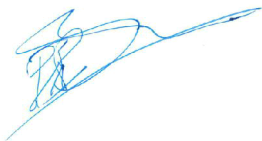


verleend

Behoort bij het besluit van het hoofd
van de afdeling VTH-Omgevingswet
van de gemeente 's-Hertogenbosch
d.d. : oktober 2023
nr. : 079613367540



EUTZ

Notitie

betreft: Ontwikkeling EKP gebied Den Bosch fase 1; trillingonderzoek
datum: 30 mei 2022
referentie: SD/EdV//OG 15918-4-NO-002
van: ing. E. de Vries en S.M.C.M. Dirx

ontwerpbeschikking

d.d. : september 2022
nr. : 079613367540

1 Inleiding

In opdracht van SDK Vastgoed te Eindhoven is een uitgebreid trillingonderzoek uitgevoerd ten aanzien van met name gebouw F in het EKP gebied. Met behulp van een 3D rekenmodel zijn dynamische berekeningen uitgevoerd om de te verwachten trillingen in de woningen te berekenen.

Vervolgens zijn de te verwachten trillingniveaus getoetst aan de in dit kader algemeen gehanteerde richtlijn B 'Hinder voor personen in gebouwen' van de Stichting Bouwresearch (SBR). Daar waar in eerste aanleg overschrijdingen werden verwacht zijn in het ontwerpstadium maatregelen voorgesteld en doorgerekend.

In het kader van de omgevingsvergunningaanvraag voor het EKP gebied is door ons bureau een trillingonderzoek (vooronderzoek) uitgevoerd waarvoor ter plaatse trillingmetingen zijn verricht. De bevindingen van dat onderzoek zijn vastgelegd in rapport OG15918-1 d.d. 2-11-2021. Voor de volledigheid is dat rapport als bijlage toegevoegd. De metingen die destijds zijn verricht dienen in deze notitie als basis voor de berekeningen.

Tot slot is gebouw I, K en M beoordeeld op basis van het verschil in meetresultaten en het verschil in het ontwerp.

In de voorliggende notitie worden de eindbevindingen van dit onderzoek gegeven.

2 Trillingnormering

Opgemerkt wordt dat er ten aanzien van de hinder door voelbare trillingen geen specifieke eisen zijn gesteld in het Bouwbesluit of via andere wetgeving.

Zoals eerder aangegeven zijn er dienaangaande wel richtlijnen opgesteld welke zijn weergegeven in 'richtlijn B' van de SBR. Deze richtwaarden zijn geformuleerd in zogenaamde 'streefwaarden' voor de trillingsterkte. Bij het voldoen aan deze streefwaarden mag dan worden verwacht dat niet of nauwelijks hinder wordt ondervonden van trillingen.

De onderstaande tabel 2.1 toont de in dat geval van toepassing zijnde streefwaarden.

t2.1 Overzicht streefwaarden conform SBR B

	dag en avond			nacht		
	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]
woning, nieuwe situatie	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
woning, bestaande situatie	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

Volgens de SBR B dient de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in eerste instantie getoetst te worden aan A₁. Indien hieraan voldaan wordt is sprake van een acceptabele situatie. Indien niet wordt voldaan aan A₁ dient de maximale trillingssterkte getoetst te worden aan A₂.

Bij overschrijding van A₂ is sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie. In het geval dat wordt voldaan, dient vervolgens de gemiddelde trillingssterkte voor de betreffende ruimte (V_{per}) getoetst te worden aan A₃. Bij overschrijding van A₃ is wederom sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie.

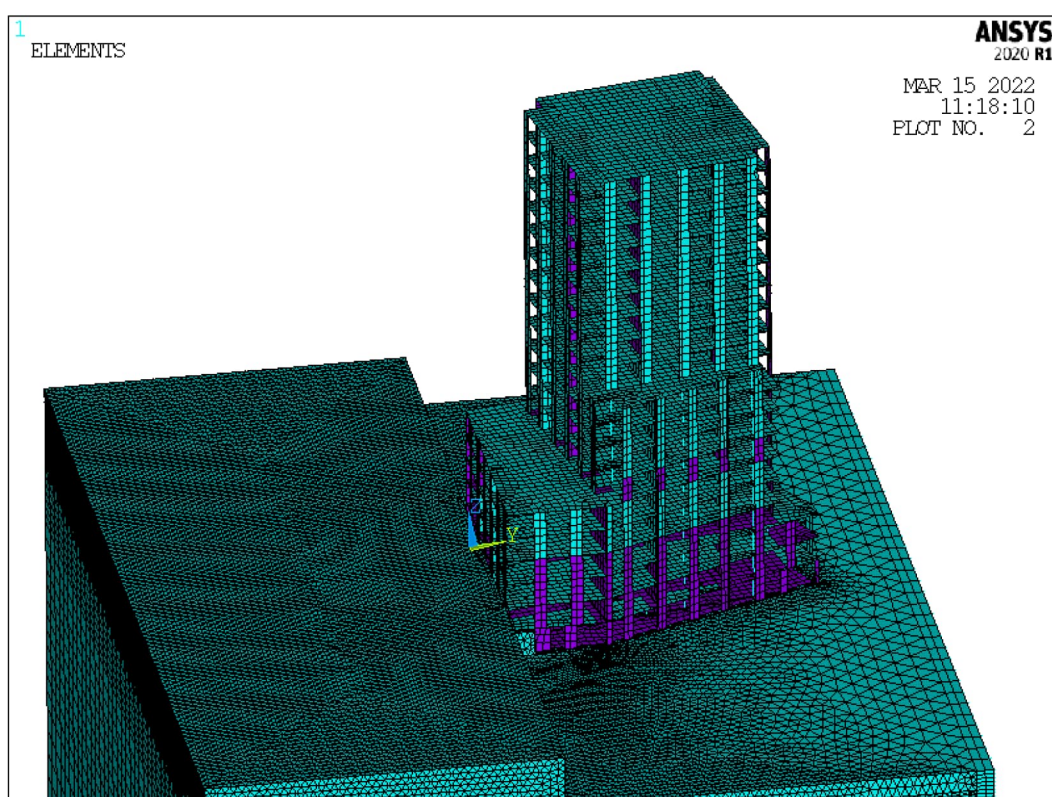
Volledigheidshalve nog de kanttekening dat het voldoen aan de streefwaarden van de SBR niet inhoudt dat geen sprake zal zijn van voelbare trillingen. De waarde van 0,1 wordt normaliter gezien als de voelbaarheidsgrens. Een streefwaarde van $V_{\max}$ van 0,2 in woningen sluit derhalve niet uit dat bepaalde passages voelbaar kunnen zijn.

3 Berekeningen

3.1 Gebouw F

In het softwarepakket ANSYS is een 3D Eindig Elementen Methode (EEM) model opgesteld van gebouw F. Hierbij bevat het rekenmodel ook de omliggende bodem. In figuur 3.1 is het EEM model weergegeven.

f3.1 EEM model gebouw F



Met dit rekenmodel zijn de te verwachten trillingniveaus in de woningen berekend. Daarbij is als basis uitgegaan van de gemeten trillingniveaus in de bodem ter plaatse van de nieuwbouw, zoals beschreven in rapport OG15918-1.

In eerste instantie zijn de berekeningen uitgevoerd met het ontwerp van gebouw F. Daaruit volgt dat in de woningen sprake kan zijn van een maximale trillingsterkte die hoger is dan zowel de streefwaarden voor nieuwe situaties als de streefwaarden voor bestaande situaties.

Vervolgens is in overleg met SDK Vastgoed en de constructeur Raadgevend Ingenieursburo Van Nunen BV te Rosmalen gekeken naar mogelijke maatregelen.

Aangezien in het ontwerp reeds een CSM wand is opgenomen die volledig rondom het gebouw is voorzien, is getracht om met deze wand de trillingen te reduceren. In het oorspronkelijke ontwerp zou de wand direct tegen het gebouw aan komen. Zodoende is met het rekenmodel onderzocht op welke wijze de CSM wand het meest gunstig is qua trillingen.

Daaruit volgt dat door de CSM wand op enige afstand van het gebouw te plaatsen een trillingtechnisch gunstiger situatie wordt verkregen. In principe is de wand voorzien op ca. 300 mm van het gebouw. Om te voorkomen dat na verloop van tijd de spouw gevuld wordt met zand komt er een flexibel blijvend materiaal, bij voorbeeld minerale wol o.g, in de spouw.

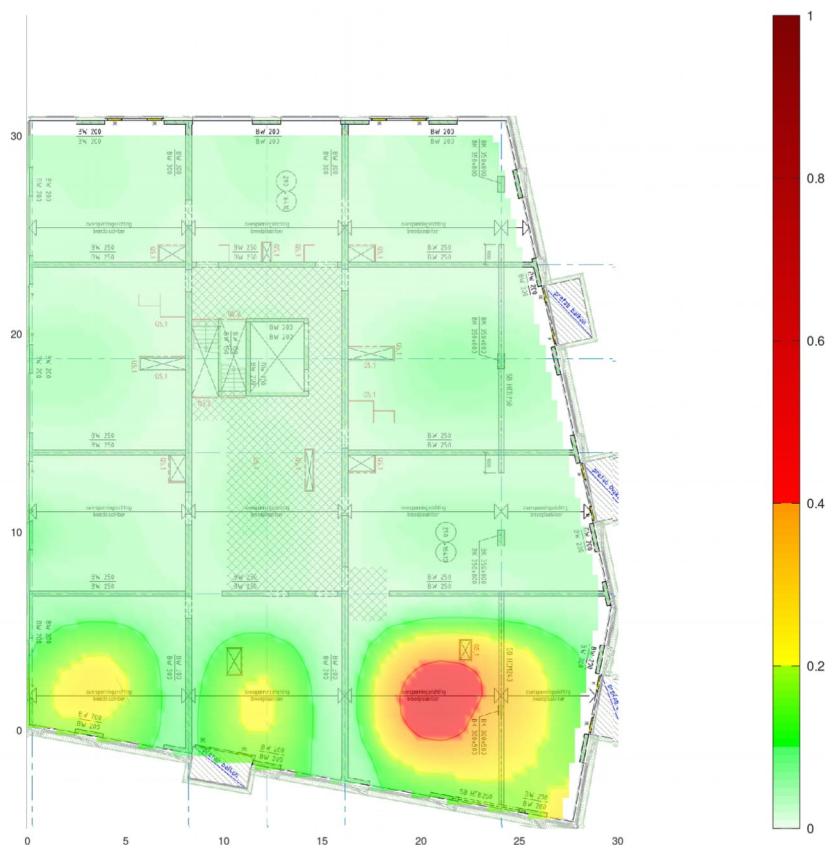
Daarnaast is gekeken naar bouwkundige maatregelen die binnen het huidige ontwerp passen, zoals ander type vloeren. Daaruit is naar voren gekomen dat niet-voorgespannen breedplaatvloeren in het huidige ontwerp trillingtechnisch het meest gunstig zijn.

Op basis van de berekeningen volgt dat in gebouw F na maatregelen sprake kan zijn van een maximale trillingsterkte tot $<0,2$ in horizontale (X en Y) richting en tot $0,5$ in verticale (Z) richting als gevolg van passerende treinen. Daarbij zijn goederentreinen in de nachtperiode maatgevend.

Deze trillingen zijn gering hoger dan de streefwaarde voor bestaande situaties (0,4).

Een maximale trillingsterkte tussen $0,4$ en $0,5$ treedt op in een zeer beperkt deel (max. 16 m^2 vloeroppervlak) van gebouw F, dit is $\ll 1 \%$ van het totale vloeroppervlak (woningen+ verkeersruimten+ commercieel $\approx 14.750 \text{ m}^2$). Figuur 3.2 toont de betreffende verdieping waar de grootste trillingsterkte wordt verwacht (rood gekleurd gebied).

f3.2 Gebouw F, vloer 4^e verdieping, maximale trillingsterkte in verticale richting



Een maximale trillingsterkte tussen 0,2 en 0,4 treedt op in een groter deel van het gebouw, te weten ca. 230 m² dit is minder dan 2 % van het totale vloeroppervlak.

In het overgrote deel van het gebouw is sprake van waarden (veel) lager dan 0,2.

Zoals gesteld treden deze trillingniveaus op als gevolg van de maatgevende treinpassage, te weten een goederentrein in de nachtperiode. Deze trillingniveaus treden maximaal 1x per etmaal op.

Als gevolg van passerende passagierstreinen is sprake van een maximale trillingsterkte tot <0,2 in horizontale (X en Y) richting en tot <0,2 in verticale (Z) richting.

Vervolgens is de gemiddelde trillingsterkte per etmaalperiode bepaald en die bedraagt tot 0,06. Deze waarde voldoet net niet aan de streefwaarde van 0,05 (geldend voor nieuwe situaties).

Alhoewel zowel de maximale trillingsterkte als de gemiddelde trillingsterkte in een zeer beperkt deel van gebouw F net niet voldoet aan de streefwaarde voor bestaande situaties, wordt opgemerkt dat de overschrijding zeer beperkt is. Voldoen aan de streefwaarde voor nieuwe situaties zal binnen het huidige ontwerpconcept niet mogelijk zijn, en kan alleen indien vergaande maatregelen worden getroffen.

Zoals aangegeven zijn in aanvulling op het constructieve ontwerp inmiddels al de volgende extra maatregelen getroffen:

- Er worden niet-voorgespannen breedplaatvloeren toegepast welke (ten opzichte van voorgespannen vloeren) een positief effect hebben op het beperken van de trillingen;
- De CSM wand wordt op 300 mm van de gebouwconstructie geplaatst, de spouw wordt gevuld met een flexibel materiaal zoals minerale wol o.g om te voorkomen dat er een starre koppeling ontstaat;
- Er worden extra funderingspalen toegepast.

Opgemerkt wordt dat ook de optie om kanaalplaatvloeren toe te passen is onderzocht. Echter het toepassen van deze vloeren beperkt de flexibiliteit (o.a. indeling van schachten) van het gebouw enorm waardoor de aanleg en uitvoering van installaties, welke mede in verband met de duurzaamheidsaspecten in het gebouw worden toegepast (o.a. WKO-leidingen en ventilatiekanalen), wordt bemoeilijkt. Daarnaast heeft dit bouwfysisch dan ook significante consequenties voor onder meer de thermische aspecten, luchtdichtheid en brandveiligheid.

3.2 Bouwdelen I, K en M

Zoals eerder gesteld zijn voor gebouw I, K en M geen berekeningen uitgevoerd maar wordt op basis van het verschil in meetresultaten in de bodem tussen beide locaties (gebouw F en I, K en M) en het verschil in ontwerp een inschatting gemaakt van de optredende trillingniveaus.

Figuur 3.3 toont de gemeten trillingniveaus ter plaatse van beide locaties.

f3.3 Gemeten trillingniveaus in de bodem ter plaatse van gebouw F en IKM



Op basis van figuur 3.3 volgt dat in horizontale richting sprake is van enige verschillen in de gemeten trillingen in de bodem bij IKM en F. Hierbij zijn met name de verschillen in het frequentiegebied tussen 20 en 40 Hz en het frequentiegebied boven 50 Hz relevant.

In het frequentiegebied tussen 20 en 40 Hz is de trillingsterkte in de bodem bij I, K en M groter dan bij F maar in het frequentiegebied boven 50 Hz is juist de trillingsterkte in de bodem bij F groter dan bij I, K en M.

In verticale richting zijn de trillingen in het frequentiegebied rond 10 Hz redelijk vergelijkbaar in de bodem bij I, K en M en F maar in het frequentiegebied tussen 20 en 50 Hz is een duidelijk verschil te zien waarbij de trillingen in de bodem bij I, K en M hoger zijn.

Deze waarden treden op in de bodem. Normaliter is bij overgang van bodem naar fundament sprake van een demping van de trillingen maar kan bij overgang van fundament naar het gebouw zelf sprake zijn van opslinging. Deze opslinging kan in verticale richting veroorzaakt worden door (vrij overspannen) vloervelden en in horizontale richting kan de gebouwconstructie verder nog voor opslinging zorgen.

Bij gebouw F wordt een fundering toegepast die bestaat uit poeren in combinatie met funderingsstroken op -3 m met daarboven een bergingslaag.

Bij gebouw I, K en M wordt een vergelijkbare fundering toegepast met als verschil dat de fundering op -6 m is gelegen in plaats van -3 m en dat op het fundament sprake is van 3 parkeerlagen in plaats van 1 bergingslaag. Daarnaast wordt er een dikke vloer (pakket totaal circa 1 m) tussen de parkeerlaag en de woningen aangebracht. Ook bij I, K en M zal een ontkoppelde CSM wand worden toegepast die vergelijkbaar is met F.

Daarnaast worden de vloeren van de parkeergarage uitgevoerd in kanaalplaten hetgeen ook een enigszins gunstig effect zal hebben op het dempen van de trillingen.

Voor zowel F alsook I, K en M geldt dat een paalfundering met poeren en funderingsstroken wordt toegepast waarbij de paallengte en het aantal palen per m² vergelijkbaar zal zijn. In verband met het dempen van de trillingen worden extra palen toegepast, ook bij I, K en M.

Als gevolg hiervan zal de demping van de overgang bodem naar fundament voor gebouw I, K en M gunstiger zijn dan in gebouw F.

Ten aanzien van mogelijke opslinging in het gebouw is de verwachting dat de vloerfrequenties maatgevend zullen zijn (overeenkomstig resultaten gebouw F).

In zowel gebouw F als gebouw I, K en M worden mede in verband met het maximaal reduceren van de trillingen ter plaatse van de woningen niet-voorgespannen breedplaatvloeren toegepast met een dikte van 290 mm. De vloerfrequentie hangt daarbij verder af van de overspanning. In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de minimale en maximale vloeroverspanning in de verschillende gebouwen.

t3.1 Overzicht toegepaste vloeroverspanningen

Gebouw	Vloeroverspanning	
	minimaal	maximaal
F	3,6 m	8,1 m
I	3,1 m	7,4 m
K	2,6 m	8,1 m
M	3,7 m	8,0 m

In bovenstaande tabel 3.1 is te zien dat de maximale vloeroverspanning redelijk vergelijkbaar is in de gebouwen. Bij dergelijke vloeroverspanningen is sprake van een eerste eigenfrequentie rond 10-15 Hz.

De minimale vloeroverspanning varieert tussen de 2,6 en 3,6 m. Deze vloeroverspanningen komen overeen met een eerste eigenfrequentie hoger dan 50 Hz.

Dit resulteert in deels vergelijkbare vloerfrequenties waarbij ook sprake zal zijn van vloerfrequenties in het frequentiegebied tussen 20 en 50 Hz. In dat frequentiegebied is in de bodem bij I, K en M meer aanstoting aanwezig maar deze bijdrage zal gezien de hoogte van de trillingsterkte in de bodem, minder relevant zijn dan de bijdrage bij 10 Hz.

Op basis hiervan is de verwachting dat in de vloeren van gebouw I, K en M de maximale trillingsterkte bepaald zal worden door de bijdrage bij 10 Hz. Aangezien het fundament van I, K en M voor meer demping zal zorgen dan F zal in gebouw I, K en M sprake zijn van lagere trillingsterkten dan in gebouw F, mogelijk met een maximale trillingsterkte tot 0,4 in de vloeren.

Met een waarde tot 0,4 wordt de streefwaarde voor nieuwe situaties overschreden maar wordt wel voldaan aan de streefwaarde voor bestaande situaties.

Deze waarden zullen naar verwachting wederom dan zeer lokaal optreden en over slechts een zeer klein deel van het totale vloeroppervlak.

Ook voor deze gebouwen I, K en M geldt dat het voldoen aan de streefwaarde voor nieuwe situaties binnen het huidige ontwerpconcept naar verwachting niet overal mogelijk zal zijn zonder dat zeer vergaande maatregelen worden getroffen.

4 Samenvattend

Teneinde met betrekking tot het nieuwbouwplan EKP fase 1 in 's-Hertogenbosch het effect van trilling veroorzaakt door het railverkeer op het spoortraject '*s-Hertogenbosch – Oss*' en '*s-Hertogenbosch – Zaltbommel*' te kunnen beoordelen is met behulp van een 3D-rekenmodel een uitgebreid trillingonderzoek uitgevoerd ten aanzien van met name gebouw F, op basis waarvan vervolgens een inschatting wordt gemaakt voor de bouwdelen I, K en M. Dit onderzoek is aanvullend en mede gebaseerd op de bevindingen tijdens een eerder verricht onderzoek waarbij ter plaatse trillingmetingen zijn verricht waarover separaat is gerapporteerd in rapport OG15918-1 d.d. 2-11-2021 (zie bijlage).

De resultaten van het onderzoek worden getoetst aan richtwaarden voor (voelbare) trillingen in de richtlijn B van de SBR.

Teneinde de trillingniveaus maximaal te beperken zijn er in het constructieve ontwerp extra maatregelen getroffen:

- Er worden niet-voorgespannen breedplaatvloeren toegepast welke ten opzicht van voorgespannen breedplaatvloeren een positief effect hebben op het beperken van de trillingen;
- De CSM wand wordt op 300 mm van de gebouwconstructie geplaatst, de spouw wordt gevuld met minerale wol of een gelijkwaardig flexibel materiaal om een starre koppeling te voorkomen;
- Er worden extra funderingspalen toegepast.

Deze maatregelen zijn meegenomen in de berekeningen.

4.1 Gebouw F

Uit de rekenresultaten volgt dat met betrekking tot gebouw F voor het overgrote deel van het totale vloeroppervlak (ca. 14.740 m² BVO), te weten ruim 98% van het totale vloeroppervlak van dit gebouw, wordt voldaan aan de richtwaarden die gelden voor nieuwbouw situaties. Conform de SBR is in deze woningen hinder ten gevolge van trillingen dan *niet of nauwelijks* te verwachten.

Over een vloeroppervlak van circa 230 m² (< 2%) wordt niet voldaan aan de richtwaarde voor nieuwbouw maar is sprake van een maximale trillingsterkte tussen 0,2 en 0,4 en wordt nagenoeg ook overal voldaan aan de gemiddelde waarde. Gesteld kan worden dat hier dan wel wordt voldaan aan de richtwaarde voor bestaande situaties. De SBR hanteert voor hiervoor de hinderkwalificatie '*weinig tot matige hinder te verwachten*'.

Over slechts een zeer klein deel van het totale vloeroppervlak van circa 16 m² (dit is << 1% van het totale vloeroppervlak) is sprake van een maximale trillingsterkte tussen 0,4 en 0,5 waarmee ook de richtwaarde voor bestaande situaties licht wordt overschreden. Hiervoor hanteert de SBR dan de hinderkwalificatie '*matige hinder*'.

Het vloeroppervlak waar deze trillingsterkte optreedt betreft één hoekwoning op de 4^e verdieping van het plan. Mogelijk dat de trillingsterkte hier nog kan worden verlaagd door ter plaatse van deze woning wel kanaalplaatvloeren toe te passen.

Of dit nog mogelijk is wordt, thans onderzocht door de ontwerpende partijen mede ook in relatie tot de installatietechnische en constructieve aspecten.

4.2 Gebouwen I, K en M

Het zwaardere fundament dat wordt toegepast ter plaatse van de bouwdelen I, K en M, maar ook de tussenliggende parkeergarage waar kanaalplaatvloeren worden toegepast, zullen ten opzichte van gebouw F voor meer demping zorgen naar de woningen in I, K en M. Hierdoor zal in gebouw I, K en M 'overall' dan ook sprake zijn van een lagere trillingsterkte dan in gebouw F.

Dit betekent dat ook in de bouwdelen I, K en M voor het overgrote deel van het vloeroppervlak (> 98%) zal worden voldaan aan de streefwaarden voor nieuwbouw.

Over een zeer beperkt deel van het vloeroppervlak kan mogelijk wel sprake zijn van een hogere trillingsterkte dan de richtwaarde voor nieuwbouw, maar verwacht wordt dat deze waarde dan maximaal 0,4 zou kunnen worden in de vloeren. Ook dit zal dan weer zeer lokaal optreden en over slechts een zeer klein deel van het totale vloeroppervlak van het gebouw. Hiermee wordt de streefwaarde voor nieuwe situaties dan licht overschreden maar wordt wel voldaan aan de streefwaarde voor bestaande situaties.

Met betrekking tot de bouwdelen I, K en M mag dus verwacht worden dat voor het overgrote deel van de woningen wordt voldaan aan de streefwaarden voor nieuwbouw waarbij er volgens de hinderkwalificatie van de SBR *niet of nauwelijks trillinghinder* is te verwachten. Voor een beperkt deel van het vloeroppervlak wordt dan voldaan aan de streefwaarde voor bestaande bouw. Volgens de SBR hinderkwalificatie kan daar dan sprake zijn van *'weinig tot matige hinder'*.



Mook,

Deze notitie bevat 11 pagina's en 1 bijlage.