

28 mei 2021 - Versie 1.0

Autorisatieblad

Trillingenonderzoek Helmond Liverdonk

Technische rapportage

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Gardien, W	✓	28-05-2021
Gecontroleerd door	Gasparotto, K	✓	28-05-2021
Vrijgegeven door	Wijnands, MNJH	✓	28-05-2021

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.1	Wybo Gardien	02-04-2021	Eerste interne concept
0.2	Wybo Gardien	04-05-2021	Gevalideerd en vrijgegeven door Mark Wijnands

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Doel	3
1.2	Aanpak	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Situatiebeschrijving en uitgangspunten	4
2.1	Omgeving	4
2.2	Geplande bebouwing	4
2.3	Uitgangspunten	4
3	Beoordelingskader	5
3.1	Algemeen	5
3.2	Grootheden	5
3.3	Streefwaarden	5
3.3.1.	<i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	6
3.3.2.	<i>Periode gedurende de dag</i>	6
3.3.3.	<i>Gebouwfunctie</i>	6
3.4	Beoordeling in huidige onderzoek	6
4	Meetresultaten	8
4.1	Inleiding	8
4.2	Meetresultaten trillingen op maaiveld	8
4.3	Overdracht van maaiveld naar fundering	9
4.4	Overdracht van fundering naar vloer	11
4.5	Afstandsdemping	13
5	Prognose trillingen	15
5.1	Methode	15
5.2	Prognose trillingen op basis van Woning 1	15
5.3	Prognose trillingen op basis van woning 2	16
5.4	Onzekerheden in prognose trillingen	19
6	Adviezen voor bewoners	21
6.1	Adviezen voor zone 1	21
6.1.1.	<i>Vloeren met hoge resonantie-frequentie</i>	22
6.2	Adviezen voor zone 2	22
6.3	Adviezen voor zone 3	22
6.4	Adviezen voor zone 4	23
	Colofon	24

Bijlage I Gegevens meting

Bijlage II Gemeten trillingen op maaiveld

1 Inleiding

In Helmond Liverdonk gaat de gemeente Helmond aan particulieren kavels verkopen voor de bouw van vrije-sectorwoningen met begane grond, eerste verdieping en zolder. De toekomstige bewoners zullen mogelijk te maken krijgen met hinder door trillingen vanuit de spoorlijn. De gemeente Helmond wil de bewoners hierbij ten dienste zijn. Om dit te bereiken wil de gemeente Helmond de toekomstige bewoners adviezen meegeven over hoe zij eventuele trillingshinder kunnen voorkomen. Hiervoor wordt een informatiefolder voor de bewoners opgesteld. Deze rapportage gaat over de technische achtergrond van de adviezen.

1.1 Doel

Het doel van het onderzoek is om de bewoners gerichte adviezen mee te geven.

- Met welke trillingen (amplitude en frequentie) dienen de bewoners rekening te houden?
- Welke bouwwijzen kunnen de bewoners beter vermijden?
- Welke maatregelen kunnen de bewoners nemen om de hinder van trillingen te beperken?

1.2 Aanpak

De aanpak voor het onderzoek die wij hebben gevolgd is:

1. Bepaling trillingen op maaiveld.
 - a. Door Cauberg-Huygen zijn op 5 verschillende posities in het gebied van Liverdonk trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd gedurende een periode van 10 dagen. Per meetpositie dienen de 5 zwaarste treinpassages als basis voor de te verwachten trillingen op maaiveld.
2. Bepaling trillingsoverdracht van maaiveld naar fundering en van fundering naar vloer.
 - a. In het gebied zijn al enkele woningen gerealiseerd. Hierdoor is het mogelijk om op basis van metingen een voor het project specifieke trillingsoverdracht van maaiveld naar fundering te bepalen. Op een tweetal adressen heeft Movares gedurende 1 dag deze overdracht gemeten. Daarnaast is in deze metingen ook de trillingsoverdracht van de fundering naar de vloeren gemeten.
3. Prognose van trillingen in het onderzoeksgebied. Aan de hand van de gemeten trillingen op maaiveld en de gemeten trillingsoverdrachten voorspellen we de trillingen in het onderzoeksgebied voor verschillende woningtypen en verschillende afstanden tot het spoor.
4. Opstellen adviezen voor bewoners. Aan de hand van de trillingsprognoses stellen we de adviezen voor de bewoners op.

1.3 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader voor trillingshinder staat beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat de trillingsprognose. Het laatste hoofdstuk beschrijft de adviezen voor de bewoners.

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de projectlocatie, de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

2.1 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich ten zuiden van de spoorlijn Eindhoven – Venlo, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. In de kaart zijn zones aangegeven voor 0-50, 50-75, 75-125 en meer dan 125 meter vanaf de spoorlijn.



Figuur 2-1 Plangebied Helmond Liverdonk

2.2 Geplande bebouwing

De geplande bebouwing betreft vrijstaande woningen. Alle woningen hebben 1 laag met kap. De goothoogte is 2,5 – 3,5 meter. Verder zijn de bewoners vrij in het ontwerp van hun woningen.

2.3 Uitgangspunten

Het onderzoek is gebaseerd op de volgende documenten:

- Rapportage “Trillingsonderzoek bestemmingsplan Brandevoort II Hazenwinkel – Liverdonk West, Cauberg Huygen, Referentie 05152-48861-02, 10 oktober 2019
 - Cauberg Huygen heeft de max-hold 1/3 oktaafbandspectra van de top-5 treinpassages per meetpunt verstrekt in de vorm van een Excel sheet
 - Voor de afname van de trillingen met de afstand tot het spoor wordt ontleend aan dit rapport
- Document 2020 10 26 DEFINITIEVE West kavelpaspoort 1a 1000 pdf kopie.pdf

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 langdurende ervaring met trillingen langs het spoor is schade als gevolg van passerende treinen onwaarschijnlijk op een afstand van meer dan 30 meter tot het spoor. 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. De 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 $v_{eff, max}$. Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de V_{max} . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit 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 indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, 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 trillingsintensiteit 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

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. In gevallen waarin in nieuwbouw onredelijke maatregelen moeten worden getroffen om aan de streefwaarden voor nieuwe situaties te voldoen, willen gemeenten nog wel eens de streefwaarden voor bestaande situaties toepassen, eventueel in combinatie met de eis dat in elk geval redelijke maatregelen toegepast zijn.

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. Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

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 voor nieuwe situaties en in Tabel 3-2 voor bestaande situaties. De huidige onderzoekslocatie heeft bestemming *wonen*, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-2.

Tabel 3-1 Streefwaarden 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 bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

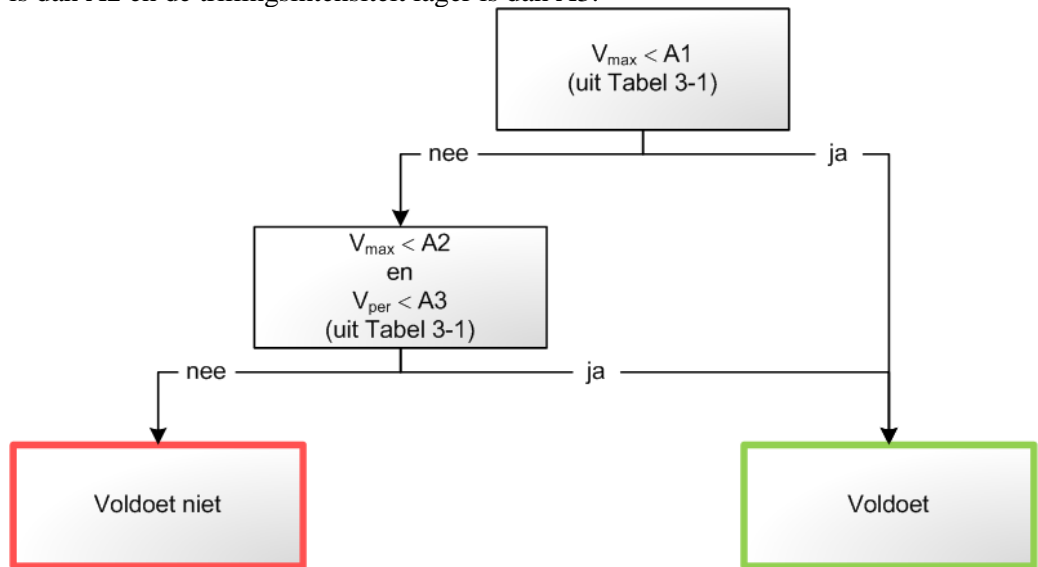
Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.2 ¹⁾	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
<i>Wonen</i>	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
<i>Kantoor</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Bijeenkomsten</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	--	0.1	0.1	--

¹⁾ Een streefwaarde van 0.2 betekent een waarde kleiner dan 0.25

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 trillingsintensiteit lager is dan A3.



Figuur 3-1 Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde metingen beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

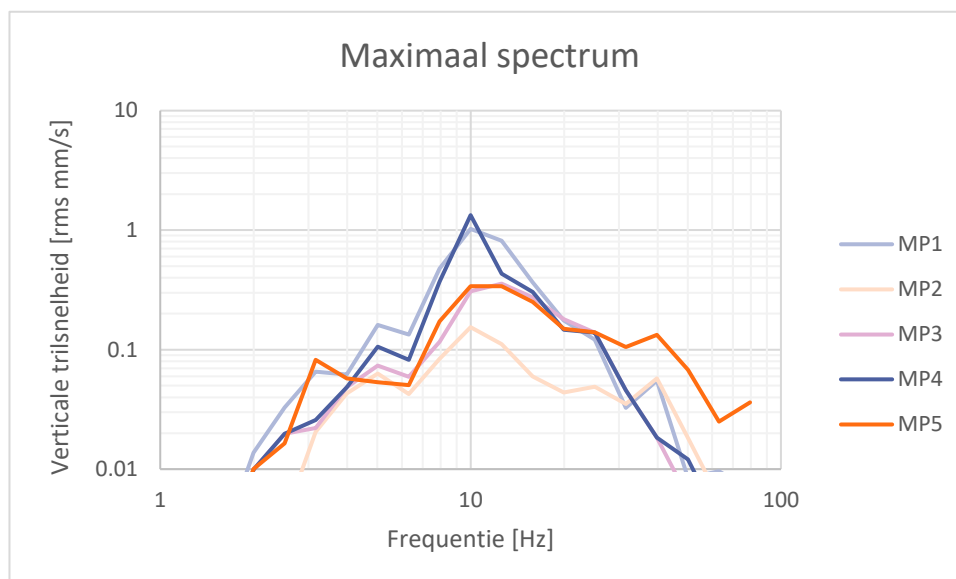
- a. Een meting met 5 meetpunten op maaiveld gedurende 10 dagen waarmee de trillingen op maaiveld zijn bepaald, en de afname van de trillingen met de afstand tot het spoor. Dit zijn metingen uitgevoerd door Cauberg-Huygen in 2019
- b. Metingen bij woningen gedurende een dag waarmee trillingsoverdrachten zijn bepaald:
 - i. De overdracht van maaiveld naar fundering;
 - ii. De overdracht van fundering naar de vloeren

4.2 Meetresultaten trillingen op maaiveld

De trillingen op maaiveld zijn in 2019 gemeten door Cauberg-Huygen. Cauberg-Huygen heeft op 5 punten op maaiveld gemeten. De locaties van de punten ten opzichte van het plan staan aangeduid in *Figuur 4-1*. De geleverde 1/3 oktaafbandspectra van de top-5 treinpassages per meetpunt zijn opgenomen in Bijlage III. In **Figuur 4-2** staan de maximaal gemeten spectrale waarden weergegeven. Hieruit blijkt dat een frequentie van 10 Hz de grootste bijdrage aan de trillingen geeft.



Figuur 4-1 Locaties meetpunten maaiveld 2019



Figuur 4-2 Maximaal gemeten spectrale waarden bij de meetpunten op maaiveld

4.3 Overdracht van maaiveld naar fundering

Van 12-3-2021 tot 13-3-2021 zijn trillingsoverdrachten gemeten in twee recent gerealiseerde woningen in het onderzoeksgebied. In dit rapport worden deze woningen woning 1 en woning 2 genoemd. De eigenschappen van de metingen staan in Bijlage I.

Woning 1 bestaat uit een begane grond, een verdieping en een vliering. De fundering is een strokenfundering op staal. De begane grondvloer is gemaakt van gewapend beton (120 mm) met schrale beton en vloertegels (samen 90 mm) en de verdiepingsvloer bestaat uit breedplaten met een dikte van 240 mm en een cementdekvloer van 90 mm. De dragende delen van de gevels zijn opgebouwd uit porisostenen.

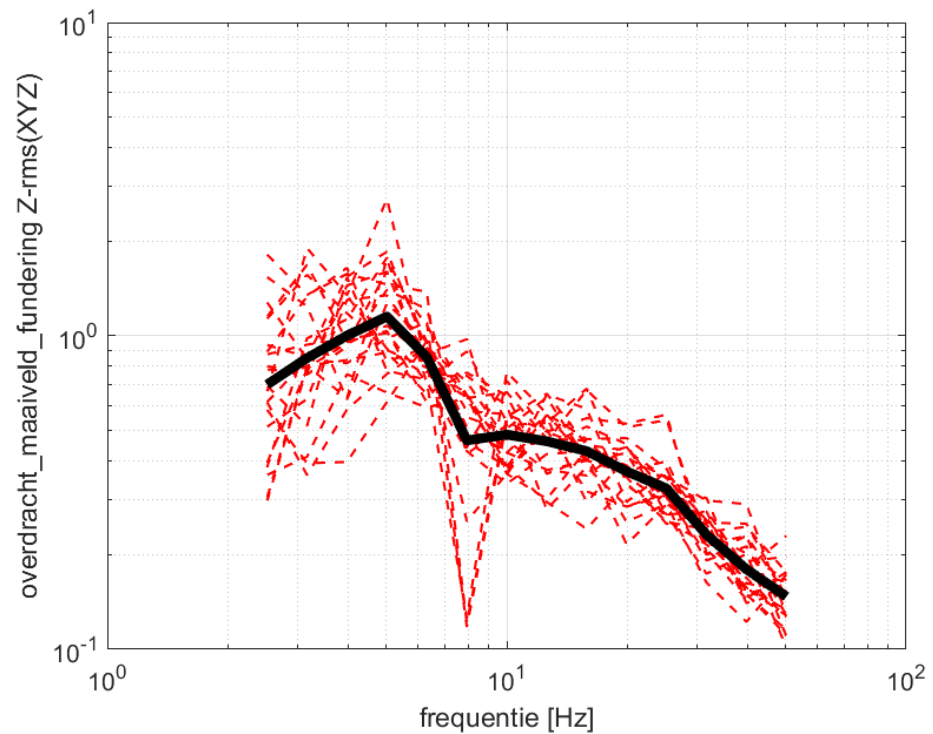
Woning 2 heeft een lichtere constructie dan woning 1. Deze woning bestaat uit een begane grond, een verdieping en een zolder. De fundering is een strokenfundering op staal. De begane grondvloer is gemaakt van gewapend beton (ca. 160 mm) met een xps isolatielaag van 130 mm en een cementdekvloer van 80 mm. De verdiepingsvloeren en dragende delen van de gevels zijn gemaakt van houten SIPS panelen.

Gemeten trillingen op maaiveld in de horizontale richting blijken vaak erg afhankelijk van de lokale bodemeigenschappen ter plaatse van de sensor. De verticale trillingsrichting vertoont het meest stabiele beeld. Voor de overdracht van maaiveld naar fundering gaan we daarom uit van de maaiveldtrillingen die zijn gemeten in de verticale trillingen.

Verticale trillingen op de fundering kunnen zich vertalen in zowel horizontale als verticale trillingen in de woning. Horizontale trillingen op de fundering leiden vooral tot horizontale trillingen in de woning, maar kunnen ook tot verticale trillingen in de woning leiden. Daarom wordt voor de funderingstrillingen uitgegaan van de (rms) gemiddelde waarde van de X, Y en Z component.

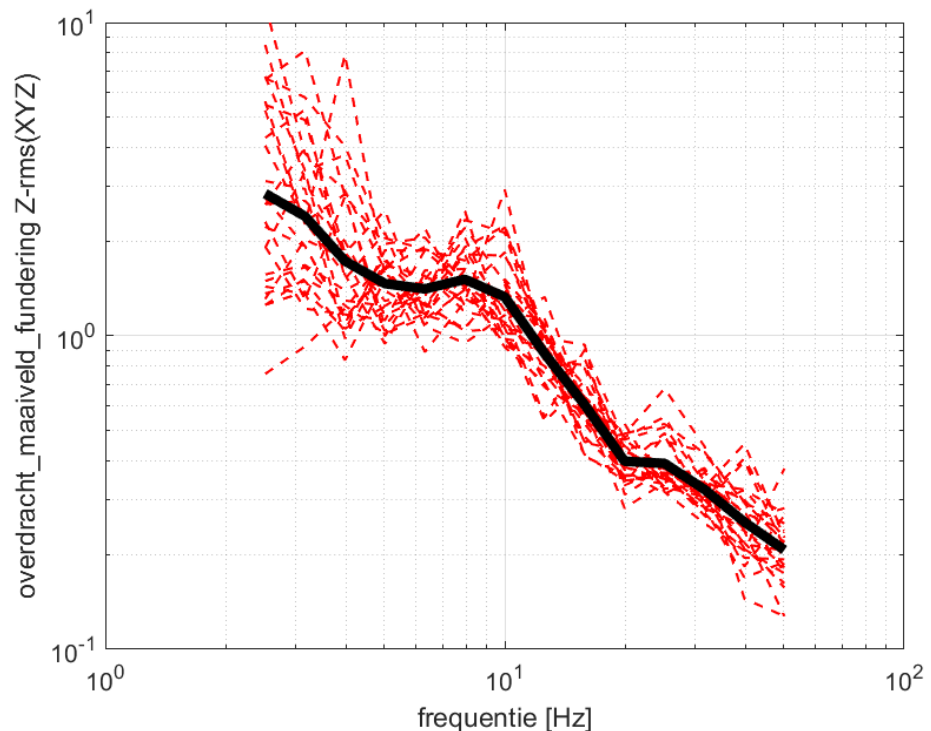
De gemeten overdracht van verschillende treinpassages en de gemiddelde overdracht staat in Figuur 4-3 voor Woning 1. Het frequentiebereik van de horizontale as gaat van

1 tot 100 Hz (10^0 tot 10^2 Hz). Een overdracht van minder dan 1.0 (minder dan 10^0) betekent dat trillingen op de funderingen kleiner zijn dan op maaiveld. Vanaf ca. 6 Hz zijn de trillingen op de fundering aanzienlijk lager dan op maaiveld. Bij 10 Hz is er al ca. 50% reductie ($\approx 5 \cdot 10^{-1}$), en boven 40 Hz is de reductie meer dan 80% (minder dan $2 \cdot 10^{-1}$).



Figuur 4-3 Woning 1: Gemeten overdracht van maaiveld naar fundering afhankelijk van frequentie tussen 2.5 en 50 Hz. Gemeten overdracht van maaiveld naar fundering afhankelijk van frequentie tussen 2.5 en 50 Hz. Overdracht = verhouding gemeten niveau fundering / gemeten niveau maaiveld. Als verhouding < 1 (10^0) is, dan ligt niveau fundering beneden niveau maaiveld; als verhouding > 1 (10^0) is, dan ligt niveau fundering boven niveau maaiveld. Rode lijnen zijn individuele treinpassages, en zwarte lijn is gemiddelde.

De gemeten overdracht van verschillende treinpassages en de gemiddelde overdracht staat in Figuur 4-4 voor Woning 2. Vanaf ca. 10 Hz zijn de trillingen op de fundering lager dan op maaiveld. Vanaf 20 Hz is er ca. 50% reductie, en vanaf 40 Hz ca. 75% reductie.



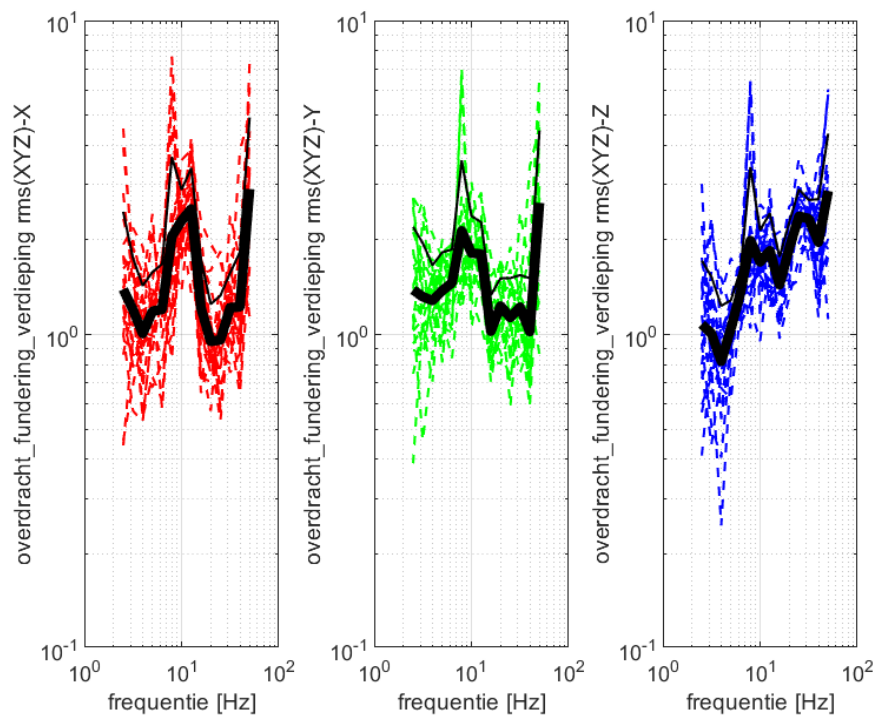
Figuur 4-4 Woning 2: Gemeten overdracht van maaiveld naar fundering afhankelijk van frequentie. Overdracht = verhouding gemeten niveau fundering / gemeten niveau maaiveld. Als verhouding < 1 (10^0) is, dan ligt niveau fundering beneden niveau maaiveld; als verhouding > 1 (10^0) is, dan ligt niveau fundering boven niveau maaiveld. Rode lijnen zijn individuele treinpassages, en zwarte lijn is gemiddelde.

4.4 Overdracht van fundering naar vloer

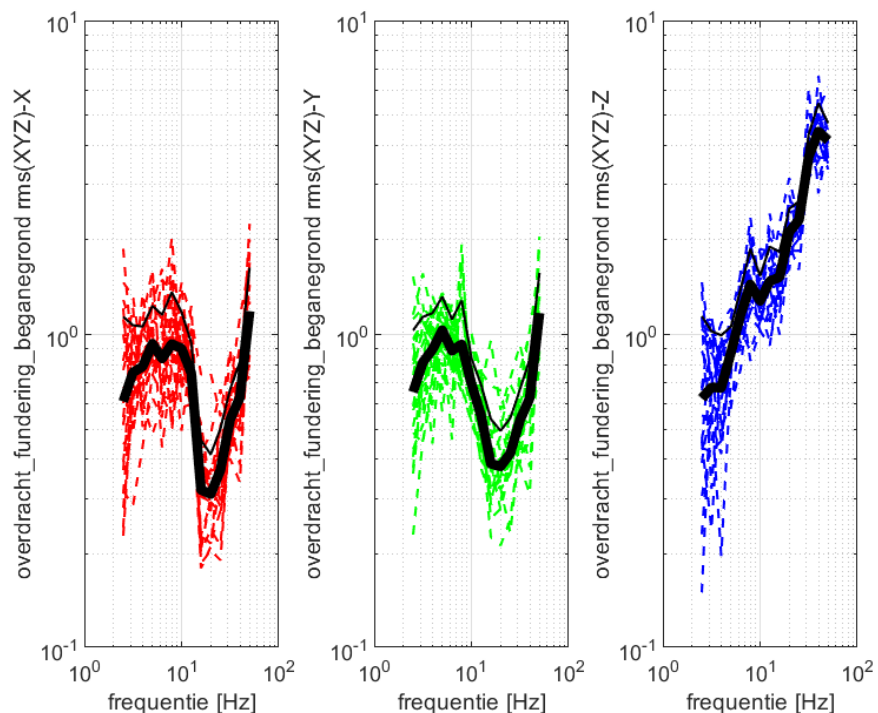
Bij Woning 1 is de overdracht van fundering naar de begane grond en de verdieping gemeten. Voor de trillingen op de fundering is uitgegaan van het (rms) gemiddelde van de X, Y en Z richting. Op de vloeren is er onderscheid gemaakt tussen de X, Y en Z-richting. De X-richting is horizontaal parallel aan de straat, de Y richting horizontaal loodrecht op de weg en de Z-richting verticaal.

Het frequentiebereik van de horizontale assen gaat van 1 tot 100 Hz (10^0 tot 10^2 Hz). Een overdracht van meer dan 1.0 (meer dan 10^0) betekent dat trillingen op de vloer groter zijn dan op de fundering.

In de figuren zijn zowel de gemiddelde overdracht als de representatieve overdracht weergegeven (gemiddelde + 1 standaarddeviatie). Uit een vergelijking met de gemeten V_{\max} -waarden op de vloeren is gebleken dat de V_{\max} -waarde berekend kan worden uit een combinatie van de maaiveldmetingen, de gemiddelde funderingsoverdracht en de representatieve vloeroverdracht.



Figuur 4-5 Woning 1: Gemeten overdracht van fundering naar verdieping afhankelijk van frequentie. Overdracht = verhouding gemeten niveau verdieping / gemeten niveau fundering. Als verhouding < 1 (10^0) is, dan ligt niveau verdieping beneden niveau fundering; als verhouding > 1 (10^0) is, dan ligt niveau verdieping boven niveau fundering. Geleerde lijnen zijn individuele treinpassages, dikke zwarte lijn is gemiddelde en dunne zwarte lijn is gemiddelde + 1 standaarddeviatie.



Figuur 4-6 Woning 1: Gemeten overdracht van fundering naar de begane grond afhankelijk van frequentie. Overdracht = verhouding gemeten niveau begane grond / gemeten niveau fundering. Als verhouding < 1 (10^0) is, dan ligt niveau begane grond beneden niveau fundering; als verhouding > 1 (10^0) is, dan ligt niveau begane grond boven niveau fundering. Geleerde lijnen zijn individuele treinpassages, dikke zwarte lijn is gemiddelde en dunne zwarte lijn is gemiddelde + 1 standaarddeviatie.

4.5 Afstandsdemping

De afname van trillingen met de afstand tot het spoor wordt bepaald met de Barkan vergelijking. Met deze formule kan op basis van een bekende trillingssterkte op een referentieafstand en een waarde voor de bodemdemping en het type trillingsbron, de trillingssterkte op een andere afstand worden berekend. De Barkan vergelijking heeft de volgende vorm:

$$V_{eff}(r) = V_{eff}(r_0) \left(\frac{r_0}{r}\right)^n \exp(\alpha(r_0 - r))$$

$V_{eff}(r)$ Effectieve trilsneheid op afstand r van de bron
 r_0 Referentieafstand
 n Parameter voor geometrische spreiding (meestal tussen 0 en 1)
 α Parameter voor bodemdemping

In het onderzoek van Cauberg-Huygen is de afstandsdemping bepaald aan de hand van de maaiveldmetingen. Dit leidde tot de volgende parameters uit de Barkan vergelijking:

n	alfa (worst case)	alfa (best case)
0.25	0.015	0.037

In deze analyse houden we de *worst case* waarde voor alfa aan.

5 Prognose trillingen

5.1 Methode

Aan de hand van de gemeten trillingen op maaiveld, de overdracht van maaiveld naar fundering en de overdracht van fundering naar vloeren, worden de trillingen in het plangebied voorspeld.

- De trillingen op maaiveld zijn afkomstig van de maaiveldmetingen van Cauberg-Huygen uit 2019.
- De overdracht van maaiveld naar fundering is gemeten bij twee woningen in het plangebied.
- De overdracht van fundering naar vloer is de gemeten overdracht bij een woning in het plangebied, aangevuld met theoretische overdrachten voor andere woningtypen.
- Met de Barkanvergelijking worden de voorspelde trillingen ter plaatse van de maaiveldmeetpunten vertaald naar trillingen op andere afstanden tot het spoor.

De effectieve waarde van de trillingen op de vloeren is als volgt berekend:

$$V_{eff,vloer} = V_{eff,maaiveld} * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_v(f_i) * H_{mf}(f_i) * H_{fv}(f_i) * v_{rms}(f_i))^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_v(f_i) * v_{rms}(f_i))^2}}$$

$V_{eff,maaiveld}$	gemeten effectieve waarde op maaiveld
$H_v(f_i)$	SBR-B wegingsfunctie (paragraaf 9.2 uit SBR-B richtlijn)
$H_{mf}(f_i)$	Gemiddelde (gemeten) overdracht van maaiveld naar fundering
$H_{fv}(f_i)$	Representatieve gemeten overdracht van fundering naar vloer
$v_{rms}(f_i)$	Gemeten 1/3 oktaafbandwaarde behorende bij gemeten V_{eff} -waarde op maaiveld
f_i	1/3 oktaafband middenfrequentie van voor $i=1..20$ (1..80 Hz)

5.2 Prognose trillingen op basis van Woning 1

In Tabel 5-2 en Tabel 5-2 staan de voorspelde trillingen op basis van de maaiveldmetingen en de gemeten overdrachten in woning 1 voor de begane grond en de fundering. Bij een vergelijkbare bouwwijze als woning 1 met betonnen breedplaatvloeren, zijn deze trillingssterkten haalbaar. In gehele plangebied zijn de voorspelde trillingen lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties (0.4), en vanaf 75 meter en verder van het spoor zijn de voorspelde trillingen ook lager dan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

Tabel 5-1 *Geprognosticeerde trillingen begane grond op basis van maaiveldmetingen en overdrachten Woning 1. Overschrijdingen van de streefwaarde voor nieuwe situaties zijn oranje gearceerd.*

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	Maximaal
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
alfa	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	
r0	38	59	38	59	38	
V0	0.19	0.16	0.11	0.18	0.31	
Afstand	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax
35	0.20		0.12		0.33	0.33
50	0.15	0.20	0.09	0.21	0.24	0.24
75	0.09	0.12	0.05	0.13	0.15	0.15
100	0.06	0.08	0.03	0.08	0.10	0.10
125	0.04	0.05	0.02	0.05	0.06	0.06

Tabel 5-2 *Geprognosticeerde trillingen verdieping op basis van maaiveldmetingen en overdrachten Woning 1 Overschrijdingen van de streefwaarde voor nieuwe situaties zijn oranje gearceerd.*

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	Maximaal
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
alfa	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	
r0	38	59	38	59	38	
V0	0.30	0.25	0.11	0.31	0.30	
Afstand	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax
35	0.32		0.12		0.32	0.37
50	0.23	0.30	0.09	0.37	0.23	0.37
75	0.14	0.19	0.05	0.23	0.14	0.23
100	0.09	0.12	0.03	0.15	0.09	0.15
125	0.06	0.08	0.02	0.09	0.06	0.09

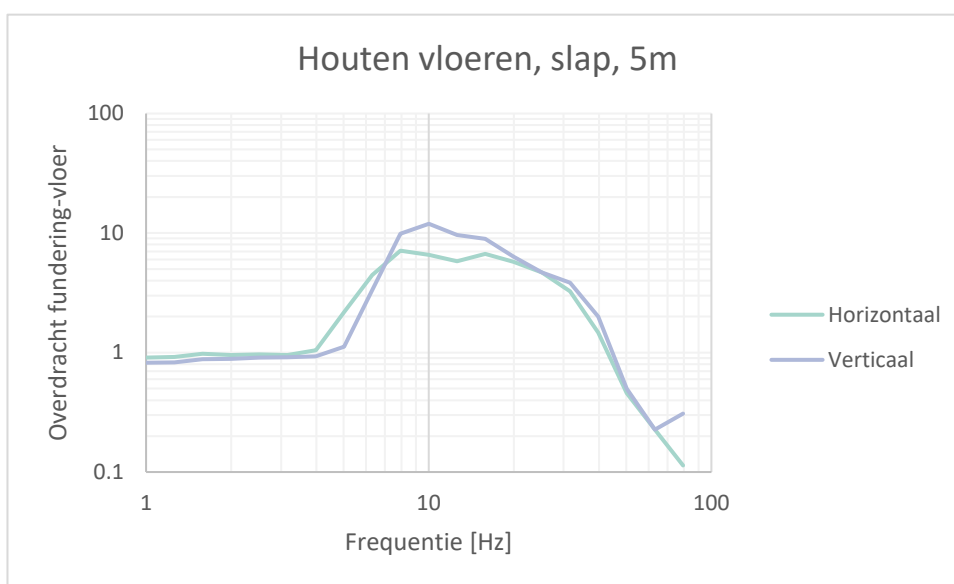
5.3 Prognose trillingen op basis van woning 2

Bij woning 2 is de overdracht maaiveld-fundering gemeten. Ook is in deze woning op de vloeren gemeten, maar deze metingen bleken bij de verwerking niet geschikt voor een trillingsprognose. Voor de overdracht fundering-vloer wordt daarom gebruik gemaakt van verschillende theoretisch bepaalde overdrachten. Woning 2 is een woning met een houten draagconstructie. Voor deze woning zijn de trillingen voorspeld voor 3 typen houten vloeren:

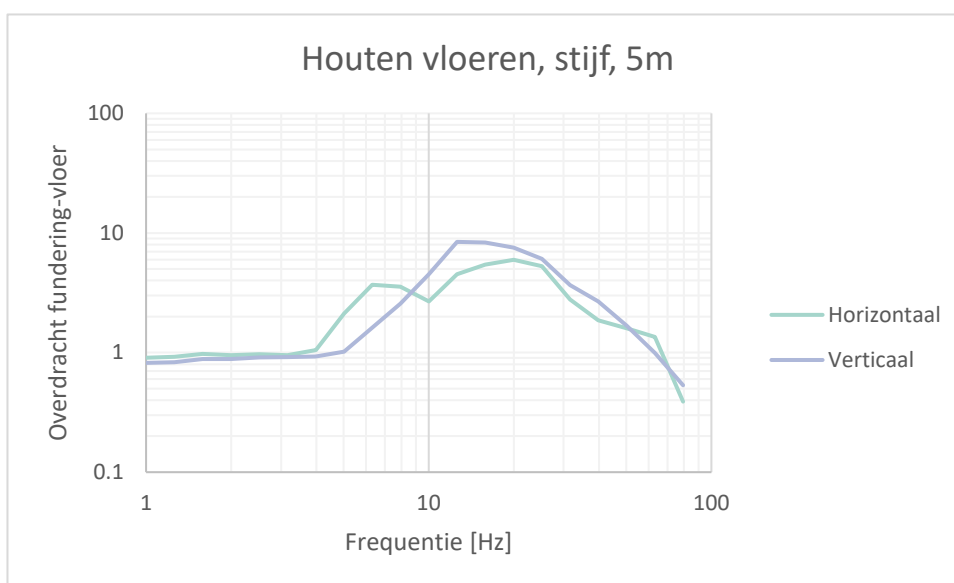
Tabel 5-3 Voorspelde trillingsniveau voor 3 typen houten vloeren

Type	Overspanning [m]	Resonantiefrequentie
Slappe houten vloer	5	9.6 Hz
Stijve houten vloer	5	14 Hz
Zeer stijve houten vloer	4	17.1 Hz

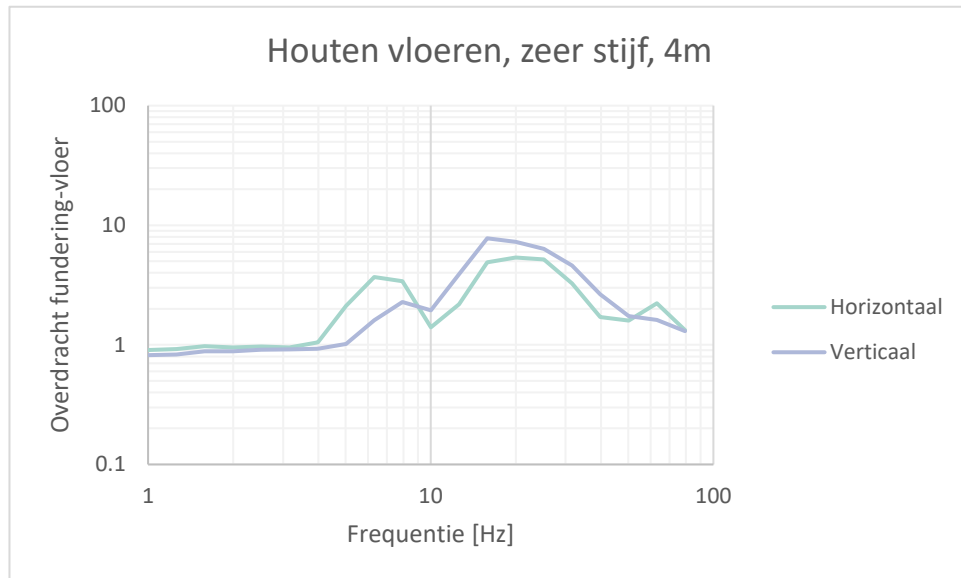
De gehanteerde overdrachten zijn weergegeven in Figuur 5-1, Figuur 5-2 en Figuur 5-3



Figuur 5-1 Overdracht fundering-vloer slappe houten vloer



Figuur 5-2 Overdracht fundering-vloer stijve houten vloer



Figuur 5-3 Overdracht fundering-vloer zeer stijve houten vloer

De voorspelde trillingen voor de 3 typen houten vloeren staan in Tabel 5-4, Tabel 5-5 en Tabel 5-6. Hieruit blijkt dat bij de toepassing van slappe vloeren in het gehele plangebied trillingen kunnen optreden die hoger zijn dan de streefwaarden voor bestaande situaties. Bij stijve houten vloeren zijn de voorspelde trillingen vanaf 125 meter (zone 4) lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties. Met de toepassing van zeer stijve houten vloeren zal in de meeste gevallen vanaf 75 meter (zone 3) aan de streefwaarden voor bestaande situatie worden voldaan, en vanaf 125 meter (zone 4) aan de streefwaarden voor nieuwe situatie.

Tabel 5-4 Voorspelde trillingen slappe houten vloeren, overschrijding streefwaarde bestaande situatie is rood gearceerd. Overschrijdingen van de streefwaarde voor nieuwe situaties zijn oranje gearceerd.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
alfa	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	
r0	38	59	38	59	38	
v0	2.47	2.38	0.71	3.26	1.38	
	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax
35	2.64		0.76		1.47	3.89
50	1.93	2.84	0.55	3.89	1.07	3.89
75	1.20	1.76	0.34	2.41	0.67	2.41
100	0.77	1.13	0.22	1.54	0.43	1.54
125	0.50	0.73	0.14	1.00	0.28	1.00

Tabel 5-5 Voorspelde trillingen stijve houten vloeren, overschrijding streefwaarde bestaande situatie is gearceerd. Overschrijdingen van de streefwaarde voor nieuwe situaties zijn oranje gearceerd.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
alfa	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	
r0	38	59	38	59	38	
v0	1.08	1.04	0.45	1.32	0.79	
	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax
35	1.16		0.48		0.85	1.57
50	0.84	1.25	0.35	1.57	0.62	1.57
75	0.52	0.77	0.22	0.98	0.38	0.98
100	0.34	0.50	0.14	0.62	0.25	0.62
125	0.22	0.32	0.09	0.41	0.16	0.41

Tabel 5-6 Voorspelde trillingen voor zeer stijve houten vloeren, overschrijding streefwaarde bestaande situatie is gearceerd. Overschrijdingen van de streefwaarde voor nieuwe situaties zijn oranje gearceerd.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	Maximaal
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
alfa	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	
r0	38	59	38	59	38	
v0	0.61	0.57	0.38	0.62	0.55	
	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax	Vmax
35	0.65		0.41		0.59	0.74
50	0.48	0.68	0.30	0.74	0.43	0.74
75	0.30	0.43	0.18	0.46	0.27	0.46
100	0.19	0.27	0.12	0.30	0.17	0.30
125	0.12	0.18	0.08	0.19	0.11	0.19

5.4 Onzekerheden in prognose trillingen

Het voorspellen van trillingen gaat gepaard met onzekerheden. Hierdoor kunnen ook binnen een beperkt gebied, zoals het plangebied van Helmond Liverdonk, variaties optreden. In onderstaande tabel is een aantal onzekerheden opgesomd, is een (kwalitatieve) inschatting gemaakt van het effect, en staat beschreven hoe er met deze onzekerheid wordt omgegaan.

Onzekerheid	Effect	Verwerking in dit project
Variaties in bodemeigenschappen bij sensor	Vooraf horizontale trillingen op maaiveld worden sterk beïnvloed door lokale bodem rondom sensor. Trillingen op fundering worden minder sterk beïnvloed.	Alleen verticale trillingen worden gebruikt voor prognose.
Variaties in bodemeigenschappen in gebied	Tussen meetpunten op maaiveld onderling treden aanzienlijke verschillen op	Prognose wordt uitgevoerd voor alle maaiveldmeetpunten. Advies wordt gebaseerd op het meest ongunstige uitkomst (worst case)
Variaties in overdracht maaiveld – fundering	Trillingen kunnen van gebouw tot gebouw verschillen	Metingen overdracht maaiveld-fundering bij 2 woningen in plangebied om overdracht meer specifiek te maken voor het plangebied
Variaties in overdracht fundering – vloer	Trillingen kunnen van gebouw tot gebouw verschillen	Metingen overdracht fundering-vloer in woning om overdracht meer specifiek te maken voor het plangebied. Daarnaast wordt op basis van theoretische overdrachten prognoses gedaan voor verschillende houten vloeren om inzicht te krijgen in het effect van verschillende vloeren.
Variatie in de tijd	Bij andere locaties in Nederland is gebleken dat er variaties van trillingen in de tijd (seizoenen) kunnen optreden. Een voorbeeld van een risicofactor is de nabijheid van een overweg. Variaties in de tijd met een ordegrootte van 50% zijn mogelijk.	Deze onzekerheid is niet in rekening gebracht. Of er hier grote variaties in de tijd optreden, kan alleen worden vastgesteld met zeer langdurige metingen over een periode van maanden of jaren. Er zijn niet direct redenen om aan te nemen dat er hier grote seizoensvariaties optreden omdat: <ul style="list-style-type: none"> • Een risicofactor zoals de nabijheid van een overweg is hier niet aanwezig. • De trillingen die door Movares op maaiveld zijn gemeten ten behoeve van de overdrachtsmetingen waren niet hoger dan de trillingen die door Cauberg-Huygen op maaiveld zijn gemeten in 2019

6 Adviezen voor bewoners

Dit onderzoek is uitgevoerd om bewoners adviezen mee te geven om hinder van trillingen zo veel mogelijk te beperken. De adviezen zijn ingedeeld in zones (Figuur 6-1). Zone 1 het dichtst bij de spoorlijn enzovoorts. Per zone bestaan de adviezen uit drie onderdelen:

- Met welke trillingfrequenties moeten bewoners rekening houden?
- Is er eventueel een bouwwijze of woningtype dat beter kunt vermeden kan worden?
- Welke maatregelen kunnen toegepast worden voor het beperken van eventuele trillinghinder?



Figuur 6-1 Plangebied Helmond Liverdonk

6.1 Adviezen voor zone 1

Zone 1 betreft de woningen het dichtst bij het spoor aan de straat Martinalidonk tot een afstand van ca. 50 meter van de spoorlijn.

Frequenties:

Bewoners moeten rekening houden met de volgende trillingfrequenties: 3 tot 20 Hz op het maaiveld, met een top bij 10 Hz.

Te vermijden bouwwijzen of woningtypen:

In zone 1 kunnen voor de plaatsen waar personen verblijven beter lichte bouwconstructies vermeden worden. Een voorbeeld hiervan is houtskeletbouw.

Maatregelen voor het beperken van eventuele trillinghinder:

- Vloeren met een eerste resonantiefrequentie van minimaal 15 Hz en bij voorkeur hoger dan 20 Hz.
- Betonnen vloeren, zoals bijvoorbeeld breedplaatvloeren.

- Dragende wanden in twee richtingen (evenwijdig aan het spoor en loodrecht op het spoor). Dit is om opslinging van trillingen op de verdiepingen te beperken.
- Bewoners die gevoelig zijn voor trillingen, kunnen bij de inrichting van hun woning bijvoorbeeld bedden plaatsen daar waar de trillingen het laagst zijn. Dit is meestal op de laagste woonlaag, en dicht bij plaatsen waar vloeren ondersteund worden door wanden of de fundering.

6.1.1. Vloeren met hoge resonantiefrequentie

Een hoge resonantiefrequentie van de vloer kan bereikt worden door:

- Korte overspanningen, bij voorkeur 5 meter of minder.
- Ingeklemden vloeren (niet scharnierend opgelegd).
- Dikke vloeren.

In de tabel hieronder is met een groene kleur aangeduid welke vloeren een resonantiefrequentie hoger dan 20 Hz hebben. Vooral het inklemmen van de vloeren en het verkorten van overspanningen leidt tot een hoge resonantiefrequentie.

Tabel 6-1 Resonantiefrequentie betonnen vloeren

Resonantie- frequentie vloer [Hz]	200 mm beton 90 mm cementdek		240 mm beton 90 mm cementdek		280 mm beton 90 mm cementdek	
	Inge- klemd	Schar- nierend	Inge- klemd	Schar- nierend	Inge- klemd	Schar- nierend
3	87.4	38.5	107.9	47.6	128.0	56.4
4	49.2	21.7	60.7	26.7	72.0	31.7
5	31.5	13.9	38.9	17.1	46.1	20.3
6	21.9	9.6	27.0	11.9	32.0	14.1
7	16.1	7.1	19.8	8.7	23.5	10.4
8	12.3	5.4	15.2	6.7	18.0	7.9

6.2 Adviezen voor zone 2

In zone 2 zijn vergelijkbare trillingen gemeten als in zone 1. Voor zone 2 zijn daarom dezelfde adviezen van toepassing als in zone 1.

6.3 Adviezen voor zone 3

Zone 3 ligt tussen 75 en 125 meter van de spoorlijn. Ook in deze zone dient bij de bouw rekening met trillingen te worden gehouden om hinder van trillingen te beperken.

Frequenties:

Bewoners moeten rekening houden met de volgende trillingfrequenties: 3 tot 20 Hz op het maaiveld, met een top bij 10 Hz.

Te vermijden bouwwijzen of woningtypentypen:

In zone 3 kunnen voor de plaatsen waar personen verblijven beter lichte bouwconstructies vermeden worden. Een voorbeeld hiervan is houtskeletbouw. Het advies is daarom om houtskeletbouw te vermijden.

Maatregelen voor het beperken van eventuele trillinghinder:

- Vloeren met een eerste resonantiefrequentie van minimaal 15 Hz en bij voorkeur hoger dan 20 Hz.
- Betonnen vloeren, zoals bijvoorbeeld breedplaatvloeren. Eventueel kunnen ook houten vloeren met een hoge resonantiefrequentie van minimaal 20 Hz toegepast worden, maar daar zijn meer trillingen bij te verwachten dan bij betonnen vloeren.
- Dragende wanden in twee richtingen (evenwijdig aan het spoor en loodrecht op het spoor). Dit is om opslinging van trillingen op de verdiepingen te beperken.
- Bewoners die gevoelig zijn voor trillingen, kunnen bij de inrichting van hun woning bijvoorbeeld bedden plaatsen daar waar de trillingen het laagst zijn. Dit is meestal op de laagste woonlaag, en dicht bij plaatsen waar vloeren ondersteund worden door wanden of de fundering.

Bij de adviezen voor zone 1 staan voorbeelden van resonantiefrequenties voor betonnen vloeren.

6.4 Adviezen voor zone 4

Zone 4 is de zone vanaf 125 meter van de spoorlijn. Ook in deze zone dient bij de bouw rekening met trillingen te worden gehouden om hinder van trillingen te beperken.

Frequenties:

Bewoners moeten rekening houden met de volgende trillingfrequenties: 3 tot 20 Hz op het maaiveld, met een top bij 10 Hz.

Te vermijden bouwwijzen of woningtypen:

In zone 4 kunnen voor de plaatsen waar personen verblijven beter lichte bouwconstructies vermeden worden. Een voorbeeld hiervan is houtskeletbouw. Het advies is daarom om houtskeletbouw te vermijden.

Maatregelen voor het beperken van eventuele trillinghinder:

- Vloeren met een eerste resonantiefrequentie van minimaal 12,5 Hz.
- Betonnen vloeren, zoals bijvoorbeeld breedplaatvloeren. Houten vloeren kunnen ook worden toegepast indien de resonantiefrequentie minimaal 12,5 Hz is, maar daar zijn meer trillingen bij te verwachten dan bij betonnen vloeren.
- Dragende wanden in twee richtingen (evenwijdig aan het spoor en loodrecht op het spoor). Dit is om opslinging van trillingen op de verdiepingen te beperken.
- Als u gevoelig bent voor trillingen, kunt u bij de inrichting van uw woning bijvoorbeeld bedden plaatsen daar waar de trillingen het laagst zijn. Dit is meestal op de laagste woonlaag, en dicht bij plaatsen waar vloeren ondersteund worden door wanden of de fundering.

Bij de adviezen voor zone 1 staan voorbeelden van resonantiefrequenties voor betonnen vloeren.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Helmond

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalse Kwint
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 0622624927

Ondertekenaar
Adviseur

Projectnummer MN002458

Kenmerk D79-WGA-KA-2100027

© 2021, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, 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.

Bijlage I Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Wybo Gardien e-mail: wablo.gardien@movares.nl tel.: 06- 22 624 927</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz</i>
3	Tijdspanne meting	<i>12-3-2021 12:30 tot 13-3-2021 9:53 (Woning 1) 12-3-2021 15:48 tot 13-3-2021 10:50 (Woning 2)</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Vrijstaande woningen</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie onderstaande plattegronden</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage II</i>
8	Meetposities	<i>Zie onderstaande plattegronden</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>6 3D-geofoons Sensor 6_1 (Woning 1, meting maaiveld) Sensor 20 (Woning 1, meting fundering) Sensor 14_1 (Woning 1, meting verdieping) Sensor 12_1 (Woning 1, meting begane grond) Sensor 18_1 (Woning 2, meting maaiveld) Sensor 19 (Woning 2, meting fundering)</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX. Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 5 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

Top 5 max hold 1/3 oktaafbandspectrum MP5 MT36

Third Oct ave Spectrum (Maximum) Filename: ...treinen\MT36\19138193.XMR				Third Oct ave Spectrum (Maximum) Filename: ...treinen\MT36\19138213.XMR				Third Oct ave Spectrum (Maximum) Filename: ...treinen\MT36\19139039.XMR				Third Oct ave Spectrum (Maximum) Filename: ...treinen\MT36\19141186.XMR				Third Oct ave Spectrum (Maximum) Filename: ...treinen\MT36\19142201.XMR			
Frequency	Chan 1 / X	Chan 2 / Y	Chan 3 / Z	Frequency	Chan 1 / X	Chan 2 / Y	Chan 3 / Z	Frequency	Chan 1 / X	Chan 2 / Y	Chan 3 / Z	Frequency	Chan 1 / X	Chan 2 / Y	Chan 3 / Z	Frequency	Chan 1 / X	Chan 2 / Y	Chan 3 / Z
Hz	mm/s	mm/s	mm/s	Hz	mm/s	mm/s	mm/s	Hz	mm/s	mm/s	mm/s	Hz	mm/s	mm/s	mm/s	Hz	mm/s	mm/s	mm/s
1	0.001533	0.0006958	0.0001397	1	0.003353	0.0009651	0.0002722	1	0.0004912	0.0002519	0.000205	1	0.00249	0.000745	0.0001724	1	0.00162	0.0007756	0.000185
1.25	0.001421	0.0005838	0.0001599	1.25	0.00127	0.0004474	0.0001553	1.25	0.0007306	0.0003793	0.0001893	1.25	0.001578	0.0004743	0.0002362	1.25	0.0009951	0.0007441	0.000214
1.6	0.0041	0.001538	0.002159	1.6	0.002341	0.0009747	0.002063	1.6	0.001763	0.0005216	0.0005801	1.6	0.002373	0.0009146	0.001139	1.6	0.002568	0.0009461	0.002165
2	0.006474	0.00391	0.001188	2	0.002471	0.00257	0.001631	2	0.004666	0.001772	0.001588	2	0.003663	0.002242	0.003248	2	0.003436	0.002322	0.002602
2.5	0.005145	0.007449	0.006449	2.5	0.00295	0.004239	0.005472	2.5	0.003418	0.003724	0.004715	2.5	0.005794	0.006112	0.006268	2.5	0.004046	0.004802	0.0047
3.1	0.01817	0.02596	0.02681	3.1	0.01954	0.01971	0.03778	3.1	0.01229	0.009448	0.0138	3.1	0.01926	0.02306	0.01844	3.1	0.01731	0.02347	0.01775
4	0.02076	0.02375	0.02644	4	0.02464	0.02162	0.01915	4	0.0149	0.01491	0.01608	4	0.06646	0.04323	0.03168	4	0.04814	0.03554	0.03541
5	0.02658	0.02231	0.03301	5	0.02593	0.02598	0.0234	5	0.029	0.0353	0.02319	5	0.03905	0.02837	0.02668	5	0.02797	0.03306	0.03642
6.3	0.02391	0.0116	0.02206	6.3	0.0212	0.01072	0.01756	6.3	0.02194	0.01492	0.01855	6.3	0.0186	0.007325	0.01757	6.3	0.01883	0.009287	0.01169
8	0.03083	0.03684	0.04273	8	0.04143	0.0297	0.04235	8	0.03039	0.01705	0.02905	8	0.03306	0.03269	0.03868	8	0.03313	0.03418	0.03492
10	0.02674	0.01994	0.02779	10	0.01837	0.0129	0.02203	10	0.03031	0.02538	0.05392	10	0.0361	0.03252	0.04447	10	0.03376	0.04549	0.04815
12.5	0.03176	0.02533	0.02754	12.5	0.03759	0.02618	0.02795	12.5	0.02595	0.02865	0.04949	12.5	0.03112	0.02764	0.02573	12.5	0.03207	0.02011	0.03099
16	0.02802	0.02991	0.03768	16	0.0194	0.02591	0.0278	16	0.03615	0.02808	0.05685	16	0.03307	0.02971	0.03199	16	0.02738	0.02269	0.03244
20	0.02694	0.02953	0.04125	20	0.02866	0.02601	0.03883	20	0.03875	0.03606	0.04149	20	0.04421	0.04729	0.05541	20	0.02457	0.03081	0.05514
25	0.03488	0.03743	0.05312	25	0.04554	0.04303	0.04478	25	0.04006	0.03209	0.03442	25	0.05603	0.05557	0.06835	25	0.05282	0.04416	0.04914
31.5	0.07341	0.08138	0.07575	31.5	0.07981	0.0779	0.1025	31.5	0.04441	0.04173	0.05709	31.5	0.07188	0.08938	0.09944	31.5	0.06343	0.07132	0.09152
40	0.2656	0.1151	0.1723	40	0.2218	0.09897	0.1496	40	0.0942	0.07097	0.1035	40	0.2686	0.1528	0.2133	40	0.2361	0.1265	0.1888
50	0.03635	0.02739	0.0466	50	0.02356	0.01475	0.03098	50	0.1723	0.1152	0.2268	50	0.03982	0.03225	0.05556	50	0.02368	0.01922	0.02448
63	0.03628	0.02453	0.03961	63	0.01757	0.01221	0.02028	63	0.0187	0.01325	0.01922	63	0.04555	0.03034	0.05183	63	0.01431	0.01025	0.01501
80	0.04046	0.02317	0.0394	80	0.02728	0.0194	0.02597	80	0.0189	0.009571	0.01431	80	0.06951	0.03028	0.05591	80	0.02635	0.01551	0.01822
100	0.01513	0.008511	0.01134	100	0.01562	0.01208	0.009485	100	0.01309	0.005968	0.005921	100	0.01755	0.01414	0.01183	100	0.01044	0.006233	0.009319
	x	y	z		x	y	z		x	y	z		x	y	z		x	y	z
veffmax	0.411	0.159	0.272	veffmax	0.408	0.18	0.298	veffmax	0.254	0.169	0.389	veffmax	0.392	0.211	0.332	veffmax	0.355	0.197	0.295