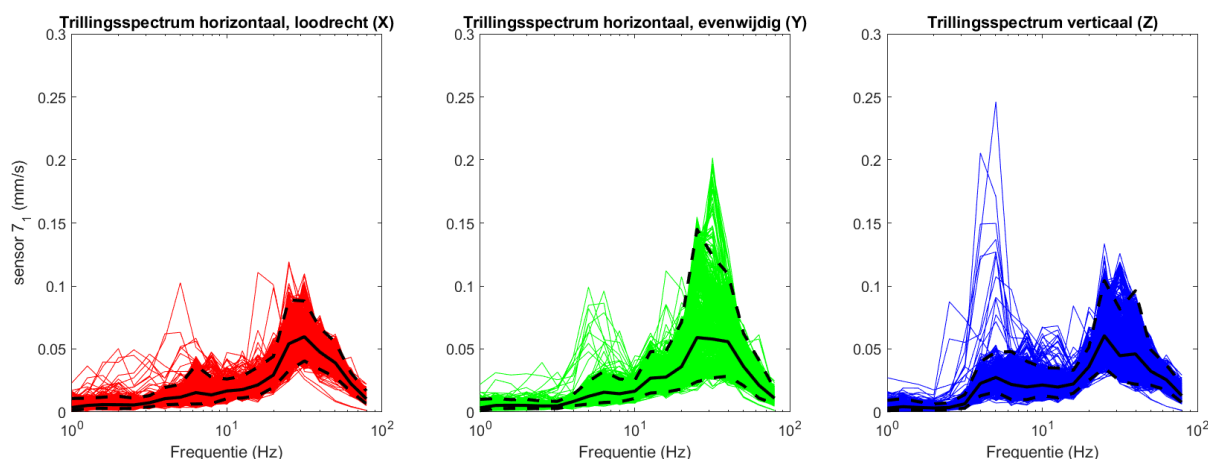


Figuur 4-3 Gemeten trillingen tijdens korteduur meting

De gemeten trillingsspectra van de langeduur meting zijn weergegeven in Figuur 4-3 en Figuur 4-4. Uit de metingen blijkt dat de trillingen van de meeste passages optreden in het frequentiegebied van circa 20-60 Hz, maar dat er ook passages zijn met een aanzienlijke laagfrequente bijdrage tussen 3 en 8 Hz, vooral in verticale richting.



Figuur 4-4 Gemeten trillingsspectra meetpunt 9_1



Figuur 4-5 Gemeten trillingspectra meetpunt 7_1

De gemeten Vmax en Vper waarden op maaiveld staan in Tabel 4-1 tot en met Tabel 4-4. Overschrijdingen van de streefwaarden voor nieuwe situaties zijn met kleur (oranje/rood) gemarkeerd. Bij de meetpunten dicht bij het spoor (9_1, 7_1 en 10_1) is op maaiveld al sprake van een Vmax overschrijding van de streefwaarde (A2=0.6) voor kantoor in nieuwe situaties. Bij meetpunt 10_1 is ook een Vmax overschrijding van de streefwaarde voor bestaande situaties (A2=0.6) en een Vper overschrijding van de streefwaarde voor nieuwe situaties (A3=0.07). Bij het verder weg gelegen meetpunt (5_1) zijn geen overschrijdingen.

Tabel 4-1 gemeten Vmax en Vper bij meetpunt 9_1 (langeduur)

	X	Y	Z
Vper, dag	0.03	0.03	0.03
Vper, avond	0.03	0.03	0.02
Vper, nacht	0.02	0.02	0.02
Vmax, gemeten	0.97	0.72	0.78

Tabel 4-2 gemeten Vmax en Vper bij meetpunt 7_1 (langeduur)

	X	Y	Z
Vper, dag	0.03	0.04	0.04
Vper, avond	0.04	0.05	0.05
Vper, nacht	0.02	0.03	0.03
Vmax, gemeten	0.5	1.09	0.6

Tabel 4-3 gemeten Vmax en Vper bij meetpunt 10_1 (korteduur)

	X	Y	Z
Vper, dag	0.12	0.14	0.1
Vper, avond	-	-	-
Vper, nacht	-	-	-
Vmax, gemeten	2.22	2.64	1.84

Tabel 4-4 gemeten Vmax en Vper bij meetpunt 5_1 (korteduur)

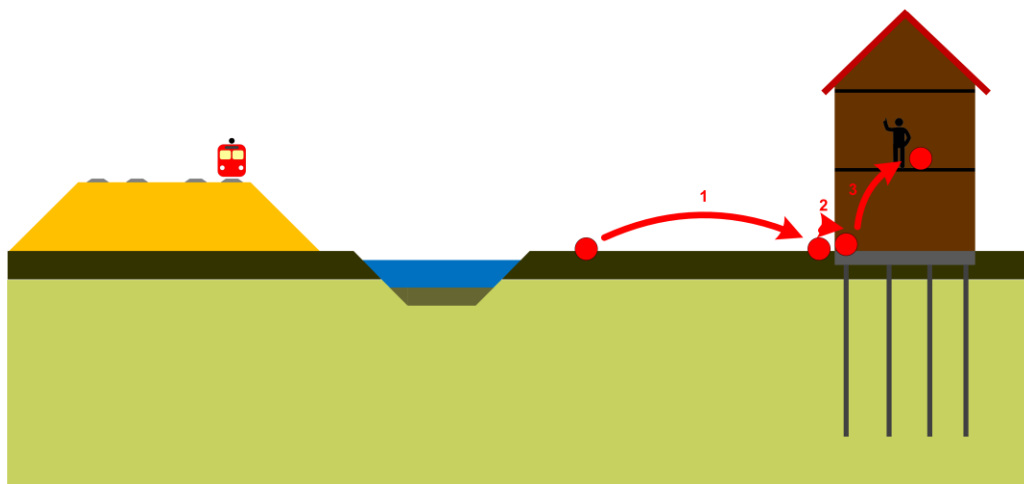
	X	Y	Z
Vper, dag	0.01	0.01	0.01
Vper, avond	-	-	-
Vper, nacht	-	-	-
Vmax, gemeten	0.28	0.23	0.25

5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

Om uit de meetresultaten een verwachting van de trillingssterktes in het gebouw op te stellen, gebruiken we een prognosemethode. Deze is vergelijkbaar met de methode die we in het eerdere trillingsonderzoek (uitgangspunt [1] in Hoofdstuk 2.1) hebben uitgevoerd. Het verschil is dat we voor de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering een verfijningsslag hebben uitgevoerd met FEM analyses.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingen van de langeduurmeting worden vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwblok, door de trillingen bij het bouwvlak uit de korteduurmeting te delen op de trillingen bij het meetpunt van de langeduurmeting uit de korteduurmeting. Deze overdracht corrigeert voor bijvoorbeeld verschillen in afstand tot het spoor (uitdemping van de trillingen met de afstand) en voor variatie in de bodem of de spoorligging.
2. De trillingen op maaiveld worden vertaald naar een meetpunt op de fundering van het bouwblok. Dit wordt gedaan door modellen op te stellen van de situatie met en zonder gebouw, en een belasting op het spoor te simuleren. De resulterende trillingssterkte in het gebouwmodel worden gedeeld door de trillingssterkte in het maaiveldmodel, wat een overdrachtsfunctie geeft.
3. De trillingen op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de vloer van het bouwblok op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie). In dit onderzoek gebeurt deze vertaling met behulp van empirisch prognosemodel.

Resultaat van deze berekening is een voorspelling van de trillingssituatie in het gebouw, waarbij elke afzonderlijke trein zoals gemeten is bij de langeduurmeting wordt vertaald naar een trillingssignaal in de woning. Over deze trillingen worden de parameters V_{max} en V_{per} bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

We geven nu eerst een toelichting over het bepalen van de overdrachtsfuncties en de FEM berekeningen die we hiervoor hebben uitgevoerd. Daarna geven we een overzicht van de resultaten van de prognose.

5.2 Bepaling overdrachtsfuncties

Zoals beschreven wordt voor de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering een eindige-elementen berekening gebruikt. We stellen hiervoor drie modellen op.

1. Het eerste model is het maaiveldmodel, waarbij we enkel de grondlagen en het talud van de spoorbaan modelleren.
2. Het tweede model bevat ook het gebouw en de funderingen. We modelleren hier ook de geplande maatregelen: de damwand en de onderwaterbetonlaag.
3. Het derde model heeft ten opzichte van het tweede model nog een extra maatregel. We voegen hier een rubberen isolatielaag toe achter de damwand.

Vervolgens belasten we het model ter plaatse van het spoor, en bekijken we de resulterende trillingen op drie plaatsen in alle modellen.

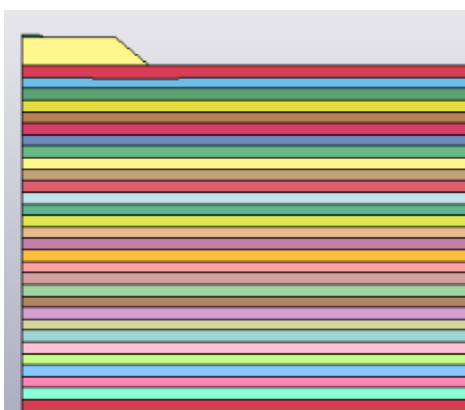
- I. De eerste plaats is aan de funderingspoer die voor de damwand komt te liggen (het dichtste bij het spoor).
- II. De tweede plaats is bij de funderingspalen waar de kelder op aansluit, het dichtste bij het spoor.
- III. De derde plaats is aan de funderingspoer die midden onder het gebouw en de kelder ligt.

De tweede en derde plaats bevinden zich boven het onderwaterbeton, achter de damwand. Voor iedere plaats bepalen we een overdracht ten opzichte van het maaiveld model, waarmee we de prognosemethode verder uitvoeren.

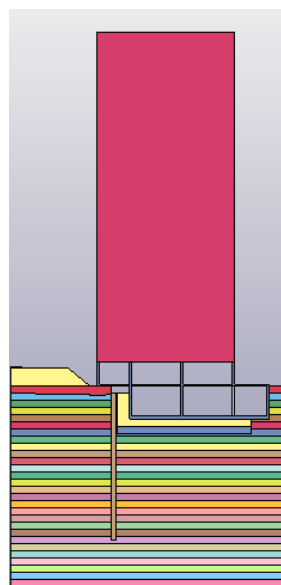
5.2.1 Modelbeschrijving

De modellen zijn opgesteld en doorgerekend in Ansys LsDyna. Hierbij wordt eerst een 2D doorsnede van het model opgesteld, waarna het in de derde dimensie wordt doorgetrokken. Voor deze doorsnede gebruiken we de doorsnede van het gebouw in het palenplan ter hoogte van doorsnede 14 (zie uitgangspunt [2]). Dit komt overeen met de positie van meetpunt 10_1, waar door aanwezigheid van een wissel de sterkste trillingen zijn gemeten. Daarnaast is doorsnede 14 een goede representatie van veel andere delen van het gebouw. Bijvoorbeeld doorsnede 15 heeft een grote zware poer die de trillingen sterk zal dempen, maar dit is niet representatief voor veel andere delen van het gebouw. We bekijken dus een 'worst-case' scenario, met de maatgevende doorsnede op de maatgevende locatie (naast de wissel).

De 2-D doorsnede van het maaiveldmodel is te zien in Figuur 5-. Hier zijn de grondlagen duidelijk zichtbaar. In Figuur 5-3 is het model met het gebouw te zien, met de verticale damwand en horizontale onderwaterbetonvloer (in het blauw).

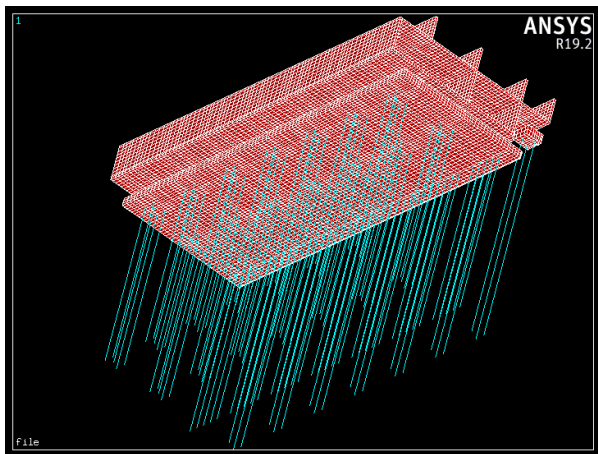


Figuur 5-2 Maaiveldmodel

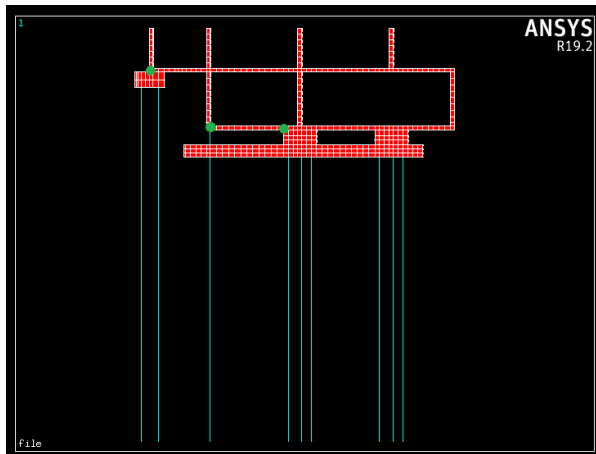


Figuur 5-3 model met gebouw

Na het opstellen van deze modellen worden in de modellen met gebouw nog de funderingspalen en poeren toegevoegd. De betonnen gebouwdelen (muren, vloeren, onderwaterbeton en funderingspoeren) zijn samen met de funderingspalen te zien in Figuur 5-4 en Figuur 5-5. In Figuur 5-5 zijn ook in groen de drie punten aangegeven waarop we de trillingsterktes meten zoals hierboven beschreven.



Figuur 5-4 Overzicht van de funderingspalen (blauw) in de gebouwmodellen. In rood zijn alle betonnen delen: de onderwaterbetonvloer en de muren en vloeren van het gebouw.



Figuur 5-5 Zijaanzicht van de gebouwmuren en vloeren (dunne rode lijnen), de onderwaterbetonvloer en de funderingspoeren (ook in het rood) en de funderingspalen in het blauw. In het groen de drie punten waarop we de trillingssterktes meten.

De gebruikte materiaaleigenschappen voor deze modellen zijn te vinden in Bijlage 1.

5.2.2 Belasting en randvoorwaarden

We gebruiken een combinatie van symmetrische randvoorwaarden bij de symmetrie assen (het vooraanzicht en de kant van de spoorbaan) en niet-reflecterende randen aan de overige zijden om het model zo realistisch mogelijk te maken.

Bij de zijde aan de spoorbaan betekent dit dat het model fungeert alsof er aan de andere kant van het spoor ook een gebouw staat. In werkelijkheid is dit niet zo, maar het effect van een gebouw aan de andere kant van het spoor op trillingssterktes is verwaarloosbaar.

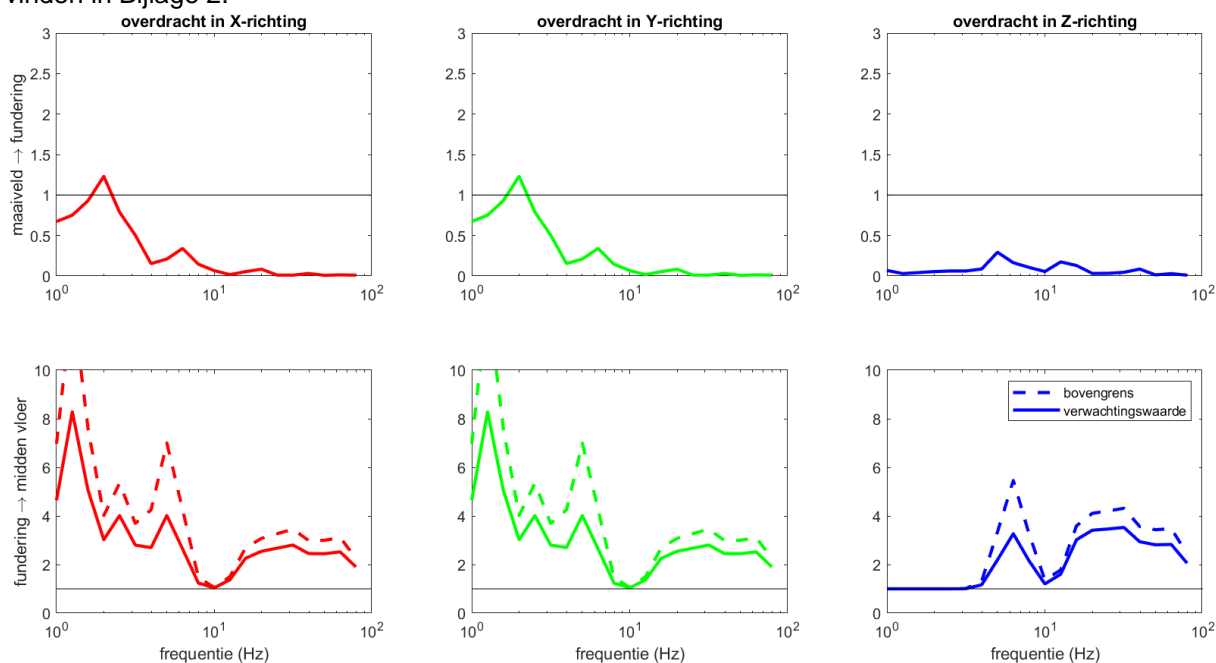
Voor de belasting simuleren we een puntbelasting ter hoogte van het spoor (op het talud in bijvoorbeeld Figuur 5-2). Aangezien we de trillingen van een wissel simuleren beschouwen we deze trillingen als een puntbelasting, die voortkomt uit de onderbreking in de spoorstaaf ter hoogte van de wissel.

Met deze randvoorwaarden en belasting simuleren we vervolgens in ieder model een trilling, en berekenen we in de drie beschreven punten de resulterende trillingssterktes.

5.2.3 Resultaten overdrachtsfuncties

Na het doorrekenen van de drie modellen worden de overdrachten bepaald. Per meetpunt in de modellen met gebouw (bij de voorste, middelste en achterste fundering) wordt de trillingssterkte gedeeld door de trillingssterkte in het maaiveldmodel ter hoogte van het meetpunt. Dit geeft de overdrachtsfunctie. Als de meetresultaten nu met deze overdrachten worden vermenigvuldigd, krijgen we de verwachte trillingssterktes op de drie verschillende plaatsen aan de fundering van het gebouw.

Een voorbeeld van zo'n resultaat is te zien in Figuur 5-6, in de bovenste grafieken. De X-richting is in Figuur 5-2 of Figuur 5-3 de horizontale richting in het vlak. De Y-richting is horizontaal loodrecht op het vlak. De Z-richting is de verticale richting. In de onderste grafieken is ook de overdracht binnen het gebouw zelf weergegeven. Deze berekening is ook onderdeel van het prognosemodel, en wordt bepaald aan de hand van kenmerken als gebouwhoogte, vloertype en beukmaat. Alle overdrachtsfuncties voor de eerste en laatste modellen zijn per gebouwdeel en per meetpunt te vinden in Bijlage 2.



Figuur 5-6 Overdracht maaiveldtrillingen naar achterste meetpunt fundering van gebouwtype 1. Model met rubberen isolatielaag.

5.3 Resultaten prognosemethode

Met deze verfijningsslag in het bepalen van de overdracht van trillingen worden de prognoses van trillingssterktes in de gebouwen opnieuw bepaald. De resultaten zijn te vinden in onderstaande tabellen. Waarden die de streefwaarden voor nieuwe situaties overschrijden zijn in oranje gemarkeerd, en voor bestaande situaties in rood. We maken onderscheid tussen situaties ‘met maatregel’ en ‘zonder maatregel’, waarbij de maatregel de extra isolatie tussen damwand en onderwaterbetonvloer betreft.

Bij het eerste meetpunt verwachten we met en zonder maatregel nog steeds forse overschrijdingen van de streefwaarden. Dit is te verklaren doordat dit meetpunt, en dus de voorste funderingspoeren en palen, voor de damwand liggen en niet worden afgeschermd. We verwachten boven deze fundering dus te sterke trillingen, en raden aan om extra maatregelen te nemen op dit punt. Met maatregel zijn de trillingen iets hoger dan zonder maatregel. Dit komt waarschijnlijk door extra reflectie van trillingen van de afgeschermd damwand naar de voorste fundering.

Tabel 5-1 Resultaten eerste punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.02	0	0.09	0.19	0.19	0.57
gebouwdeel 2 h=61m	0.07	0.09	0.18	0.37	0.57	1.38
gebouwdeel 3 h=49m	0.07	0.1	0.19	0.41	0.62	1.51
gebouwdeel 4 h=42m	0.02	0.02	0.09	0.22	0.28	0.61

Tabel 5-2 Resultaten eerste punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.02	0.01	0.09	0.21	0.2	0.6
gebouwdeel 2 h=61m	0.07	0.1	0.2	0.42	0.63	1.59
gebouwdeel 3 h=49m	0.08	0.11	0.21	0.46	0.69	1.75
gebouwdeel 4 h=42m	0.02	0.03	0.09	0.25	0.31	0.64

Bij het tweede meetpunt zien we in de situatie zonder maatregel nog een lichte overschrijding van de streefwaarden. In de situatie met maatregel verwachten we geen enkele overschrijding meer. We zien dat de rubberen isolatielaag hier op bijna ieder gebouwdeel effect heeft.

Tabel 5-3 Resultaten tweede punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.02	0.01	0.01	0.26	0.21	0.15
gebouwdeel 2 h=61m	0.07	0.06	0.05	0.43	0.46	0.38
gebouwdeel 3 h=49m	0.08	0.07	0.05	0.48	0.5	0.41
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.03	0.01	0.25	0.24	0.16

Tabel 5-4 Resultaten tweede punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.27	0.21	0.15
gebouwdeel 2 h=61m	0.04	0.04	0.02	0.29	0.29	0.22
gebouwdeel 3 h=49m	0.04	0.04	0.02	0.35	0.32	0.24
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.01	0.27	0.2	0.16

Bij het derde meetpunt zien we met en zonder maatregel geen overschrijdingen meer de streefwaarden. De damwand en onderwaterbetonlaag hebben hier de trillingen zeer verminderd.

Tabel 5-5 Resultaten derde punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.26	0.21	0.14
gebouwdeel 2 h=61m	0.03	0.03	0.04	0.28	0.23	0.31
gebouwdeel 3 h=49m	0.04	0.03	0.05	0.34	0.26	0.34
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.01	0.27	0.22	0.15

Tabel 5-6 Resultaten derde punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.27	0.22	0.14
gebouwdeel 2 h=61m	0.02	0.02	0.04	0.29	0.22	0.34
gebouwdeel 3 h=49m	0.03	0.02	0.05	0.36	0.26	0.38
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.01	0.29	0.23	0.15

5.4 Aanvullende berekeningen

Deze resultaten hebben tot een tussentijds advies geleid om extra maatregelen te nemen rondom de voorste poeren. In overleg met de opdrachtgever zijn een aantal varianten gemodelleerd en doorgerekend om een maatregel te vinden waarmee aan de streefwaarden wordt voldaan. We geven hier een overzicht van de opgestelde varianten en de resultaten.

5.4.1 Isolatielaag om voorste poeren

De eerste aanpassing bestaat uit het aanbrengen van isolatie om de voorste poeren heen. Dit betreft een laag van 20 cm rubber, van hetzelfde materiaal als wat tussen de damwand en

onderwaterbetonvloer wordt gebruikt. Deze versie is weer met en zonder rubber tussen damwand en onderwaterbetonvloer doorgerekend. Beide varianten waren niet voldoende om onder de streefwaarden te blijven.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven. Per meetpunt (dezelfde drie punten als hiervoor) bekijken we de resultaten met en zonder maatregel (isolatie tussen damwand en onderwaterbetonvloer). We zien dat er op punt 2 een overschrijding is in de situatie zonder maatregel. Bij punt 3 zijn geen overschrijdingen, bij punt 2 met maatregel ook niet. Op punt 1 zien we nog steeds forse overschrijdingen met en zonder maatregel. Opnieuw zijn de trillingen met maatregel iets hoger, door extra reflecties. De trillingen zijn met de isolatielaag rondom de eerste poer slechts beperkt afgenomen.

Tabel 5-7 Resultaten eerste punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.03	0.01	0.06	0.2	0.19	0.46
gebouwdeel 2 h=61m	0.08	0.08	0.17	0.47	0.53	1.33
gebouwdeel 3 h=49m	0.09	0.09	0.18	0.52	0.58	1.45
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.03	0.06	0.18	0.25	0.5

Tabel 5-8 Resultaten eerste punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.03	0.01	0.06	0.2	0.17	0.43
gebouwdeel 2 h=61m	0.07	0.07	0.15	0.44	0.48	1.11
gebouwdeel 3 h=49m	0.08	0.08	0.16	0.48	0.52	1.21
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.02	0.06	0.16	0.23	0.47

Tabel 5-9 Resultaten tweede punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.26	0.21	0.16
gebouwdeel 2 h=61m	0.05	0.05	0.03	0.32	0.34	0.25
gebouwdeel 3 h=49m	0.05	0.05	0.03	0.36	0.37	0.27
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.01	0.25	0.2	0.17

Tabel 5-10 Resultaten tweede punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.02	0.01	0.01	0.25	0.2	0.15
gebouwdeel 2 h=61m	0.07	0.07	0.04	0.48	0.49	0.34
gebouwdeel 3 h=49m	0.08	0.08	0.04	0.53	0.54	0.37
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.03	0.01	0.24	0.26	0.16

Tabel 5-11 Resultaten derde punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.27	0.22	0.14
gebouwdeel 2 h=61m	0.02	0.02	0.04	0.29	0.23	0.35
gebouwdeel 3 h=49m	0.03	0.02	0.05	0.35	0.27	0.38
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0	0.01	0.27	0.22	0.15

Tabel 5-12 Resultaten derde punt zonder maatregel

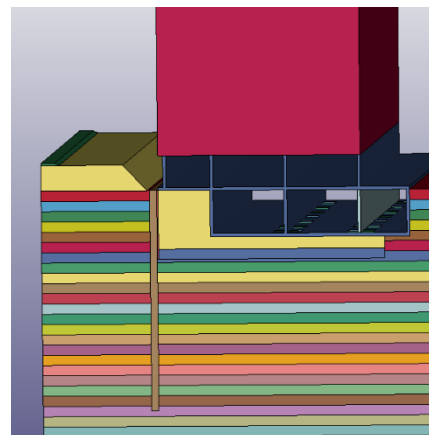
Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.25	0.21	0.14
gebouwdeel 2 h=61m	0.03	0.03	0.05	0.28	0.25	0.32
gebouwdeel 3 h=49m	0.04	0.04	0.05	0.34	0.28	0.35
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0	0.01	0.26	0.22	0.14

5.4.2 Loskoppelen voorste poeren

Als uitbreiding van de vorige maatregel is een variant opgesteld waarbij de voorste poeren rondom en aan de onderkant helemaal geen contact meer maken met de bodem. Daarnaast is het contact tussen de begane grond van het gebouw en de bodem ook verwijderd. Het gevolg is dat we enkel het effect van trillingen die via de voorste funderingspalen naar boven worden doorgegeven bekijken. Dit is een 'best-case' scenario voor verschillende configuraties van isolatie en afschermen van de voorste poeren. Zelfs in dit 'best-case' scenario werd nog niet aan de streefwaarden voldaan; de resultaten waren nagenoeg hetzelfde als de resultaten die hierboven zijn weergegeven voor een rubberen afscherming om de poeren heen. Hieruit concluderen we dat het isoleren van de voorste poeren niet voldoende kan zijn; er moeten ook maatregelen worden getroffen om de voorste funderingspalen af te schermen.

5.4.3 Damwand verplaatsen en onderwaterbetonvloer uitbreiden

In de laatste variant is de damwand verplaatst naar voor de eerste funderingspalen en poeren, en is de onderwaterbetonvloer uitgebreid tot aan de verplaatste damwand. Voor deze variant zijn nieuwe bouwtekeningen als uitgangspunt genomen voor de funderingspalen en poeren. Opnieuw is er een variant doorgerekend met isolatie tussen de damwand en de onderwaterbetonvloer, en een variant zonder deze isolatie. De variant zonder isolatie had bij de voorste poer nog overschrijdingen, maar de variant met isolatie voldeed bij alle punten aan de streefwaarden volgens de SBR B richtlijn.



Figuur 5-7 Doorsnede variant met doorgetrokken onderwaterbetonvloer

Tabel 5-13 Resultaten eerste punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.02	0.18	0.14	0.25
gebouwdeel 2 h=61m	0.03	0.03	0.04	0.24	0.22	0.36
gebouwdeel 3 h=49m	0.04	0.04	0.05	0.26	0.26	0.39
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.02	0.21	0.22	0.27

Tabel 5-14 Resultaten eerste punt zonder maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.03	0.02	0.04	0.28	0.27	0.33
gebouwdeel 2 h=61m	0.08	0.09	0.12	0.47	0.58	0.91
gebouwdeel 3 h=49m	0.09	0.09	0.13	0.51	0.63	0.99
gebouwdeel 4 h=42m	0.02	0.04	0.04	0.24	0.39	0.34

Tabel 5-15 Resultaten tweede punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.25	0.19	0.17
gebouwdeel 2 h=61m	0.03	0.02	0.04	0.27	0.24	0.31
gebouwdeel 3 h=49m	0.04	0.03	0.05	0.33	0.27	0.34
gebouwdeel 4 h=42m	0.01	0.01	0.01	0.28	0.23	0.19

Tabel 5-16 Resultaten derde punt met maatregel

Gebouw	Vper,d,X	Vper,d,Y	Vper,d,Z	Vmax,X	Vmax,Y	Vmax,Z
gebouwdeel 1 h=49m	0.01	0	0.01	0.26	0.19	0.16
gebouwdeel 2 h=61m	0.03	0.02	0.05	0.28	0.21	0.35
gebouwdeel 3 h=49m	0.03	0.02	0.05	0.35	0.25	0.39
gebouwdeel 4 h=42m	0.02	0.01	0.01	0.3	0.26	0.18

6 Conclusie

Uit dit onderzoek trekken we de volgende conclusies.

- Over het algemeen wordt de trillingshinder in het hele gebouw aanmerkelijk lager door het toevoegen van een onderwaterbetonvloer en damwand.
- Het eerste ontwerp, waarbij de damwand/onderwaterbetonvloer achter de voorste funderingspalen/poeren lagen, voldeed nog niet aan de streefwaarden van de SBR B richtlijn. Boven de voorste poeren waren nog forse overschrijdingen van de streefwaarden.
- Het isoleren van de voorste poer had niet het gewenste resultaat; er waren nog steeds forse overschrijdingen.
- Het uitbreiden van de damwand en onderwaterbetonvloer naar vóór de eerste poeren vermindert de trillingen aanzienlijk. Met het toevoegen van een isolatielaag tussen de damwand en onderwaterbetonvloer voldoet deze situatie aan de streefwaarden van de SBR B richtlijn.

Bijlage 1 Materiaalgegevens

De eigenschappen van de grondlagen zijn bepaald met de sondering van uitgangspunt [3]. We hebben de gegevens van sondering S21 gebruikt.

De rest van de materiaaleigenschappen staan in onderstaande tabel. Aangezien we vooral geïnteresseerd zijn in de overdracht van trillingen naar de fundering van het gebouw, modelleren we het gebouw als één blok met eigenschappen die overeenkomen met een normaal gebouw. Globaal gedraagt het zich dus als het gebouw.

Het beton in onderstaande tabel wordt gebruikt voor de muren en vloeren van kelder en gebouw, evenals voor het onderwaterbeton, de betonnen poeren en de funderingspalen. De funderingspalen hebben een doorsnede van 38 cm.

De damwand wordt gemodelleerd als rechthoekige wand met dikte 70 cm. Dit geeft equivalente eigenschappen aan de daadwerkelijke damwand. Voor de isolatielaag achter de damwand gebruiken we rubbergranulaat met dikte 12 cm.

Als laatste beschouwen we de funderingskolommen in de kelder. Deze zijn gemodelleerd als doorlopende wand met equivalente eigenschappen aan de individuele kolommen.

Tabel 6-1 Gegevenseigenschappen uit rapport Cohere

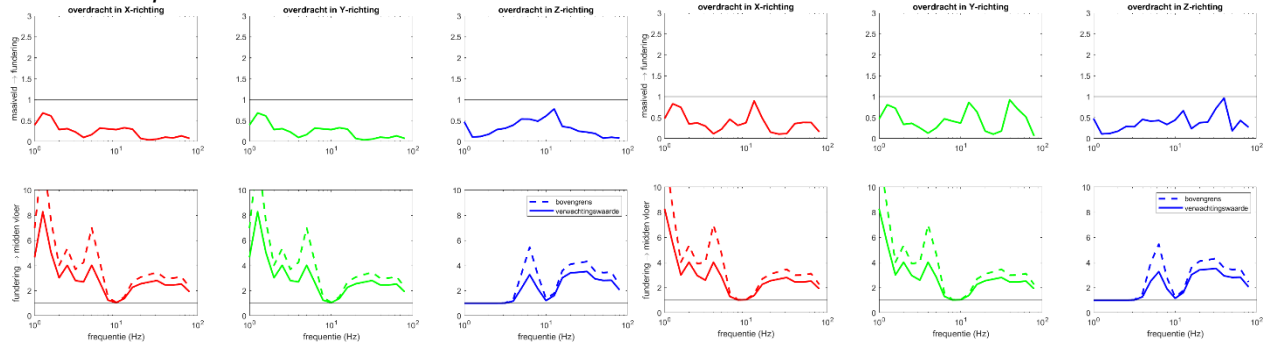
Materiaal	Dichtheid (kg/m ³)	Poisson ratio	E-modulus (N/m ²)	Demping
Ballast spoor	2000	0,3	176E6	0.01
Ophoogzand spoor	2040	0,4	80E6	0.01
Gebouw equivalent	400	0,2	143E6	0.05
Beton	2400	0,2	30E9	0.01
Damwand equivalent	2180	0,3	6.42E9	0.01
Rubberen isolatielaag	710	0	4.16E6	0.05
Betonnen kolom equivalent	167	0,2	2083	0.01

Bijlage 2 Resultaten overdrachtsfuncties

In deze bijlage bespreken we de resultaten van de FEM berekeningen. Per model krijgen we voor ieder van de drie meetpunten en ieder van de vier gebouwdelen een overdrachtsfunctie, opgedeeld in een X, Y en Z richting.

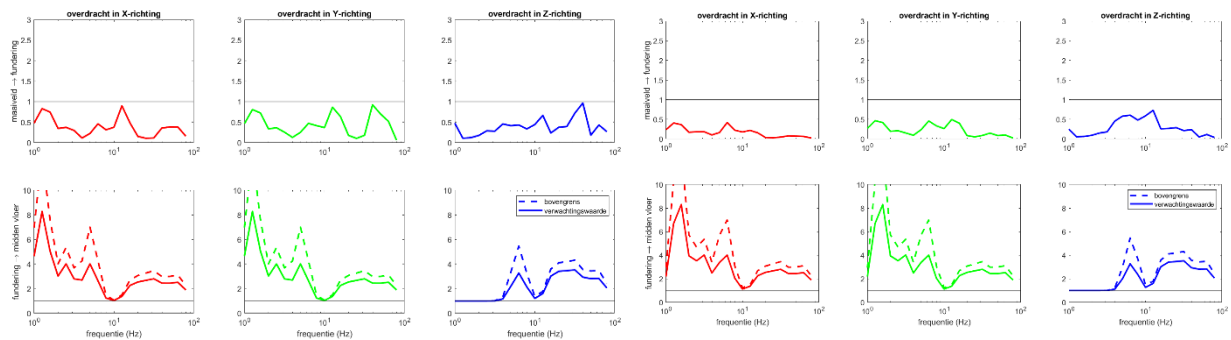
Gebouwmodel met onderwaterbetonvloer en damwand

Eerste meetpunt



Figuur 6-3 Overdracht gebouwdeel 1, eerste meetpunt

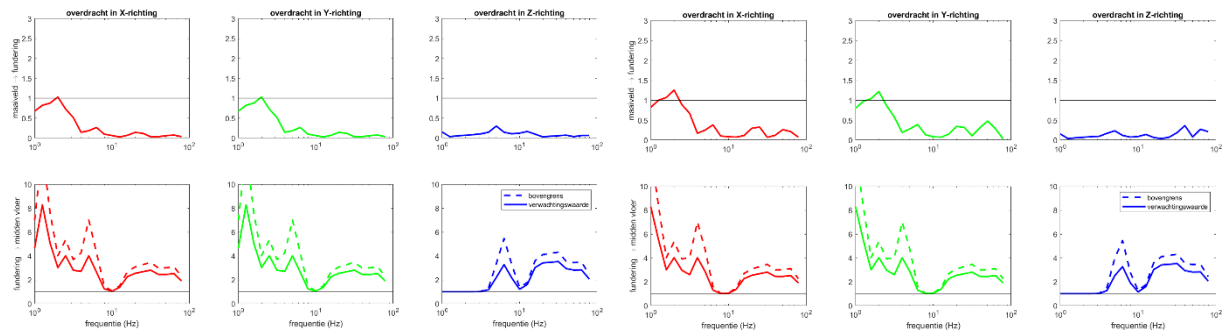
Figuur 6-1 Overdracht gebouwdeel 2, eerste meetpunt



Figuur 6-4 Overdracht gebouwdeel 3, eerste meetpunt

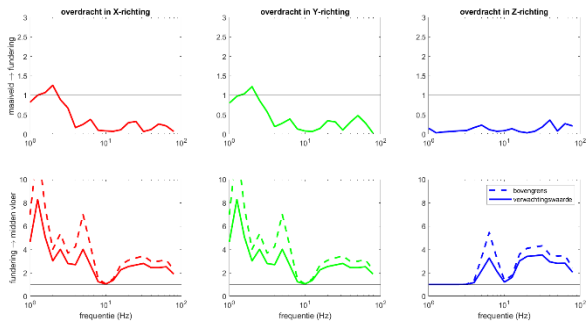
Figuur 6-2 Overdracht gebouwdeel 4, eerste meetpunt

Tweede meetpunt

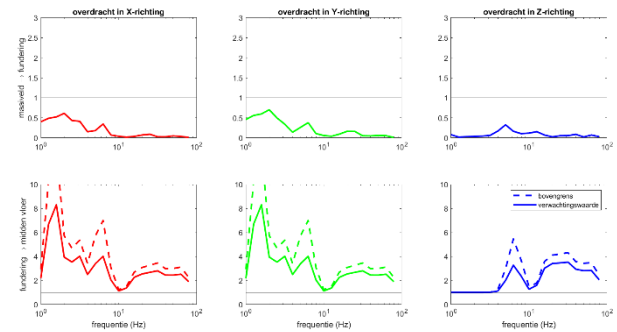


Figuur 6-6 Overdracht gebouwdeel 1, tweede meetpunt

Figuur 6-5 Overdracht gebouwdeel 2, tweede meetpunt

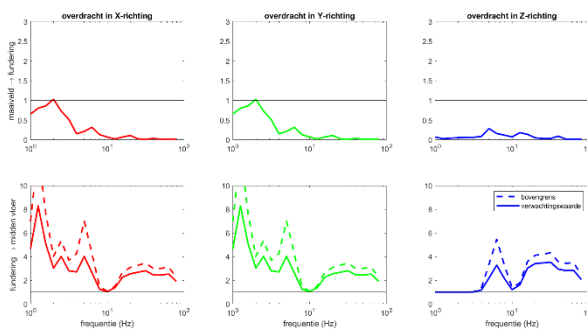


Figuur 6-10 Overdracht gebouwdeel 3, tweede meetpunt

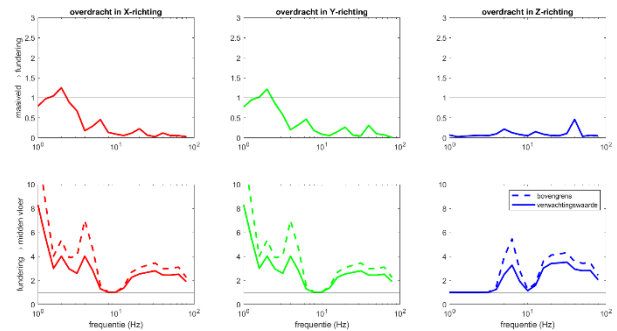


Figuur 6-9 Overdracht gebouwdeel 4, tweede meetpunt

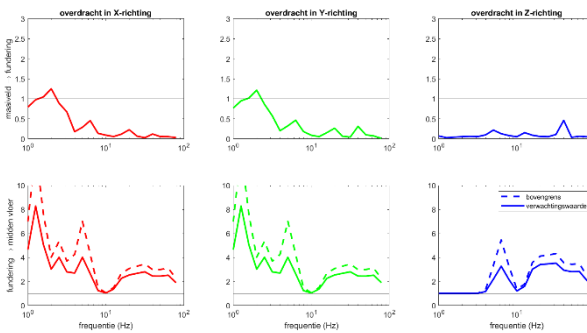
Derde meetpunt



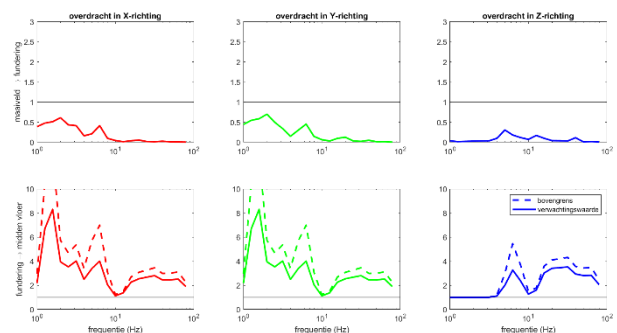
Figuur 6-7 Overdracht gebouwdeel 1, derde meetpunt



Figuur 6-8 Overdracht gebouwdeel 2, derde meetpunt



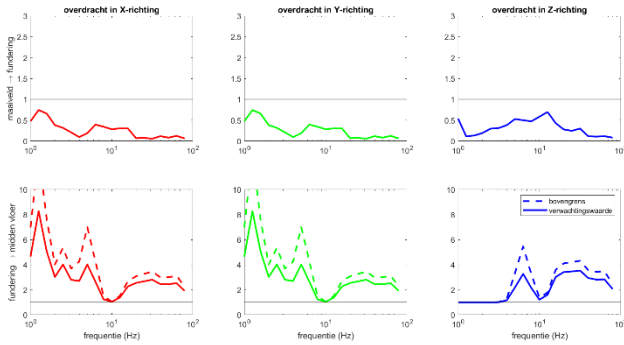
Figuur 6-12 Overdracht gebouwdeel 3, derde meetpunt



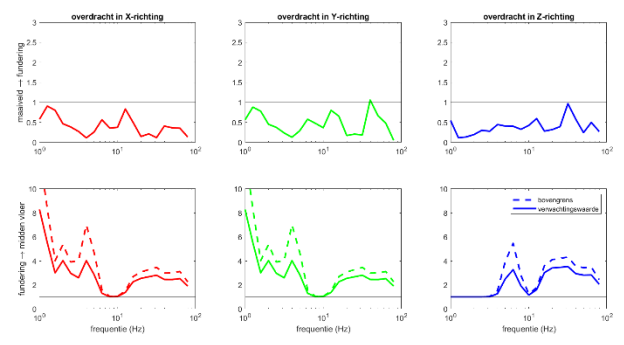
Figuur 6-11 Overdracht gebouwdeel 4, derde meetpunt

Gebouwmodel met onderwaterbetonvloer, damwand en rubberen isolatielaag

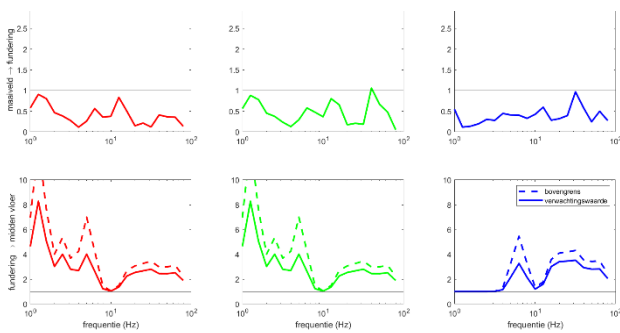
Eerste meetpunt



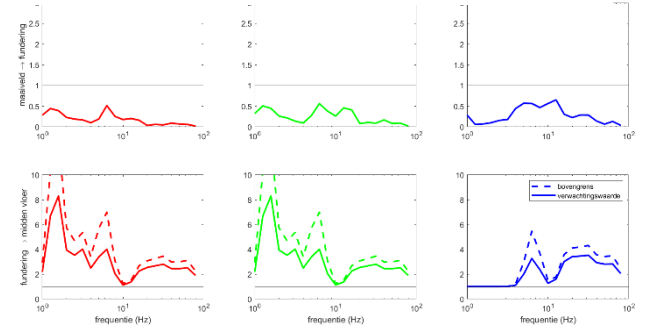
Figuur 6-14 Overdracht gebouwdeel 1, eerste meetpunt



Figuur 6-13 Overdracht gebouwdeel 2, eerste meetpunt

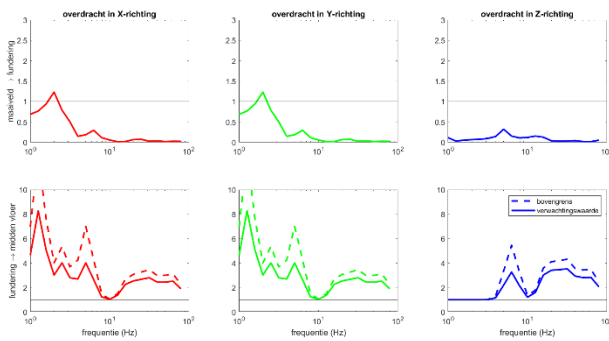


Figuur 6-15 Overdracht gebouwdeel 3, eerste meetpunt

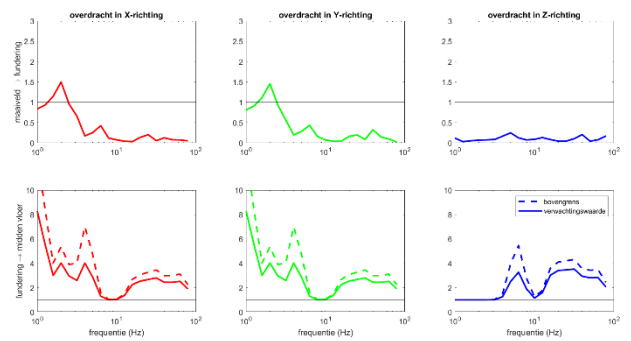


Figuur 6-16 Overdracht gebouwdeel 4, eerste meetpunt

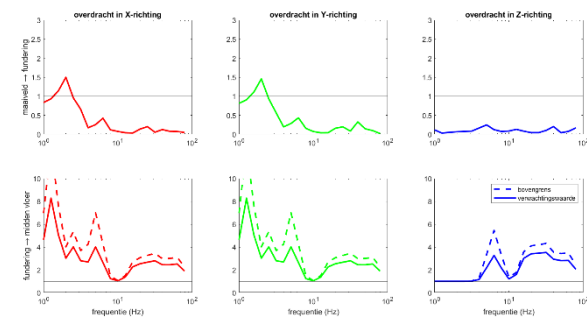
Tweede meetpunt



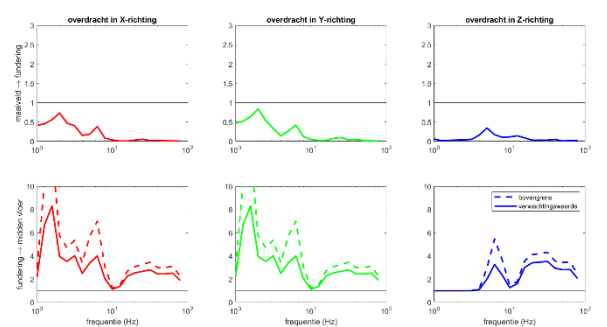
Figuur 6-18 Overdracht gebouwdeel 1, tweede meetpunt



Figuur 6-17 Overdracht gebouwdeel 2, tweede meetpunt

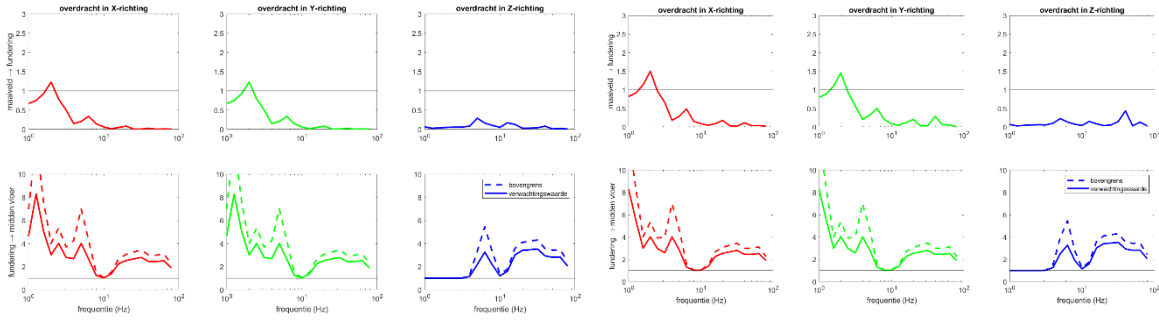


Figuur 6-19 Overdracht gebouwdeel 3, tweede meetpunt



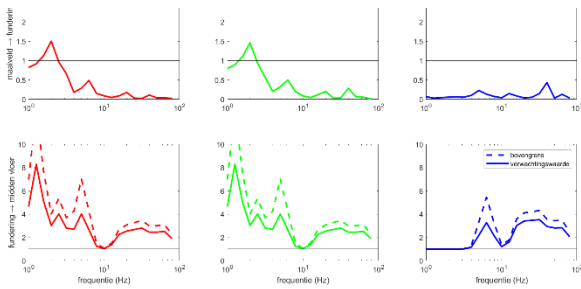
Figuur 6-20 Overdracht gebouwdeel 4, tweede meetpunt

Derde meetpunt

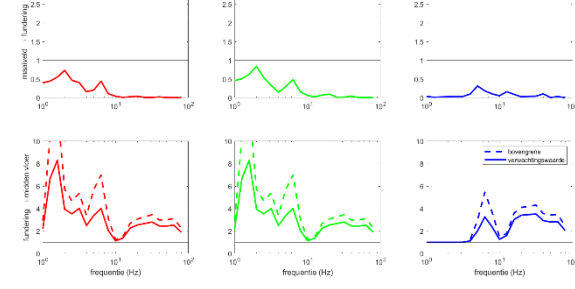


Figuur 6-23 Overdracht gebouwdeel 1, derde meetpunt

Figuur 6-22 Overdracht gebouwdeel 2, derde meetpunt



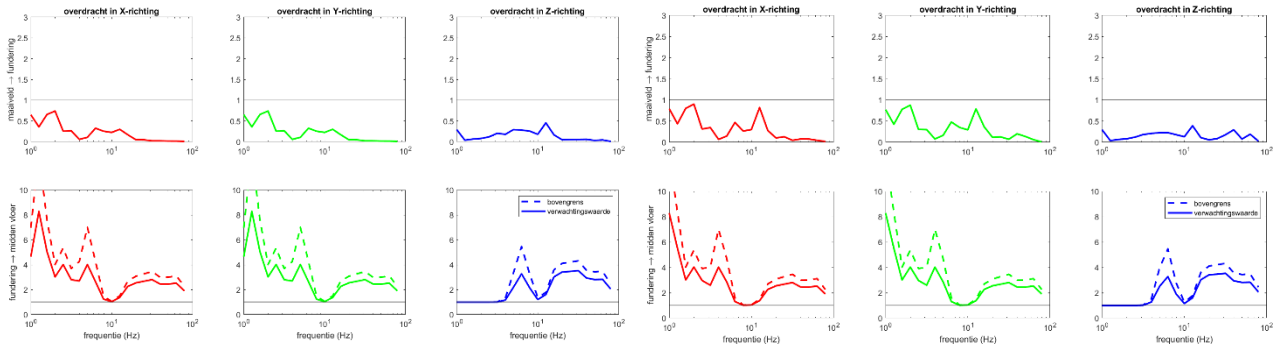
Figuur 6-21 Overdracht gebouwdeel 3, derde meetpunt



Figuur 6-24 Overdracht gebouwdeel 4, derde meetpunt

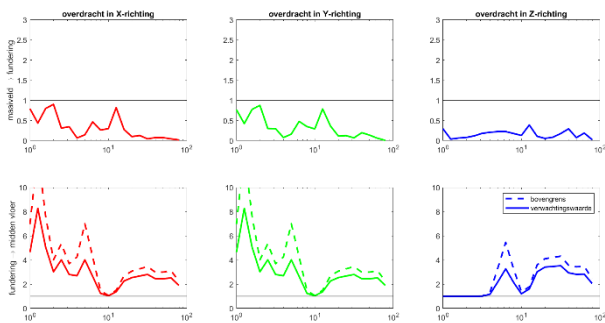
Gebouwmodel met onderwaterbetonvloer en damwand vóór voorste funderingen, met isolatielaag achter damwand (uiteindelijke model)

Eerste meetpunt

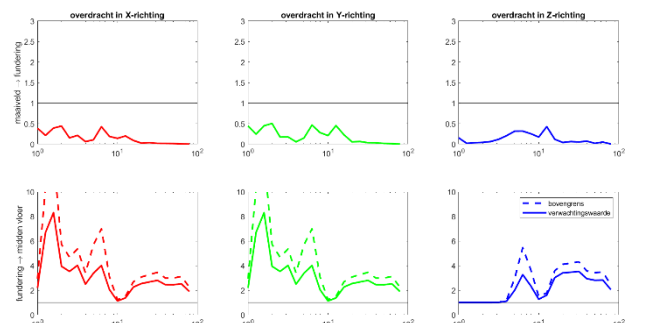


Figuur 6-28 Overdracht gebouwdeel 1, eerste meetpunt

Figuur 6-27 Overdracht gebouwdeel 2, eerste meetpunt

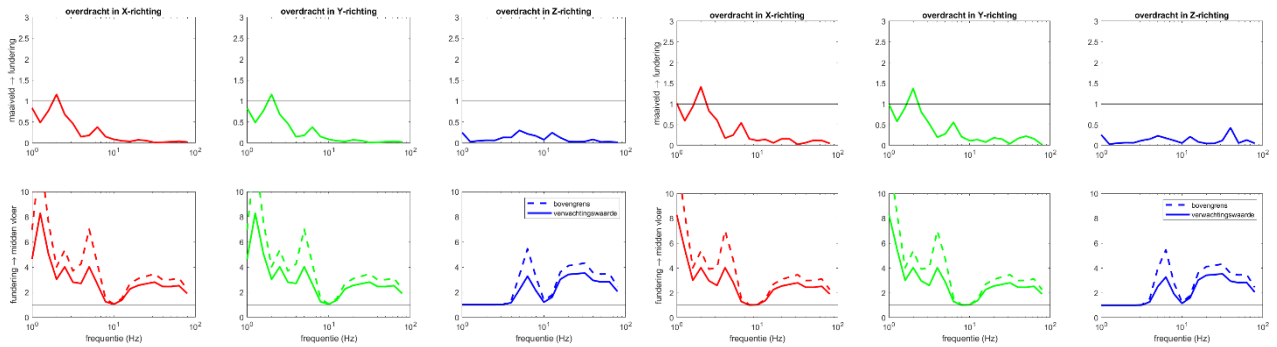


Figuur 6-26 Overdracht gebouwdeel 3, eerste meetpunt



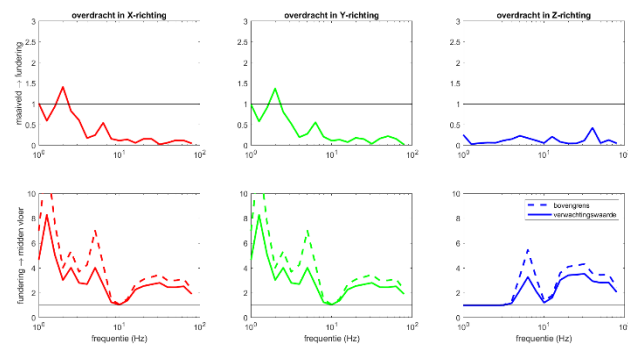
Figuur 6-25 Overdracht gebouwdeel 4, eerste meetpunt

Tweede meetpunt

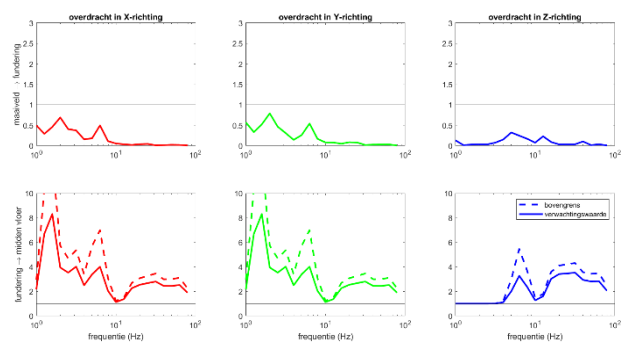


Figuur 6-30 Overdracht gebouwdeel 1, tweede meetpunt

Figuur 6-29 Overdracht gebouwdeel 2, tweede meetpunt

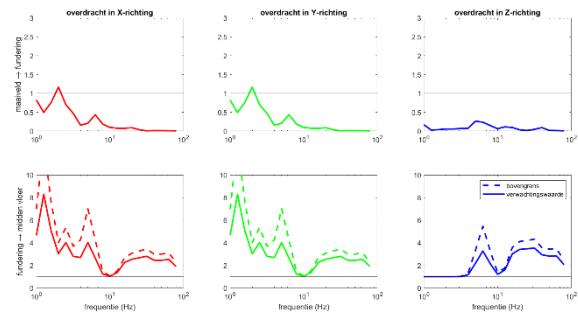


Figuur 6-31 Overdracht gebouwdeel 3, tweede meetpunt

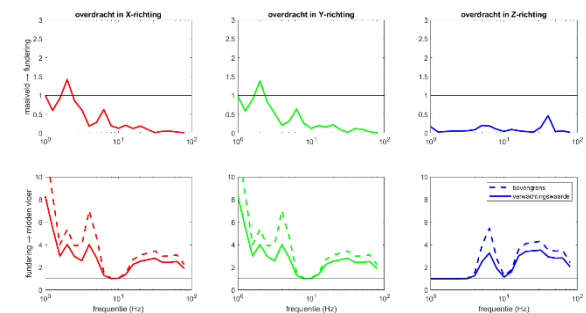


Figuur 6-32 Overdracht gebouwdeel 4, tweede meetpunt

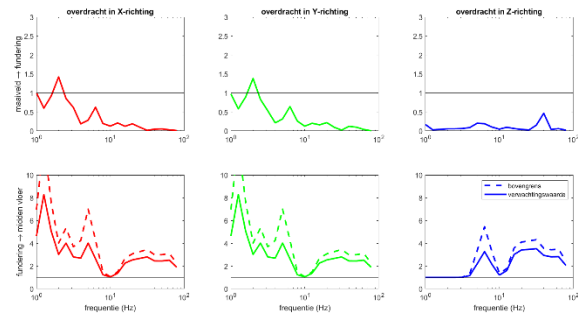
Derde meetpunt



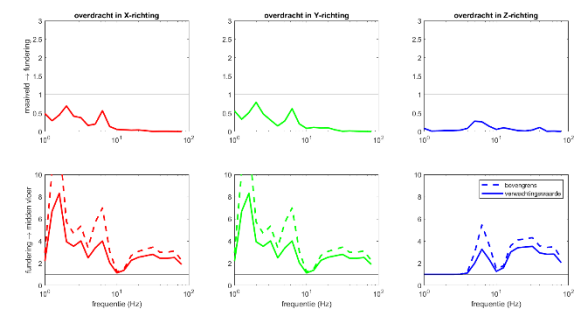
Figuur 6-36 Overdracht gebouwdeel 1, derde meetpunt



Figuur 6-35 Overdracht gebouwdeel 2, derde meetpunt



Figuur 6-34 Overdracht gebouwdeel 3, derde meetpunt



Figuur 6-33 Overdracht gebouwdeel 4, derde meetpunt

Colofon

OPDRACHTGEVER Schiestraat Ontwikkeling B.V.

UITGAVE Movares Nederland B.V.

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

TELEFOON

ONDERTEKENAAR

PROJECTNUMMER

M0005405

KENMERK

D79-ANI-HS-RAP-24007783

© 2024, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

 **Movares** samen werkt het