Nieuwbouw Merwedeterrein, Arnhem

Trillingsonderzoek

Status	**concept**
Versie	001
Rapport	M.2020.0305.02.R001
Datum	29 maart 2022







Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Arnhem
Contactpersoon opdrachtgever	
Project	Gemeente Arnhem/ontwikkeling Merwedeterrein
Betreft	Trillingsonderzoek
Uw kenmerk	-
Rapport	M.2020.0305.02.R001
Datum	29 maart 2022
Versie	001
Status	concept
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	[redacted]
Auteur	[redacted]
Projectadviseur	[redacted]
2e lezer/secr.	[redacted]

Inhoud

1. Inleiding 4

2. Situatie 5
2.1 Kavel 5
2.2 Spoor en treinmaterieel 5

3. Toetsingskader 6

4. Metingen 7
4.1 Meetomstandigheden 7
4.2 Meetpunten 7
4.3 Meetapparatuur 8
4.4 Verwerking meetresultaten 8

5. Resultaten 9
5.1 Traject Arnhem - Zevenaar 9
5.2 Traject Arnhem – Zutphen 10

6. Prognose 11
6.1 Methode 11
6.2 Vloeren 11

7. Resultaten 12
7.1 Resultaten noordzijde kavel 12
7.2 Resultaten zuidzijde kavel 12

8. Conclusies en aanbevelingen 14

Bijlagen
Bijlage 1 Trillingsregistraties
Bijlage 2 Trillingsprognoses

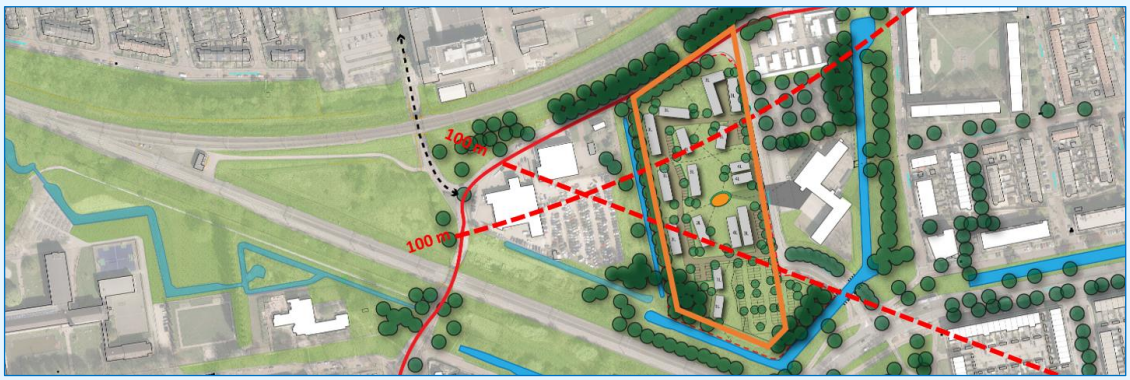
1. Inleiding

In opdracht van de gemeente Arnhem heeft DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd op het Merwedeterrein. Dit terrein ligt tussen de spoorlijnen Arnhem-Zutphen (noordzijde) en Arnhem-Zevenaar (zuidzijde). De gemeente Arnhem heeft voor dit gebied een tijdelijke invulling bedacht, waarbij woningen tot 15 jaar worden gerealiseerd, zie ook figuur 1.
Omdat het plan zich gedeeltelijk binnen 100 meter van genoemde spoorlijnen bevindt, waarop ook goederenverkeer voorkomt, is een uitgebreid trillingsonderzoek uitgevoerd, inclusief verkennende trillingsmetingen. Uit deze metingen is de trillingsbelasting op de kavel en de afstandsverzwakking met toenemende afstand tot het spoor bepaald. Met deze gegevens is een trillingsprognose opgesteld en deze is getoetst aan de daarvoor geldende streefwaarden uit de SBR-B. Wanneer er aanvullende maatregelen nodig zijn om te kunnen voldoen aan de SBR-B, dan zijn deze op hoofdlijnen aangegeven.

2. Situatie

2.1 Kavel

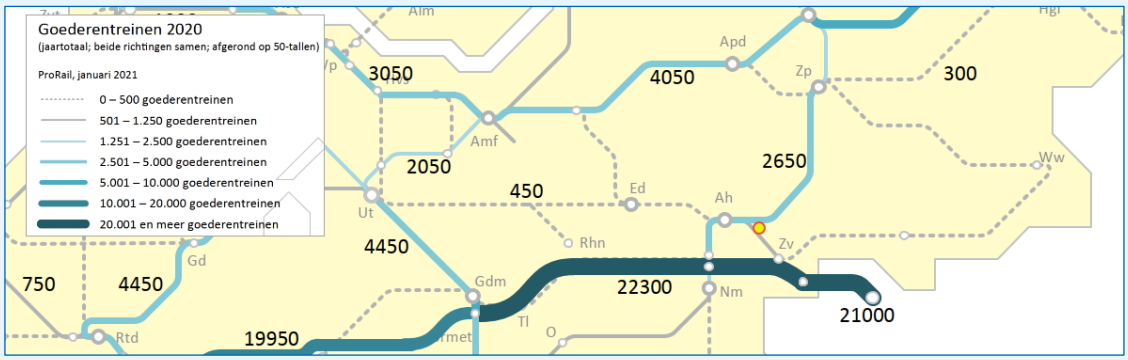
Het Merwedeterrein ligt ten oosten van station Arnhem Centraal, in de oksel (splitsing) van de spoorlijnen Arnhem – Zutphen en Arnhem – Zevenaar, zie figuur 1. De bouwplannen bevinden zich in de invloedsfeer van beide spoorlijnen. De afstand van de eerstelijns bebouwing tot beide spoorlijnen bedraagt ongeveer 50 meter, tot de hartlijn van het dichtstbijzijnde spoor.



figuur 1: plangebied

2.2 Spoor en treinmaterieel

Het traject Arnhem - Zutphen is een drukke lijn waar intercity's, stoptreinen en goederentreinen (IJssellijn) rijden. Het traject Arnhem – Zevenaar is wat rustiger met vooral stoptreinen, maar ook af en toe nog een goederentrein. Sinds de opening van de Betuweroute heeft veel goederenvervoer op deze lijn zich daarnaar verplaatst, maar het komt nog wel in beperkte mate voor, zie figuur 2.



figuur 2: goederenvervoer (rode punt is kavel) Bron: Jaarrapport ProRail (2021)

Tussen Arnhem en Zevenaar rijden stoptreinen (Arriva) van het type Stadler GTW, een relatief licht treintype dat over het algemeen minder trillingen opwekt dan de veel zwaardere intercity treinen. Daarnaast rijden er stoptreinen van het type Flirt op de Rhein-IJssel Express en een aantal malen per dag de ICE. Op de lijn Arnhem – Zutphen rijden vooral stoptreinen (sprinters) van het type SNG en dubbeldeks intercity's van het type VIRM en NID.

3. Toetsingskader

Er zijn voor dit project geen specifieke trillingseisen opgegeven. Het ministerie van I&W heeft in het jaar 2019 de “Handreiking nieuwbouw en spoortrillingen” uitgegeven, die in dit rapport wordt aangehouden. In deze handreiking wordt de SBR-B richtlijn “Trillingshinder voor personen in gebouwen” geadviseerd als toetsingskader voor trillingen. In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden continue en herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situaties

	Dag en avond			Nacht		
Gebouwfunctie	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs/kantoor/bijeenkomst	0,1	0,6	0,07	0,1	0,6	0,07

A1 = onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}
A3 = streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per}, indien A1 < V_{max} < A2

Nieuwe woonbebouwing, nabij weg of spoorlijn, voldoet aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (nacht) en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger is dan 0,05. Als V_{max} kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de V_{per} te vervallen. Voor de toetsing mogen meet- en prognosewaarden worden afgerond op het aantal decimalen van de streefwaarde.

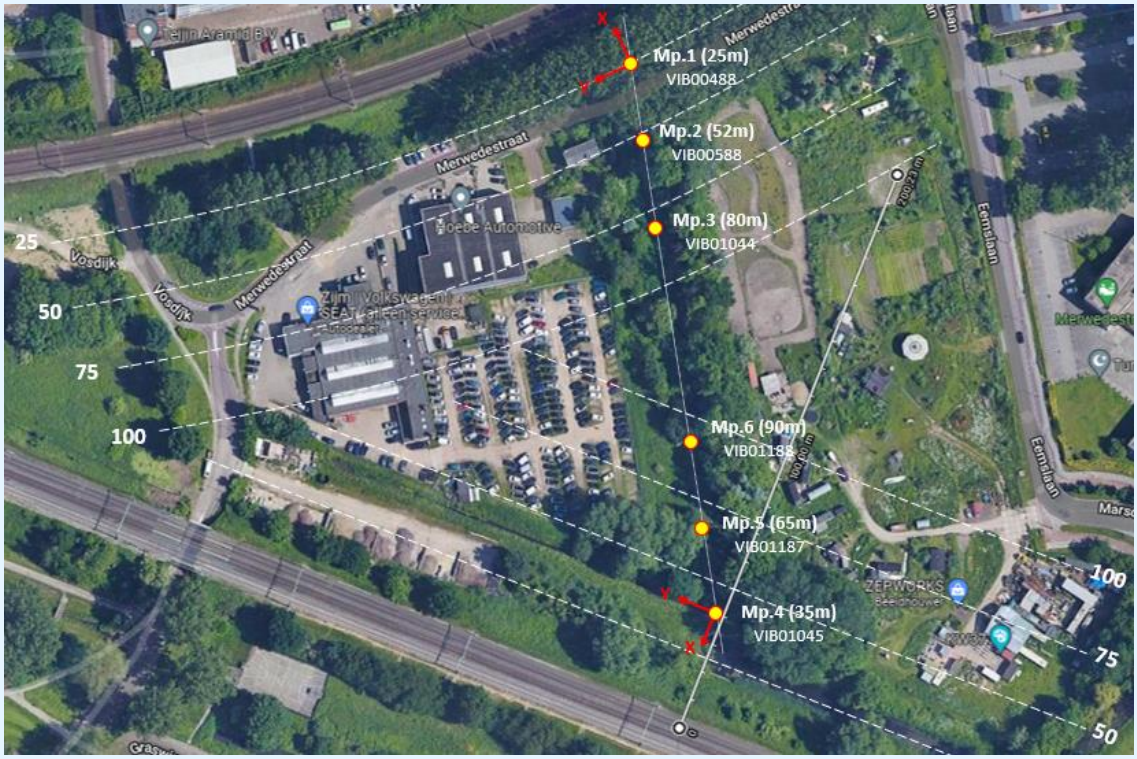
4. Metingen

4.1 Meetomstandigheden

In overeenstemming met de aanbeveling in de SBR-B is een meetperiode van een week aangehouden, om variaties in spoorgebruik en materiaal mee te nemen in de metingen.
De metingen zijn uitgevoerd tussen 1 en 9 maart 2022. In deze meetperiode was er sprake van een normale dienstregeling. Wel is in de metingen op 2 maart om 02.22 uur een trein waargenomen met sterk afwijkende hogere trillingsopwekking. Analyse wijst uit dat het hier zeer waarschijnlijk om een kolentrein gaat, die normaliter de Betuweroute volgen en hier niet meer horen te passeren.

4.2 Meetpunten

Binnen de contouren van de kavel zijn zes meetpunten gekozen. Om de trillingsafname met toenemende afstand tot beide spoorlijnen in beeld te brengen zijn per lijn binnen een afstand van 100 meter drie meetpunten uitgezet met toenemende afstand tot het spoor, zie figuur 3.
De meetpunten van de ene lijn kunnen echter ook gebruikt worden als ‘verre’ meetpunten van de andere lijn en geven een beeld van het trillingsverloop op grotere afstand tot het spoor. Daarbij moet er wel rekening mee worden gehouden dat de horizontale richtingen gericht zijn op de spoorlijn waartoe het meetpunt hoort en dat beide spoorlijnen niet evenwijdig lopen.



figuur 3: meetposities

4.3 Meetapparatuur

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de gebruikte meetsystemen.

tabel 2: meetlocaties en systemen

Meetpunt	Afstand	Meetlijn	Meetsysteem	Serienummer
Mp1	25 m	ML1: Arnhem - Zutphen	Profound Vibra SBR	VIB11488
Mp2	52 m			VIB00588
Mp3	80 m			VIB01044
Mp4	35 m	ML2: Arnhem - Zevenaar		VIB01045
Mp5	65 m			VIB01187
Mp6	90 m			VIB01188

4.4 Verwerking meetresultaten

Tijdens de metingen zijn er ook trillingen gemeten van activiteiten in de omgeving anders dan van het spoor. Met name het verkeer over de Merwedestraat gaf verstoring op de meetpunten Mp1 en Mp2. Om alleen de invloed van treinpassages, vrij van verstoringen, in beeld te brengen zijn treinpassages en mogelijke verstoringen in de trillingsregistraties geïdentificeerd op basis van onderling vergelijk van meerdere meetsystemen. Waar nodig zijn registraties geverifieerd op basis van de camerabeelden (spoorgerichte camera). Verstoorde treinpassages zijn buiten beschouwing gelaten.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de door trillingshinder maatgevende effectieve trillingsterkte V_{eff}. De V_{eff} wordt overeenkomstig de SBR-B gemeten in 30 seconden intervallen. Dit is voor identificatie van treinpassages en een check op verstoringen te grof. Daarom is de identificatie van passages/verstoringen gedaan aan de hand van het trillingssignaal V_{top}, dat een 10x hogere resolutie heeft. Van de geïdentificeerde treinpassages (en dus vrij van verstoringen) is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte V_{eff} geselecteerd voor verdere analyse en prognose. De hoogste $V_{eff,max}$ is de maatgevende V_{max} volgens de SBR-B richtlijn.

5. Resultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van de trillingsregistraties en eventuele verstoringen gedurende een week meten. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} die, zoals in paragraaf 4.4 is omschreven, wordt gebruikt voor de identificatie van treinpassages. Uit deze registraties zijn de treinpassages met de hoogste trillingsopwekking in de kavel geselecteerd. In tabel 3 en tabel 4 zijn, per spoorlijn, de effectieve trillingssterkten $V_{eff,max}$ van de treinpassages met de hoogste trillingsopwekking op de kavel weergegeven. De passages zijn gerangschikt in aflopende trillingssterkte in Z-richting, van het maatgevende meetpunt.

5.1 Traject Arnhem - Zevenaar

Wat in de registraties (bijlage 1) opvalt is dat er weinig zwaar treinverkeer over dit traject rijdt en dat de passagierstreinen weinig trillingen opwekken. In totaal zijn er slechts zes treinpassages geïdentificeerd die hogere trillingsniveaus veroorzaakten, waarvan vier goederentreinen.
De goederentreinen kwamen alleen voor tussen 2 en 4 maart en daarna niet meer.
De gemarkeerde kolentrein springt er met name qua trillingsopwekking in horizontale richting sterk bovenuit. De trillingsopwekking van deze trein lag minstens een factor 4 hoger dan die van de overige treinen. Analyse van het trillingssignaal laat zien dat deze trein zeer sterke trillingen opwekten bij 4 Hz, wat karakteristiek is voor zwaar beladen kolentreinen bij een rijsnelheid van 80-90 km/u. Van deze nachtelijke trein is geen beeldherkenning, maar op grond van deze kenmerken is het nagenoeg zeker dat het een kolentrein betreft, die normaliter de Betuweroute volgt en hier niet (meer) voorkomen. De eerst vermelde goederentrein in de tabel wekte op het meetpunt het dichtst bij het spoor de hoogste trillingssterkte op in verticale richting. Analyse van het trillingssignaal maakt duidelijk dat de hoogste trillingsopwekking bij ongeveer 6,5 Hz optrad. Deze frequentie is te associëren met een slechte onderhoudstoestand van treinwielen en veroorzaakt door een trein met een rijsnelheid van vermoedelijk 60-70 km/u. Het type goederentrein is vanwege de duisternis niet op beeld te herkennen, maar het is niet geheel uitgesloten dat ook dit een kolentrein betrof.
De tabel maakt verder duidelijk dat passagierstreinen op meer dan 35 meter van het spoor al niet meer leiden tot voelbare trillingen in de bodem. Het gaat dus alleen om de goederentreinen, die hier nog slechts weinig voorkomen.

Dat de trillingssterkten op relatief korte afstand tot het spoor soms zo hoog zijn in verhouding tot die in verticale richting wordt geweten aan de drassige terreintoestand, zie hierover de uitleg in volgende paragraaf.

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ - traject Arnhem - Zevenaar

Top-15*		Mp4 (35 m)			Mp5 (65 m)			Mp6 (90 m)			Mp2 (180 m)		
		X[2]	Y[2]	Z[1]	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Goederentrein	0,20	0,25	0,39	0,13	0,12	0,17	0,13	0,15	0,13	0,13	0,11	0,08
2	*Kolentrein*	*1,02*	*1,24*	*0,31*	*0,67*	*0,89*	*0,27*	*0,62*	*0,97*	*0,11*	*0,14*	*0,18*	*0,10*
3	Goederentrein	0,23	0,21	0,24	0,12	0,19	0,14	0,13	0,14	0,10	0,11	0,12	0,07
4	Goederentrein	0,34	0,27	0,16	0,10	0,13	0,10	0,21	0,14	0,09	0,10	0,10	0,05
5	Passagierstrein	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,07	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,03
6	Passagierstrein	0,10	0,10	0,08	0,08	0,10	0,04	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03
V_{max}		*1,02*	*1,24*	*0,39*	*0,67*	*0,89*	*0,27*	*0,62*	*0,97*	*0,13*	*0,14*	*0,18*	*0,10*
V_{max}[4]		0,34	0,27	0,39	0,13	0,19	0,17	0,21	0,15	0,13	0,13	0,12	0,08

1) gerangschikt op Mp4, Z-richting
2) X-richting ⊥ spoor, Y-richting // spoor
3) X-,Y-richting afwijkend van overige meetpunten
4) $V_{eff,max}$ zonder de kolentrein

5.2 Traject Arnhem – Zutphen

Op het traject Arnhem – Zutphen rijden zowel goederentreinen als reizigerstreinen. In tabel 4 is te zien dat de goederentreinen de meeste trillingen opwekken in de kavel. Passagierstreinen (intercity's) wekken op minder dan 80 meter van het spoor soms nog licht voelbare trillingen op in de bodem, maar vanaf 80 meter niet meer. Op grotere afstand zijn alleen nog goederentreinen in staat tot het opwekken van licht voelbare trillingen. In deze tabel zijn verder geen sterk afwijkende passages die uitleg behoeven. Wat wel uitleg behoeft zijn de relatief hoge trillingssterkten in horizontale richting ten opzichte van die in verticale richting. Op meetpunt Mp1, dat aan de voet van de spoordijk ligt, en ook twee meter hoger dan de overige meetpunten zijn de trillingen in horizontale richting haaks op het spoor (X) van gelijke orde als die in verticale richting, maar op de meetpunten Mp2 en Mp3 ligt dit ongeveer een factor 1,5 hoger. Op het veraf gelegen meetpunt Mp5 zijn de X- en Y-richting gericht op de spoorlijn Arnhem – Zevenaar en dus gedraaid ten opzichte van de eerste drie meetpunten, maar duidelijk is dat dat de niveaus in horizontale richtingen gezakt zijn tot op of onder het niveau in verticale richting. Dat op meetpunt Mp1 de horizontaalrichting X niet veel hoger is dan die in verticale richting wordt geweten aan de meer zandige opbouw van de bodem aldaar en de sterke vernetting van de bodem door boomwortels. De meetpunten Mp2 en Mp3 op het Merwedeterrein liggen lager en de bodem is hier kleiiger en verzadigd en er is invloed van een naastliggende afwateringssloot die de ontspanmogelijkheid van de bodem in horizontale richtingen vergroot. De hogere waarden in de horizontale richtingen hebben dus mogelijk te maken met de grotere mobiliteit in de toplaag van de bodem. Dit wordt vaker op locaties met een kleiachtige bodem waargenomen. De vraag is in welke mate deze horizontale trillingen op maaiveld zich vertalen in eveneens hogere trillingen in een gebouwstructuur. Vanuit de theorie is het zo dat horizontale trillingen met toenemende diepte snel afnemen, veel sneller dan de eveneens optredende verticale trillingen. Zeker voor zware gebouwen met een dieper liggende fundatie is daarmee rekening te houden.

tabel 4: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15) – traject Arnhem - Zutphen

Top-15*		Mp1 (25 m)			Mp2 (52 m)			Mp3 (80 m)			Mp5 (175 m)		
		X[2]	Y[2]	Z	X	Y	Z[1]	X	Y	Z	X[3]	Y[3]	Z
1	Goederentrein	0,19	0,13	0,20	0,39	0,39	0,27	0,24	0,23	0,14	0,10	0,10	0,16
2	Goederentrein	0,18	0,14	0,18	0,36	0,33	0,22	0,30	0,27	0,14	0,09	0,10	0,10
3	Goederentrein	0,19	0,11	0,16	0,22	0,22	0,20	0,22	0,22	0,13	0,10	0,10	0,10
4	Goederentrein	0,21	0,14	0,20	0,25	0,25	0,19	0,14	0,16	0,14	0,08	0,08	0,10
5	Goederentrein	0,13	0,11	0,16	0,23	0,24	0,18	0,18	0,25	0,14	0,08	0,10	0,09
6	Goederentrein	0,14	0,11	0,18	0,21	0,24	0,18	0,15	0,15	0,10	0,06	0,05	0,10
7	Goederentrein	0,12	0,11	0,15	0,26	0,26	0,18	0,20	0,16	0,11	0,06	0,09	0,09
8	Passagierstrein	0,10	0,10	0,09	0,13	0,12	0,17	0,07	0,09	0,06	0,03	0,02	0,02
9	Goederentrein	0,13	0,11	0,13	0,22	0,23	0,17	0,17	0,21	0,12	0,08	0,09	0,08
10	Goederentrein	0,10	0,11	0,15	0,27	0,26	0,16	0,19	0,17	0,10	0,07	0,10	0,10
11	Passagierstrein	0,12	0,10	0,10	0,17	0,12	0,16	0,07	0,08	0,08	0,03	0,02	0,02
12	Passagierstrein	0,10	0,10	0,10	0,12	0,13	0,16	0,08	0,07	0,09	0,02	0,02	0,03
13	Passagierstrein	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,16	0,07	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02
14	Goederentrein	0,14	0,11	0,15	0,23	0,23	0,15	0,19	0,21	0,11	0,07	0,10	0,10
15	Goederentrein	0,14	0,10	0,12	0,18	0,27	0,15	0,15	0,18	0,10	0,07	0,06	0,09
V_{max}		**0,22**	**0,14**	**0,20**	**0,39**	**0,39**	**0,27**	**0,30**	**0,27**	**0,14**	**0,10**	**0,10**	**0,16**

1) gerangschikt op Mp2, Z-richting

2) X-richting ⊥ spoor, Y-richting // spoor

3) X-,Y-richting afwijkend van overige meetpunten

6. Prognose

6.1 Methode

Voor een prognose van de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is een empirisch rekenmodel opgezet. Voor de overdracht van bodem naar gebouw is gebruikgemaakt van door TNO ontwikkelde overdrachtsfuncties, aangevuld met door DGMR verzamelde meetdata.

6.2 Vloeren

Voor de trillingsversterking die kan optreden in vloeren wordt gerekend met overdrachtscurven waarbij de maximale trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. De vloerversterking ligt doorgaans in de orde van een factor 1 tot 3 (tot 10 dB), afhankelijk van het gekozen vloertype en het al of niet samenvallen van vloereigenfrequenties met dominante frequenties in het treinspectrum. Voor bebouwing nabij het spoor is het van belang om daarmee rekening te houden bij de vloerkeuze. Bij een betonvloer met een laagste buig-eigenfrequentie van 12 Hz of hoger is de versterking meestal lager dan een factor 2. In de prognose wordt rekening gehouden met een vloer met deze stijfheidseigenschappen. Ook in het geval van houtbouw is bij de vloerkeuze deze ondergrens qua buig-eigenfrequentie aan te houden.

Op verdiepingen kan de horizontale richting dominant zijn als een woningcasco in resonantie raakt op het funderingssysteem en een kantelbeweging ondergaat. Dit kan optreden bij (langere) goederentreinen en speelt zich af bij lage frequenties (≤ 10 Hz), maar laat zich op voorhand vaak moeilijk voorspellen. Bij kortere en sneller rijdende reizigerstreinen is dit risico veel minder aanwezig. In de prognose wordt rekening gehouden met versterking naar hogere verdiepingen bij deze lage frequenties.

7. Resultaten

In bijlage 2 zijn de prognoseberekeningen opgenomen voor een aantal mogelijke gebouwtypen op de verwachte kleinst mogelijke bebouwingsafstand van 50 meter tot het spoor. De prognoses zijn opgesteld voor de maatgevende goederentrein qua trillingsopwekking. Reizigerstreinen leiden niet tot voelbare trillingen in de voorziene bebouwing. Voor dit treintype is daarom geen aparte prognose gemaakt. Voor de V_{per} berekening (gemiddelde trillingssterkte) is een verdelingsfunctie van de V_{max} gebruikt, gemeten op het meest representatieve bodemmeetpunt, zijnde Mp2 aan de lijn Arnhem – Zutphen en Mp4 aan de lijn Arnhem – Zevenaar.

7.1 Resultaten noordzijde kavel

In tabel 5 worden de verwachte maximale trillingssterkten V_{max} weergegeven, voor bebouwing aan de noordzijde van de kavel. De prognose is gebaseerd op de maatgevende passage.

tabel 5: trillingsprognose (V_{max} /V_{per}) nieuwbouw - goederentreinen traject Arnhem - Zutphen

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trilllingssterkte V_{max} (V_{per})		
			50 m	75 m	100 m
Laagbouw op staal	2-3	Horizontaal Verticaal	0,15 (0,00) 0,26 (0,00)	0,10 (0,00) 0,19 (0,00)	0,08 (--) 0,14 (0,00)
Laagbouw op palen		Horizontaal Verticaal	0,15 (0,00) 0,23 (0,00)	0,10 (0,00) 0,16 (0,00)	0,08 (--) 0,12 (0,00)

Uit tabel 5 valt op te maken dat er aan de noordzijde geen problemen zijn te verwachten met trillingshinder als gevolg van railverkeer. Bij zeer lichte en/of op staalgefundeerde bouwwerken kan het op 50 meter afstand van het spoor nog voorkomen dat de streefwaarde van 0,2 voor woonfuncties uit de SBR-B incidenteel licht wordt overschreden. Op 75 meter afstand is dat al niet meer het geval. Van bouwwerken op een paalfundatie mogen iets betere trillingsprestaties verwacht worden en wordt op een afstand van 50 meter al voldaan. Dit onder toepassing van de gebruikelijke afronding van de V_{max} (op één decimaal). Omdat alleen goederentreinen mogelijk tot (licht) voelbare trillingen in bebouwing leiden en deze maar weinig voorkomen is de gemiddelde trillingssterkte V_{per} in alle gebouwvormen en op alle afstanden vanaf 50 meter verwaarloosbaar. Daarmee is er aan deze zijde van de kavel geen hinder te verwachten.

7.2 Resultaten zuidzijde kavel

In tabel 6 worden de verwachte maximale trillingssterkten V_{max} weergegeven, voor bebouwing aan de zuidzijde van de kavel. Daarbij is onderscheid gemaakt naar reguliere goederentreinen en het incidenteel voorkomen van zware kolentreinen.

tabel 6: trillingsprognose (V_{max} /V_{per}) nieuwbouw - goederentreinen traject Arnhem - Zevenaar

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trilllingssterkte V_{max} (V_{per})		
			50 m	75 m	100 m
Inclusief kolentreinen					
Laagbouw op staal	2-3	Horizontaal* Verticaal	0,38-0,73 (0,01) 0,26 (0,00)	0,32-0,58 (0,01) 0,16 (0,00)	0,27-0,51 (0,01) 0,11 (0,00)
Laagbouw op palen		Horizontaal* Verticaal	0,38-0,73 (0,01) 0,22 (0,00)	0,32-0,58 (0,01) 0,14 (0,00)	0,27-0,51 (0,01) 0,10 (0,00)
Exclusief kolentreinen					
Laagbouw op staal	2-3	Horizontaal* Verticaal	0,08-0,11 (0,00) 0,26 (0,00)	0,06-0,09 (--) 0,16 (0,00)	0,05-0,07 (--) 0,11 (0,00)
Laagbouw op palen		Horizontaal* Verticaal	0,08-0,11 (0,01) 0,22 (0,00)	0,06-0,09 (--) 0,14 (0,00)	0,06-0,07 (--) 0,10 (0,00)

** bandbreedte laagste - hoogste verdieping*

Uit tabel 6 valt op te maken dat er aan de zuidzijde van de kavel problemen zijn te verwachten bij relatief lichte bouwwerken als er op de lijn Arnhem – Zutphen ook zware kolentreinen rijden.
De enige met nagenoeg zekerheid vastgestelde kolentrein leidde tot extreme trillingsopwekking in de kavel en verwacht wordt dat dit in lichte bouwwerken tot hinderproblemen zal leiden.
Aangezien deze trein zelfs op meetpunt Mp3 (bedoeld voor de andere spoorlijn) nog nadrukkelijk meetbaar was, leidt tot de conclusie dat deze hinder tot op 200 meter afstand van de spoorlijn nog kan voorkomen.
In de tabel is voor de verwachte trillingen in horizontale richting een bandbreedte opgenomen. Gezien de zeer lage trilfrequentie van 4 Hz mag worden verwacht dat bouwwerken hier op reageren met een kantelbeweging waarbij horizontale trillingen naar hogere verdiepingen geleidelijk toenemen. Dit hangt ook sterk af van de afmetingen en oriëntatie van gebouwen ten opzichte van het spoor. In relatief smalle bouwwerken zal het risico groter zijn dan in bouwwerken met een uitgestrekt grondplan.

Als de eenmalig voorgekomen extreme kolentrein wordt uitgesloten dan liggen de verwachte trillingssterkten zelfs iets lager dan op vergelijkbare afstand (en bouwwijze) aan de noordzijde van de kavel. Op 50 meter afstand wordt dan alleen bij zeer lichte en op staalgefundeerde bouwwerken mogelijk nog niet geheel voldaan aan de SBR-B (woonfunctie/nacht), maar op grotere afstand en bij op palen gefundeerde bouwwerken wel.
De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is verwaarloosbaar omdat het aantal treinen dat mogelijk voelbare trillingen opwekt zeer gering is. Afgaande op de trillingsregistraties waren dit er niet meer dan twee in een week.

8. Conclusies en aanbevelingen

Reizigerstreinen, zowel op de lijn Arnhem – Zutphen alsook Arnhem – Zevenaar, leiden niet tot voelbare trillingen in toekomstige bebouwing op het Merwedeterrein.

Goederentreinen op de lijn Arnhem – Zutphen leiden niet tot trillingshinder in de context van de SBR-B als de toekomstige bebouwing wordt voorzien van een paalfundatie of tenminste een afstand van 50 meter tot het spoor wordt aangehouden. Randvoorwaarde daarbij is dat woonbebouwing binnen 75 meter van het spoor wordt uitgevoerd met vloeren met een laagste buig-eigenfrequentie van 12 Hz. Op meer dan 75 meter tot het spoor kan deze randvoorwaarde vervallen.

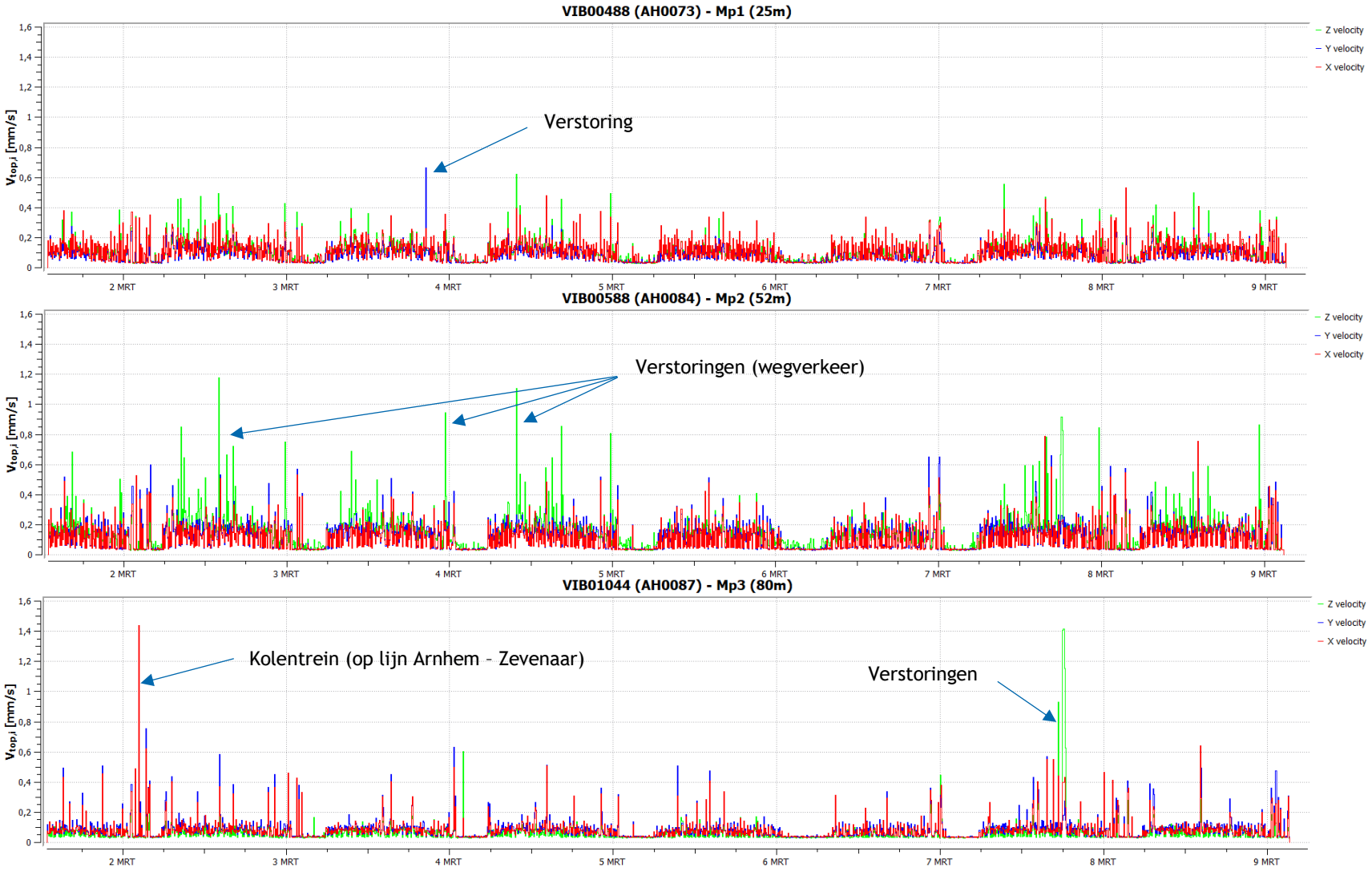
Op de lijn Arnhem – Zevenaar komen incidenteel kolentreinen voor en de beladen kolentreinen in oostelijke richting hebben een zeer sterke trillingsopwekking bij zeer lage frequentie.
Dit genereert in de bodem goed voelbare trillingen tot op grote afstand (200 meter), in met name de horizontale richting haaks op het spoor. Naar verwachting draagt de kleiachtige en verzadigde (natte) bodemtoestand bij aan deze hoge trillingen op maaiveld en het is op basis van de metingen niet precies te beantwoorden hoe snel deze trillingen met de diepte afnemen en in hoeverre dit een bouwwerk beïnvloedt. Voor lichte en op staalgefundeerde bouwwerken verwachten wij echter voelbare trillingen die niet zomaar voldoen aan de streefwaarde (V_{max}) voor nieuwbouw uit de SBR-B (nachtperiode). Er lijkt pas op meer dan 200 meter te worden voldaan. Voor lichte bouwwerken met een diep stekende paalfundatie wordt vooralsnog van hetzelfde uitgegaan omdat een paalfundatie in horizontale richting maar weinig stijfheid toevoegt ten opzichte van een fundering op staal. Bij een zeer slappe toplaag kan het echter toch een verbetering geven en daarnaast is een paalfundatie een voordeel omdat dit ook de weerstand tegen verticale trillingen verbetert.

Zonder (beladen) kolentreinen ziet het plaatje er heel anders uit. In dat geval zal al op ongeveer 60 meter afstand tot het spoor worden voldaan bij bouwwerken (woonfunctie) met een fundering op staal en op 50 meter afstand bij bebouwing met een paalfundatie.

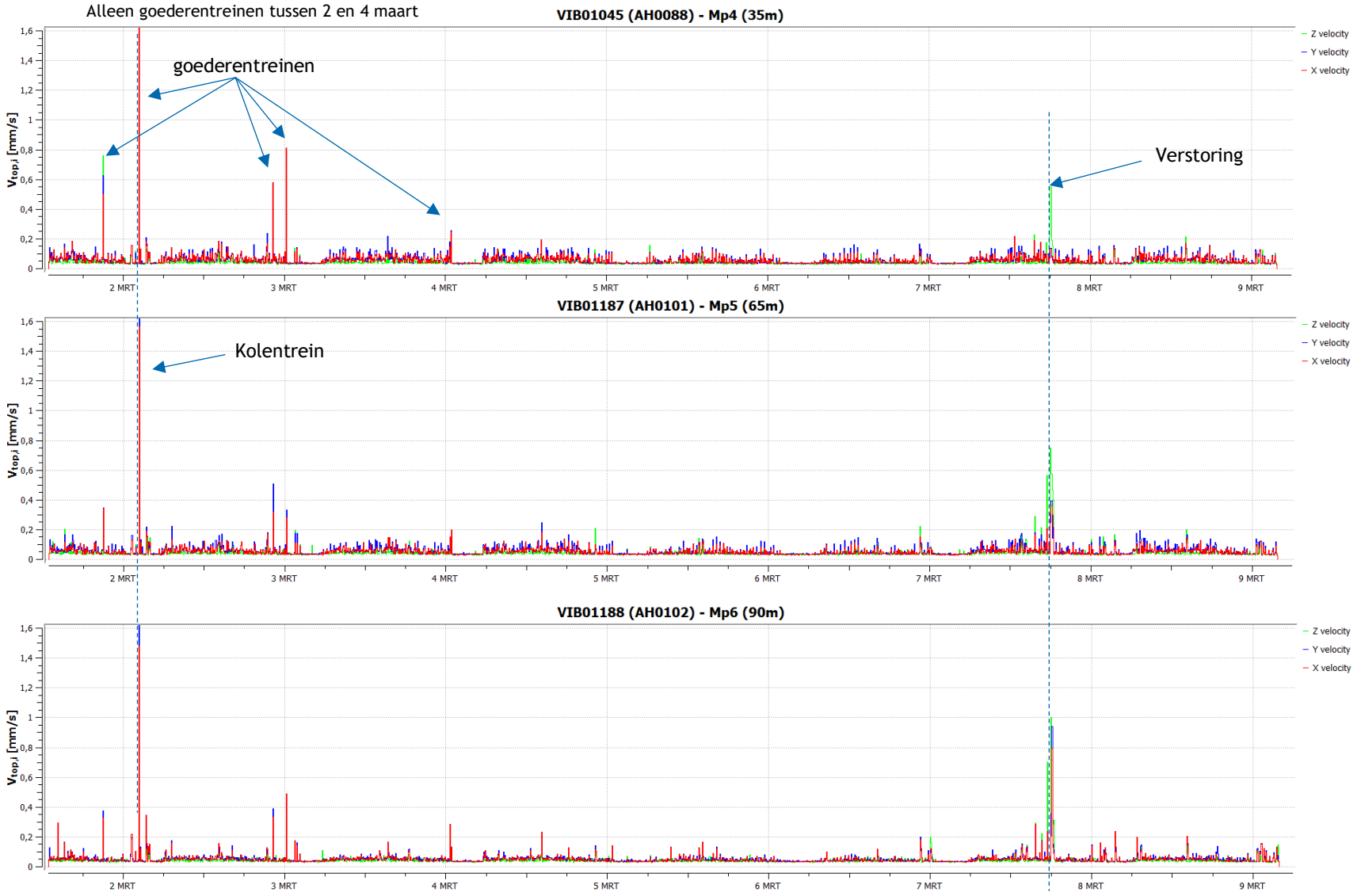
Nader onderzoek is nodig om te achterhalen in hoeverre de nu gemeten sterke horizontale trillingen slechts een oppervlakkig verschijnsel zijn of dat dit optreedt in een veel dikkere bodemlaag. In het laatste geval zal het zeker binnen 100 meter afstand tot het spoor niet eenvoudig zijn om met lichte bouwwerken te voldoen aan de SBR-B. Wij bevelen aan om aanvullende metingen te verrichten op een andere meetlijn op de zuidzijde van de kavel en deze meting uit te voeren onder drogere terreincondities.

Bijlage 1

Titel Trillingsregistraties



Mp1 - Mp3, lijn Arnhem - Zutphen



Mp4 - Mp6, lijn Arnhem - Zevenaar

Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses
Omvang	3
Toelichting	1x noordzijde kavel + 2x zuidzijde kavel

Trillingsprognose railverkeer

X

project	Merwedeterrein Arnhem	bronspectrum	Goederentrein 7 maart 15:43	passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C_F	0,67 (verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2022	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	52 m	rijsnelheid	70 km/u	
				referentie snelheid	70 km/u	

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, max)					71	84	85	90	111	99	96	92	80	75	70	80	70	71	71	73	70				112
afstandscorrectie																									
L_v [dB]					71	84	85	90	111	99	96	92	80	75	70	80	70	71	71	73	70				112
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,02	0,03	0,37	0,09	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,39
																									0,58

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2							overdracht App. 2-3 lagen (H)														
$H_{v,1}$ [dB]					-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0				
L_v [dB]					65	78	79	84	105	93	90	86	74	69	63	72	61	61	61	63	60				106
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,02	0,18	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,19
																				v_{top}					0,29

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	user defined																						
$H_{v,vloer}$					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
L_v [dB]					65	78	79	84	105	93	90	86	74	69	63	72	61	61	61	63	60				106
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,02	0,18	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,19
																				v_{top}					0,29
1e verdieping	vloertype:	user defined																						
$H_{v,3}$ [dB]					1,6	2,3	1,5	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0				
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
L_v [dB]					66	81	81	84	105	92	89	85	73	68	62	71	60	60	60	62	59				106
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,02	0,18	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,19
																				v_{top}					0,28
2e verdieping	vloertype:	user defined																						
$H_{v,3}$ [dB]					3,1	4,7	3,0	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	-1,6	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0				
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
L_v [dB]					68	83	82	84	105	92	89	85	72	67	61	70	59	59	59	61	58				105
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,02	0,18	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,18
																				v_{top}					0,27

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	User defined 2							overdracht App. 2-3 lagen (H)														
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0			
L_v [dB]					57	72	75	81	103	91	89	85	73	69	62	71	61	61	61	63	60				103
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,01	0,14	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				**0,15**
																				V_{per}*					0,001
1e verdieping																									
L_v [dB]					58	75	76	81	103	90	88	85	72	68	61	70	60	60	60	62	59				103
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,01	0,13	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				**0,14**
																				V_{per}*					0,001
2e verdieping																									
L_v [dB]					60	77	78	81	102	90	87	84	71	67	60	69	59	59	59	61	58				103
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,01	0,13	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				**0,14**
																				V_{per}*					0,001

Trillingsprognose railverkeer

Z

project	Merwedeterrein Arnhem	bronspectrum	Goederentrein 7 maart 15:43	passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C_F	0,66 (verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2022	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	52 m	rijsnelheid	70 km/u	
				referentie snelheid	70 km/u	

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (**rms**, gem)	0	0	0	0	72	76	77	92	103	99	101	97	90	88	84	80	68	66	61	61	58	6			107
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)					72	76	77	92	103	99	101	97	90	88	84	80	68	66	61	61	58	6			107
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie																									
L_v [dB]					72	76	77	92	103	99	101	97	90	88	84	80	68	66	61	61	58	6			107
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,04	0,14	0,09	0,12	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,23
																									0,34

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Laagbouw op palen (samenwerking)																						
$H_{v,1}$ [dB]					-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,4	-3,1	-3,9	-5,0	-6,6	-8,9	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4			
L_v [dB]					70	74	75	90	101	97	99	95	87	84	79	74	59	54	49	48	46	-7			105
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,00	0,01	0,03	0,11	0,07	0,09	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,18
																				v_{top}					0,27

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	vloertype 3								(fo = 10-20 Hz)														
$H_{v,vloer}$					0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1	1,4			
L_v [dB]					71	74	75	91	103	100	104	101	94	91	86	80	65	58	53	51	48				109
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,04	0,14	0,10	0,15	0,12	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,27
																				v_{top}					0,41
1e verdieping	vloertype:	vloertype 3								(fo = 10-20 Hz)														
$H_{v,3}$ [dB]					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1	1,4			
L_v [dB]					71	74	75	91	103	100	104	101	94	91	86	80	65	58	53	51	48	-5			109
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,04	0,14	0,10	0,15	0,12	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,27
																				v_{top}					0,41
2e verdieping	vloertype:	vloertype 3								(fo = 10-20 Hz)														
$H_{v,3}$ [dB]					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1	1,4			
L_v [dB]					71	74	75	91	103	100	104	101	94	91	86	80	65	58	53	51	48	-5			109
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,01	0,04	0,14	0,10	0,15	0,12	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,27
																				v_{top}					0,41

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	Laagbouw op palen (samenwerking)																						
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0			
L_v [dB]					63	68	71	88	100	98	102	100	94	91	86	80	65	58	53	51	48	-5			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,08	0,13	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,23**
																				V_{per}*					0,004
1e verdieping																									
L_v [dB]					63	68	71	88	100	98	102	100	94	91	86	80	65	58	53	51	48	-5			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,08	0,13	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,23**
																				V_{per}*					0,004
2e verdieping																									
L_v [dB]					63	68	71	88	100	98	102	100	94	91	86	80	65	58	53	51	48	-5			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,08	0,13	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,23**
																				V_{per}*					0,004

Noordzijde kavel (lijn Arnhem - Zutphen) - Goederentrein

Trillingsprognose railverkeer

X

project	Merwedeterrein Arnhem	bronspectrum	Goederentrein 1 maart 2022 21:02		passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C_F	0,75	(verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2022	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	65 m		rijsnelheid	90	km/u
					referentie snelheid	90	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (**rms**, gem)	0	0	0	0	96	99	102	99	99	90	74	77	64	60	64	70	56	59	59	60	0	0			107
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)					96	99	102	99	99	90	74	77	64	60	64	70	56	59	59	60					107
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					1,2	1,2	0,9	1,5	2,2	2,5	3,0	3,5	4,2	5,0	6,0	7,4	9,1	11,1	13,8	13,9					
L_v [dB]					97	100	103	100	102	93	77	81	69	65	70	77	65	70	73	74					108
v_{rms} [mm/s]					0,07	0,10	0,14	0,10	0,12	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00					0,25
																									0,33

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2						overdracht App. 2-3 lagen (H)															
$H_{v,1}$ [dB]			-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-10,0	-10,0					
L_v [dB]			91	94	97	94	96	87	71	75	63	59	63	69	56	60	63	64					102
v_{rms} [mm/s]			0,04	0,05	0,07	0,05	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,13
																		v_{top}					0,17

Begane grond	vloertype:	user defined																					
$H_{v,vloer}$			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_v [dB]			91	94	97	94	96	87	71	75	63	59	63	69	56	60	63	64					102
v_{rms} [mm/s]			0,04	0,05	0,07	0,05	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,13
																		v_{top}					0,17

1e verdieping	vloertype:	user defined																					
$H_{v,3}$ [dB]			1,6	2,3	1,5	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_v [dB]			93	97	98	94	95	86	71	74	62	58	62	68	55	59	62	63					103
v_{rms} [mm/s]			0,04	0,07	0,08	0,05	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,14
																		v_{top}					0,19

3e verdieping	vloertype:	user defined																					
$H_{v,3}$ [dB]			4,7	7,0	4,5	0,0	-0,6	-1,3	-1,8	-2,4	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_v [dB]			96	101	101	94	95	85	69	72	60	56	60	66	53	57	60	61					106
v_{rms} [mm/s]			0,06	0,12	0,12	0,05	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,19
																		v_{top}					0,26

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	User defined 2								overdracht App. 2-3 lagen (H)														
SBR-weging		-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]						84	88	92	91	93	85	70	74	62	58	63	69	56	60	63	64			98
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,08**
																				V_{per}*				0,000

1e verdieping																								
L_v [dB]						85	91	94	91	93	84	70	73	61	57	62	68	55	59	62	63			99
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,08**
																				V_{per}*				0,000

3e verdieping																								
L_v [dB]						88	95	97	91	92	84	68	71	59	55	60	66	53	57	60	61			101
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,03	0,06	0,07	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,11**
																				V_{per}*				0,001

Trillingsprognose railverkeer

Z

project	Merwedeterrein, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein 1 maart 2022 21:02		passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw (2-3 lagen)	vormfactor C_F	0,72	(verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2021	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	65 m		rijsnelheid	70	km/u
					referentie snelheid	70	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (**rms**, gem)	0	0	0	0	82	84	91	93	107	91	81	68	62	63	61	69	61	62	63	64	62	0			107
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)					82	84	91	93	107	91	81	68	62	63	61	69	61	62	63	64	62				107
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,9	3,4	4,0	4,7	5,7	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4				
L_v [dB]					84	87	93	95	109	93	84	71	65	67	66	75	68	69	70	71	69				110
v_{rms} [mm/s]					0,02	0,02	0,05	0,06	0,29	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,31
																									0,42

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Laagbouw op palen (samenwerking)																					
$H_{v,1}$ [dB]		-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,4	-3,1	-3,9	-5,0	-6,6	-8,9	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4					
L_v [dB]		82	85	91	93	107	92	82	69	62	63	61	68	59	56	57	58	56					108
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,05	0,23	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,24
																	v_{top}						0,34

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	vloertype 3							*(fo = 10-20 Hz)*														
$H_{v,vloer}$		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		83	86	92	94	109	94	86	75	70	70	67	74	64	61	61	61	58					110
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,05	0,29	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,30
																		v_{top}					0,42

1e verdieping	vloertype:	vloertype 3							*(fo = 10-20 Hz)*														
$H_{v,3}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		83	86	92	94	109	94	86	75	70	70	67	74	64	61	61	61	58					110
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,05	0,29	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,30
																	v_{top}						0,42

2e verdieping	vloertype:	vloertype 3							*(fo = 10-20 Hz)*														
$H_{v,3}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		83	86	92	94	109	94	86	75	70	70	67	74	64	61	61	61	58					110
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,05	0,29	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,30
																	v_{top}						0,42

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	Laagbouw op palen (samenwerking)																						
SBR-weging		0,0	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]						75	79	87	91	107	92	85	74	69	70	67	74	64	61	61	61	58			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,01	0,01	0,02	0,03	0,21	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,22**
																					V_{per}*				0,004

1e verdieping																								
L_v [dB]						75	79	87	91	107	92	85	74	69	70	67	74	64	61	61	61	58			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,01	0,01	0,02	0,03	0,21	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,22**
																					V_{per}*				0,004

2e verdieping																								
L_v [dB]						75	79	87	91	107	92	85	74	69	70	67	74	64	61	61	61	58			107
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,01	0,01	0,02	0,03	0,21	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,22**
																					V_{per}*				0,004

Trillingsprognose railverkeer

X

project	Merwedeterrein Arnhem	bronspectrum	Kolentrein 2 maart 2022 02:22		passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C_F	0,75	(verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2022	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	65 m		rijsnelheid	90	km/u
					referentie snelheid	90	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (**rms**, gem)	0	0	0	0	93	118	119	109	92	74	76	77	73	73	75	75	77	77	78	80	0	0			122
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)					93	118	119	109	92	74	76	77	73	73	75	75	77	77	78	80					122
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					1,2	1,2	0,9	1,5	2,2	2,5	3,0	3,5	4,2	5,0	6,0	7,4	9,1	11,1	13,8	13,9					
L_v [dB]					94	119	120	110	94	76	79	80	77	78	81	83	86	89	92	94					123
v_{rms} [mm/s]					0,05	0,91	0,98	0,32	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05					1,38
																									1,84

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	**gebouwtype:**	User defined 2								overdracht App. 2-3 lagen (H)													
$H_{v,1}$ [dB]		-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-10,0	-10,0						
L_v [dB]		88	113	114	104	88	70	73	74	71	72	74	75	77	79	82	84						117
v_{rms} [mm/s]		0,03	0,45	0,49	0,16	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02						0,69
																	v_{top}						0,92

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	**vloertype:**	user defined																					
$H_{v,vloer}$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
L_v [dB]		88	113	114	104	88	70	73	74	71	72	74	75	77	79	82	84						117
v_{rms} [mm/s]		0,03	0,45	0,49	0,16	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02						0,69
																	v_{top}						0,92
1e verdieping	**vloertype:**	user defined																					
$H_{v,3}$ [dB]		1,6	2,3	1,5	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0						
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
L_v [dB]		90	115	115	104	88	70	72	74	70	71	73	74	76	78	81	83						119
v_{rms} [mm/s]		0,03	0,59	0,58	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01						0,85
																	v_{top}						1,13
3e verdieping	**vloertype:**	user defined																					
$H_{v,3}$ [dB]		4,7	7,0	4,5	0,0	-0,6	-1,3	-1,8	-2,4	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0						
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
L_v [dB]		93	120	118	104	88	69	71	72	68	69	71	72	74	76	79	81						122
v_{rms} [mm/s]		0,04	1,02	0,83	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01						1,32
																	v_{top}						1,77

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	**gebouwtype:**	User defined 2								overdracht App. 2-3 lagen (H)													
SBR-weging		-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]						81	107	109	101	86	69	71	74	70	72	74	75	77	79	82	84				112
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,01	0,23	0,29	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02				**0,38**
																					V_{per}*				0,007
1e verdieping																									
L_v [dB]						82	109	111	101	86	68	71	73	69	71	73	74	76	78	81	83				113
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,01	0,30	0,34	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01				**0,46**
																					V_{per}*				0,009
3e verdieping																									
L_v [dB]						85	114	114	101	85	67	70	71	67	69	71	72	74	76	79	81				117
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,02	0,51	0,48	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01				**0,71**
																					V_{per}*				0,016

Trillingsprognose railverkeer

Z

project	Merwedeterrein, Arnhem	bronspectrum	Kolentrein 2 maart 2022 02:22		passages per uur	0	(voelbaar V_{eff} > 0,1)
gebouwtype	Laagbouw (2-3 lagen)	vormfactor C_F	0,72	(verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2021	
gebouwafstand (tot spoor)	50 m	referentieafstand	65 m		rijsnelheid	70	km/u
					referentie snelheid	70	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (**rms**, gem)	0	0	0	0	79	105	107	98	91	74	72	66	62	61	60	62	62	63	64	65	63	0			109
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)					79	105	107	98	91	74	72	66	62	61	60	62	62	63	64	65	63				109
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,9	3,4	4,0	4,7	5,7	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4				
L_v [dB]					81	107	110	100	94	77	75	69	65	65	65	67	68	70	70	71	69				112
v_{rms} [mm/s]					0,01	0,23	0,30	0,11	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,39
																									0,55

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	**gebouwtype:**	Laagbouw op palen (samenwerking)																					
$H_{v,1}$ [dB]		-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,4	-3,1	-3,9	-5,0	-6,6	-8,9	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4					
L_v [dB]		79	105	108	99	92	75	73	67	62	62	60	61	59	57	58	59	57					110
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,18	0,24	0,08	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,32
																	v_{top}						0,44

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	**vloertype:**	vloertype 3																					
		(fo = 10-20 Hz)																					
$H_{v,vloer}$		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		80	106	108	100	94	77	77	73	70	69	66	67	65	62	62	62	59					111
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,20	0,27	0,10	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,35
																	v_{top}						0,48
1e verdieping	**vloertype:**	vloertype 3																					
		(fo = 10-20 Hz)																					
$H_{v,3}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		80	106	108	100	94	77	77	73	70	69	66	67	65	62	62	62	59					111
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,20	0,27	0,10	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,35
																	v_{top}						0,48
2e verdieping	**vloertype:**	vloertype 3																					
		(fo = 10-20 Hz)																					
$H_{v,3}$ [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]		0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L_v [dB]		80	106	108	100	94	77	77	73	70	69	66	67	65	62	62	62	59					111
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,20	0,27	0,10	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,35
																	v_{top}						0,48

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	**gebouwtype:**	Laagbouw op palen (samenwerking)																					
SBR-weging		0,0	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]						72	100	104	96	91	76	76	72	69	68	66	67	65	62	62	62	59			106
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,00	0,10	0,15	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,20**
																					V_{per}*				0,003
1e verdieping																									
L_v [dB]						72	100	104	96	91	76	76	72	69	68	66	67	65	62	62	62	59			106
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,00	0,10	0,15	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,20**
																					V_{per}*				0,003
2e verdieping																									
L_v [dB]						72	100	104	96	91	76	76	72	69	68	66	67	65	62	62	62	59			106
$v_{eff,max}$ [mm/s]						0,00	0,10	0,15	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			**0,20**
																					V_{per}*				0,003

Zuidzijde kavel (lijn Arnhem - Zevenaar) - Kolentrein