



Woningbouw aan de Zilverschoon binnen het bestemmingsplan Zuiderloo te Heiloo

Trillingonderzoek



Woningbouw aan de Zilverschoon binnen het bestemmingsplan Zuiderloo te Heiloo

Trillingonderzoek

opdrachtgever	De heer N. Karels
rapportnummer	HI 6999-2-RA
datum	9 november 2021
referentie	HH/HH/TvdE/HI 6999-2-RA
verantwoordelijke	ir. J.A. Huizer
opsteller	ir. J.A. Huizer +31 85 8228738 h.huizer@peutz.nl

peutz bv, postbus 696, 2700 ar zoetermeer, +31 85 822 87 00, zoetermeer@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – eindhoven – düsseldorf – dortmund – berlijn – nürnberg – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Streefwaarden trillingniveaus	5
2.1	Bestemmingsplan	5
2.2	Streefwaarden volgens SBR richtlijn B	5
3	Gemeten trillingniveaus	7
4	Trillingniveaus op locatie woning	9
5	Overdrachtsberekeningen	11
6	Uitgangspunten	12
7	Rekenresultaten	14
8	Beoordeling en conclusie	16

2 Streefwaarden trillingniveaus

2.1 Bestemmingsplan

In het bestemmingsplan Zuiderloo, waarbinnen de woningen zullen worden gerealiseerd, is geen voorwaardelijke verplichting opgenomen voor het uitvoeren van een trillingonderzoek, zoals wel voor andere woningbouwlocaties binnen het bestemmingsplan in uitwerkingsplannen is opgenomen¹. Gezien de korte afstand tot het spoor is een nader onderzoek naar het voorkomen of beperken van voelbare trillingen in de te realiseren woningen vanwege passerende treinen evenwel noodzakelijk.

2.2 Streefwaarden volgens SBR richtlijn B

De trillingsnelheden vanwege het railverkeer ter plaatse van de geprojecteerde woningbouwlocatie worden getoetst aan de streefwaarden uit Richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn" uit augustus 2002 van de Stichting Bouwresearch (SBR richtlijn B).

Conform SBR richtlijn B worden voor nieuwe situaties en bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, waarvan in deze situatie sprake is, de in tabel 2.1 weergegeven streefwaarden gehanteerd.

De gegeven streefwaarden betreffen dimensieloze eenheden, waarin de frequentieafhankelijke waardering van trillingen door mensen is verwerkt (vergelijkbaar met de A-weging voor geluid).

t2.1 Overzicht streefwaarden conform Richtlijn SBR-B voor de gebouwfunctie wonen in een nieuwe situatie bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd

Periode	A ₁	A ₂	A ₃
Dagperiode (07.00–19.00 uur)	0,1	0,4	0,05
Avondperiode (19.00–23.00 uur)	0,1	0,4	0,05
Nachtperiode (23.00–07.00 uur)	0,1	0,2	0,05

Bovengenoemde streefwaarden zijn overigens geen wettelijke grenswaarden. Wel worden de SBR richtlijnen in de jurisprudentie gehanteerd ter bepaling van de beoordelingscriteria.

¹ Zoals het aangrenzende uitwerkingsplan Hof van Sombroek

De optredende trillingniveaus voldoen aan de streefwaarden indien voldaan wordt aan één van onderstaande twee voorwaarden:

- de waarde van de maximale trillingsterkte in een ruimte ($V_{\max}$) is kleiner dan A_1 ;
- de waarde van de maximale trillingsterkte in een ruimte ($V_{\max}$) is kleiner dan A_2 waarbij de trillingsterkte over de beoordelingsperiode in deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

Omdat treinpassages zowel in de dag-, avond- als nachtperiode plaatsvinden, zijn de streefwaarden voor de nachtperiode maatgevend voor de beoordeling.

De streefwaarden voor bestaande situaties zijn een factor 2 minder streng dan de streefwaarden vermeld in tabel 2.1 voor nieuwe situaties.

NB: trillingniveaus tot 0,2 zijn in het algemeen nog (zeer) licht voelbaar door mensen.

3 Gemeten trillingniveaus

Er is door Peutz nabij de bouwlocatie gemeten; zie rapport O 16047-1-RA-001 d.d. 3 juli 2018 dat onderdeel vormde van diverse uitwerkingsplannen binnen het bestemmingsplan Zuiderloo. De bouwlocatie is het meest nabij meetpositie 2 gesitueerd, zie figuur 3.1.

f3.1 Meetposities op de gebieden met mogelijke woningbouwplannen (bron: Peutz O 16047-1-RA-001 d.d. 3 juli 2018)



De statistisch bepaalde trillingniveaus ($V_{\max}$) op positie 2 bedragen:

- horizontaal 0,47 en 0,37;
- verticaal 0,27.

Het gemiddelde trillingniveau (over de etmaalperiode gemiddelde waarde welke direct afhankelijk is van het aantal treinpassages) in de betreffende beoordelingsperiode (V_{per}) op positie 2 bedraagt 0,11 en 0,09 voor beide horizontale richtingen en 0,06 in de verticale richting.

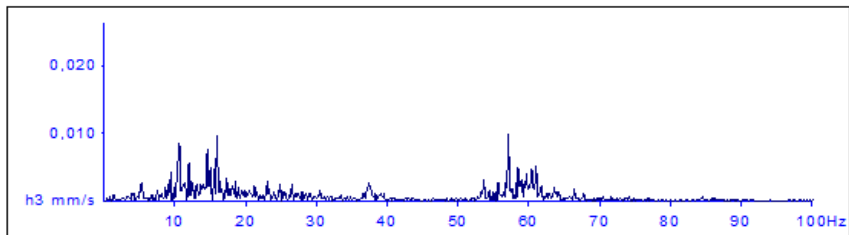
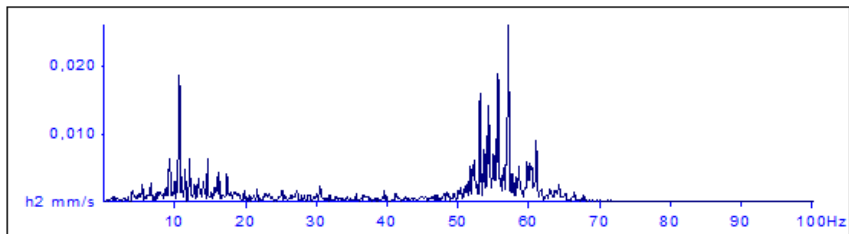
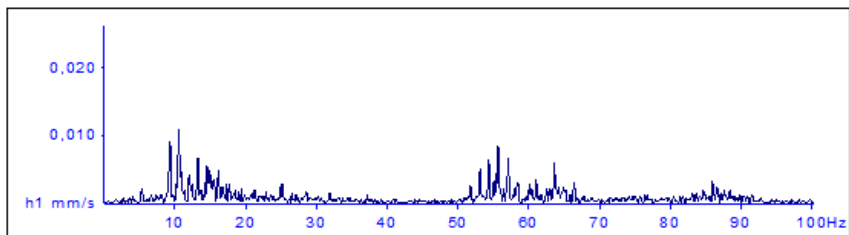
Van een maatgevende treinpassage is een smalbandige (FFT) analyse gemaakt voor de x-, y- en z-richting; zie figuur 3.2. Uit deze figuur blijkt dat de trillingniveaus overwegend worden bepaald door de frequenties vanaf circa 10 Hz.

f3.2 FFT-analyse passage

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name:	...s\2018\06\06\18157004\XMR	Event Nr.:	4	Freq(1):	10,50 Hz
Station:	2277-16060000	Event Date:	06-06-2018	Freq(2):	57,13 Hz
Signal:	Baseline corrected	Start Time:	10:03:31 + 998 ms	Freq(3):	57,13 Hz
		Range:	5,00 - 20,00 s		

Amplitude Spectrum



4 Trillingniveaus op locatie woning

Meetpositie 2 is gesitueerd op 25 m, gemeten vanaf de dichtstbijgelegen spoorstaaf. De dichtstbijgelegen gevel van de geprojecteerde woning gericht naar het spoor is gelegen op circa 25 m afstand van het hart van de spoorbaan, dat wil zeggen op circa 20 m vanaf de dichtstbijgelegen spoorstaaf.

Vanwege de enigszins kleinere afstand tot het spoor zullen op de afstand van 20 m enigszins hogere trillingniveaus optreden dan op de meetpositie op 25 m afstand.

Voor de af- of toename van trillingen met de afstand kan gebruik gemaakt worden van de formule van Barkan voor oppervlaktegolven, die in de onderhavige situatie gezien de afstand tussen het spoor en de woning maatgevend zijn:

$$H_{bodem}(f) = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{x_1}{x_2}} \times e^{-\rho \pi f (x_2 - x_1)}$$

waarin:

- v_i : trillingsnelheid in bodem op punt i [m/s];
- x_i : afstand tot trillingbron op punt i [m];
- ρ : bodemconstante [s/m];
- f : frequentie [Hz].

Als een trillingniveau v_1 is gemeten op een afstand x_1 vanaf de trillingbron, dan wordt met deze formule van Barkan het trillingniveau v_2 berekend op een afstand x_2 vanaf diezelfde trillingbron. Bij gebruik van de formule wordt rekening gehouden met de afstand tussen meetpunt en feitelijke trillingbron, om vervolgens het trillingniveau te bepalen op een andere afstand ten opzichte van de trillingbron. Met de *verhouding* (x_1/x_2) van beide afstanden is deze eerste afstand tussen meetpunt en trillingbron verdisconteerd.

In de formule van Barkan staat de eerste term voor de geometrische uitbreiding van het golffront.

De tweede term (exponentiële term) staat voor de demping in de bodem (weerstand of wrijving). Deze demping (door wrijving in de bodem) is enerzijds afhankelijk van de bodemsamenstelling, anderzijds afhankelijk van de golflengte, ofwel de frequentie.

Volgens Amick² bedraagt de bodemconstante ρ voor een slappe, zachte bodem (bijvoorbeeld veen) $6 \cdot 10^{-4}$ tot $2 \cdot 10^{-3}$ s/m. Voor een stevigere bodem (zand, klei) bedraagt de bodemconstante ρ ongeveer $2 \cdot 10^{-4}$ tot $6 \cdot 10^{-4}$ s/m.

2 "A frequency-dependent soil propagation model", Amick, H. SPIE Conference, 1999.

Vanwege de zandbodem op de eerste meters op de bouwlocatie kan een bodemconstante verwacht worden van orde grootte $\rho = 2 \cdot 10^{-4}$ s/m.

Uit de metingen blijkt dat de maatgevende frequenties liggen tussen circa 10 en 60 Hz. De term $\rho \omega f$ bedraagt aldus $2 \cdot 10^{-3}$ 1/m bij een frequentie van 10 Hz. Voor de berekening van de overdracht van de trillingen naar de woning op 20 m afstand is deze term toegepast.

Uit de overdrachtsberekening blijkt dat op 20 m afstand vanaf de dichtstbijzijnde spoorstaaf de gemeten trillingniveaus met een factor 1,12 zijn toegenomen ten opzichte van de meetresultaten op 25 m afstand, leidend tot de volgende trillingniveaus:

- horizontaal 0,52 en 0,41
- verticaal 0,30.

Om te voldoen aan de streefwaarde A_2 voor nieuwe situaties zal er dus sprake moeten zijn van demping door de gebouwconstructie (zie hoofdstuk 5). Bij het voldoen aan A_2 wordt dan ook voldaan aan de streefwaarde A_3 .

5 Overdrachtsberekeningen

Om op de vloeren van de geprojecteerde woning te kunnen toetsen aan de streefwaarden uit de SBR Richtlijn B dient de overdracht van de trillingniveaus op maaiveld te worden bepaald naar de vloeren. De fundering en gebouwconstructie dient niet te leiden tot relevante opslinging van de trillingniveaus gemeten op maaiveld. Ook opslinging vanwege aanstoting van eigenfrequenties van vloeren dient te worden voorkomen.

De nachtperiode is maatgevend voor de beoordeling. Het trillingniveau $V_{\max}$ dient ten hoogste 0,2 te bedragen en de parameter V_{per} ten hoogste 0,05.

Berekeningen ten aanzien van de trillingoverdracht zijn uitgevoerd met het Peutz softwareprogramma: MVAuersch/Massaveer 0.3. Dit programma is opgesteld ten behoeve van het bepalen van trillingen van bodem naar gebouwelementen, in opdracht van CUR³ (Civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving). Het programma maakt onderdeel uit van een groter onderzoek met het doel een vereenvoudigd berekeningsmodel voor de prognose van trillingen in gebouwen te ontwikkelen voor diverse trillingbronnen (heien, intrillen damwanden, railverkeer etc.).

Het programma rekent voor een gebouwmodel de overdracht door in het relevante frequentiegebied van 1 tot 100 Hz⁴ van trillingen van bodem of fundering naar gebouwelementen.

Het rekenmodel is een sterk vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Bij kritische situaties wordt geadviseerd een gedetailleerd onderzoek uit te voeren met gebruikmaking van een Eindige Elementen Model (EEM).

³ Tegenwoordig SBRCURnet.

⁴ Trillingen met een frequentie hoger dan 100 Hz zijn niet voelbaar voor mensen.

6 Uitgangspunten

Uitgangspunt is dat als voldaan wordt aan de grenswaarden in de dichtst bij het spoor gelegen woning, ook op de verder weg gelegen woningen wordt voldaan.

De uitgangspunten voor de bodemparameters zijn ontleend aan sonderingen uitgevoerd door Geomechanica, rapport van 18 april 2018. De sonderingen zijn weliswaar uitgevoerd voor het naastgelegen bouwplan, maar gezien de zeer korte afstand zijn deze ook bruikbaar voor het voorliggende onderzoek.

De afmetingen en constructiegegevens zijn afkomstig van De Wolff & Partners (tekeningen van 22 juni 2021).

De begane grond vloer wordt uitgevoerd als een ribcassettevloer, 350 mm hoog, fabricaat Waardo. De eerste en tweede verdiepingsvloeren worden uitgevoerd als kanaalplaatvloeren 200 mm hoog, fabricaat Waardo. Constructieve gegevens van de vloeren zijn verkregen van Waardo. De vloeren worden voorzien van een zandcementafwerkvloer

De woning wordt gefundeerd op palen, funderingsbalken kennen afmetingen van 400 x 500 mm.

Uit berekeningen van de eigenfrequentie van de vloeren blijkt dat de ribcassettevloer met een breedte van de platen van 900 mm op de begane grond en de kanaalplaatvloeren op de 1e en 2e verdiepingen dezelfde 1e orde eigenfrequentie kennen van 8 à 9 Hz⁵. Bij grotere breedten van de platen van de ribcassettevloeren (1200 en 2400 mm) is sprake van een hogere eigenfrequentie. Dat laatste lijkt gunstig (namelijk meer stijfheid), maar is dat niet. De frequentie van 8 à 9 Hz valt (net) buiten het gebied waarin ook aanstoting plaatsvindt (namelijk tussen 10 en 20 Hz en tussen 52 en 65 Hz, zie hoofdstuk 3). Bij een ribcassettevloer met een breedte van 1200 en 2400 mm blijkt de 1e orde eigenfrequentie verhoogd te worden tot respectievelijk 16 Hz, juist in het gebied waarin aanstoting plaatsvindt. **Aldus wordt afgeraden om een ribcassettevloer te selecteren met breedtes van 1200 en 2400 mm.**

In figuur 6.1 zijn de relevante invoerparameters voor het rekenmodel gegeven, gebaseerd op genoemde uitgangspunten. De vloerafmetingen zijn sterk maatgevend of er sprake zal zijn van opslingering.

Het programma kent overigens alleen vloeren met een constante hoogte, die gebruikt wordt om het traagheidsmoment te bepalen. Voor de ribcassettevloer is een hoogte ingevoerd die overeenkomt met het door Waardo opgegeven traagheidsmoment.

5 De eigenfrequenties hebben betrekking op trillingvormen die bepaald worden door buiging van de vloer en zijn vooral voor de trillingen in de verticale richting bepalend.

f6.1 Invoerparameters voor het gebouw- en bodemmodel

Uit bestand laden
Afdrukken
Alles leegmaken

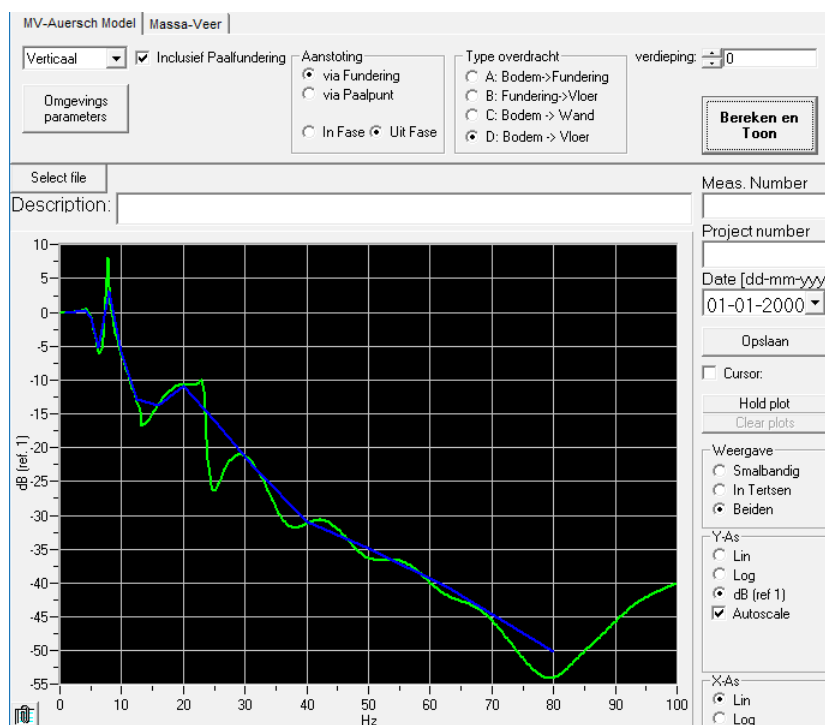
Bodemgegevens:		Heipaalgegevens:	
Vol massa op PP-niveau (robPaal):	2000 kg/m3	Volumieke massa (roPaal):	2400 kg/m3
Glijmodulus op PP-niveau (GPaal):	1,15e+008	Diameter (DiaPaal):	0,2 m
Poisson ratio op PP-niveau (nuPaal):	0,3	Lengte (LPaal):	5 m
Vol massa op fund.-niveau (robFund):	1800 kg/m3	E-Modulus (EPaal):	3e+010 N/m2
Glijmodulus op fund.-niveau (GFund):	2,3e+007	Dempingsratio (ksiPaal):	0,02
Poisson ratio op fund.-niveau (nuFund):	0,3	Viskeuze demping (alphaPaal):	1,5
		Aantal (NumPaal):	3
Gebouwgegevens:		Vloergegegevens:	
V. massa fundering (roFund):	2400 kg/m3	Vloerdikte (DVloer):	0,165 m
Volumieke massa Wand (roWand):	2400 kg/m3	Breedte vloer (BVloer):	0,9 m
Breedte fundering (BFund):	0,4 m	Overspanning vloer (LVloer):	9 m
Lengte fundering (LFund):	18,69 m	E-modulus vloer (EVloer):	2e+010 N/m2
Hoogte fundering (HFund):	0,5 m	Oppervlakttemassa vloer (oppmVloer):	355 kg/m2
Hoogte gebouw (H):	9 m	Viskeuze demping Vloer (alphaVloer):	1,5
Diepte gebouw (D):	18,69 m	Dempingsratio Vloer (ksiVloer):	0,02
Aantal bouwlagen (Nbouwlagen):	3	Algemeen:	
Breedte wand (BWand):	18,69 m	Bestand	
Dikte wand (DWand):	0,4 m		
E-Modulus Fund (EFund):	2e+010 N/m2		
E-Modulus Wand (EWand):	2e+010 N/m2		
Viskeuze demping Wand (alphaFund):	1,5		
Dempingsratio Fund (ksiFund):	0,02		
Viskeuze demping Wand (alphaWand):	1,5		
☒ Dempingsratio Wand (ksiWand):	0,05		
☐ Hysterese demping Wand (hysWand):	0,02		
Gebouw ID:		OK	
Naar bestand opslaan			

7 Rekenresultaten

In figuur 7.1 zijn de resultaten van de overdrachtsberekeningen gegeven voor de verticale richting vanaf bodem naar begane grond vloer van de woning. Voor de eerste en tweede verdieping wordt een vergelijkbare overdracht bepaald.

De resultaten zijn gegeven als overdracht in dB⁶. Een positieve waarde is een toename van de trillingen ten opzichte van het maaiveld, een negatieve waarde betekent dat de trillingen worden gedempt door het gebouw. De resultaten van berekeningen geven de overdracht op de locatie van de vloer waar de hoogste trillingen verwacht worden.

f7.1 Overdracht bodem-verdiepingsvloer; verticaal



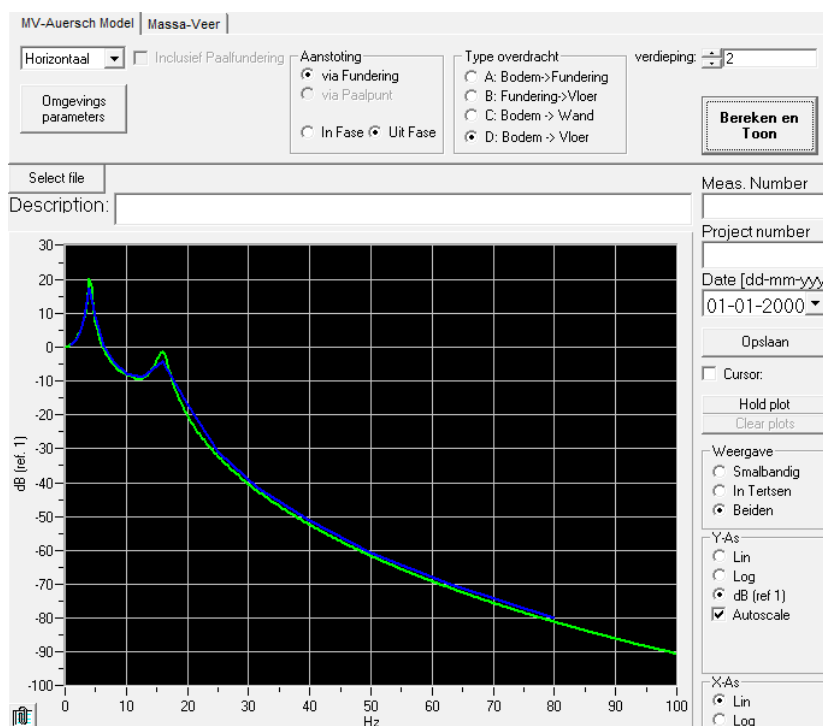
Uit figuur 7.1 blijkt dat er bij circa 8 Hz een toename wordt berekend van het trillingniveau op de vloer ten opzichte van het trillingniveau op maaiveld; 8 Hz is de 1e orde eigenfrequentie van de vloer. Voor alle overige frequenties vindt een afname plaats van het trillingniveau op maaiveld naar de betreffende vloer van de woning. De aanstootfrequenties bevinden zich tussen 10 en 20 Hz en 52 en 65 Hz. De eigenfrequentie van 8 Hz van de vloer wordt dus niet aangestoten. Bij deze aanstootfrequenties tussen 10 en 20 Hz en 52 en 65 Hz vindt er demping plaats van gemiddeld veel meer dan een factor 2 (een reductie van de trillingniveaus met 6 dB betekent een halvering van de trillingniveaus).

6 Ter informatie: 6 dB betekent een toename van de trillingniveaus met een factor 2, 10 dB een factor 3.

De trillingen op maaiveld zullen door de overdracht van de bodem naar de vloer dus uitdempen waardoor het verticale trillingniveau op de vloer lager zal zijn dan de streefwaarde A_2 van 0,2 die geldt voor de nachtperiode. Ook de streefwaarde A_3 wordt dan niet overschreden.

In figuur 7.2 zijn de resultaten van de overdrachtsberekeningen gegeven voor de horizontale richting vanaf bodem naar tweede verdiepingvloer van de woning. Horizontale trillingniveaus zijn het

f7.2 Overdracht bodem-verdiepingvloer; horizontaal



Uit figuur 7.2 blijkt dat een toename plaatsvindt van trillingniveaus op maaiveld naar de maatgevende vloer bij circa 4 Hz. Deze frequentie valt buiten het gebied waarin ook aanstoting plaatsvindt (namelijk tussen 10 en 20 Hz en tussen 52 en 65 Hz, zie hoofdstuk 3).

Net als bij de trillingen in de verticale richting vindt er over het gehele frequentiegebied van aanstoting dus een afname plaats van trillingniveaus op maaiveld naar de vloer van de woning. De demping is gemiddeld meer dan 10 dB (overeenkomend met een factor 3).

De trillingniveaus in de horizontale richtingen in de woning zullen derhalve eveneens lager zijn dan de streefwaarden A_2 en A_3 .

8 Beoordeling en conclusie

De te verwachte trillingniveaus op de vloer in de geplande woningen zullen, zowel in verticale als horizontale richting, niet hoger zijn dan de strengste streefwaarde A_2 van 0,2 die geldt voor de nachtperiode uit de SBR Richtlijn B. Ook de streefwaarde A_3 wordt niet overschreden.

Van belang is om op begane grond vloer alleen een ribcassettevloer toe te passen met breedte van 900 mm (zie hoofdstuk 6).

Dit rapport bevat 16 pagina's.

Zoetermeer,

