

Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem

Invloed trillingen treinverkeer op nieuwbouwlocatie velden 6 en 11

Status	definitief
Versie	004
Rapport	B.2019.0913.00.R001
Datum	20 februari 2020



Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Arnhem Postbus 9200 6800 HA ARNHEM
Contactpersoon opdrachtgever	Mevrouw Y. Gerritsen 026-3774426 Yvette.Gerritsen@arnhem.nl
Project Betreft Uw kenmerk	Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem Trillingsonderzoek treinverkeer -
Rapport Datum Versie Status	B.2019.0913.00.R001 20 februari 2020 004 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Bouw B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. D.H. (Daan) Perfors 088 346 76 35 dpe@dgmr.nl
Auteur	ing. D.H. (Daan) Perfors 088 346 76 35 dpe@dgmr.nl
Projectadviseur	ir. P.B. (Peter) Bijvoet 088 346 76 01 BV@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE BDI

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Uitgangspunten	5
2.1 Toetsingskader	5
2.2 Situatie	5
3. Trillingsmetingen kavel	7
3.1 Meetopstelling	7
3.2 Verwerking meetdata	7
3.3 Resultaten	7
3.4 Nadere beschouwing	9
4. Meting trillingsoverdracht bodem naar gebouw	10
4.1 Meetopstelling	10
4.2 Resultaten	10
5. Prognose	12
5.1 Uitgangspunten	12
5.2 Prognose grondgebonden woningen	12
5.3 Woontoren	13
6. Conclusies en aanbevelingen	14

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties V_{top} op kavel
Bijlage 2	Overdrachtsmetingen
Bijlage 3	Prognose - Laagbouw op 45m

1. Inleiding

Ten noordwesten van station Arnhem Zuid liggen de planvelden 6 en 11, nu voornamelijk in gebruik als akkerland. Op deze velden zal uitbreiding plaatsvinden van de woonwijk Schuytgraaf. De nieuwbouw zal bestaan uit grondgebonden woningen en een appartementencomplex. De kortste afstand van deze bebouwing tot het spoor bedraagt circa 40 meter.

Het onderzoek richt zich op de trillingen afkomstig van treinen op de spoorlijn Arnhem-Nijmegen. Op station Arnhem Zuid passeren, stoppen en vertrekken zowel stoptreinen als intercity's. Daarnaast zijn er passerende intercity's en goederentreinen. Vanwege de korte afstand tot het spoor heeft DGMR, in opdracht van de gemeente Arnhem, onderzoek gedaan naar de te verwachten trillingen in de nieuw te bouwen woningen.

Om een goed beeld te krijgen van de trillingsrisico's zijn op zes meetpunten op de kavel trillingsmetingen verricht. Aanvullend hierop zijn, om beter inzicht te krijgen in de trillingsreductie van paalfundaties, overdrachtsmetingen verricht aan net opgeleverde bebouwing op Schuytgraaf veld 15.

Op basis van de meetresultaten op de kavel en de bepaalde overdrachten aan al gerealiseerde bebouwing, wordt een prognose gegeven van de te verwachten trillingen in de nieuwbouw. Eveneens worden randvoorwaarden gegeven voor het ontwerp om te kunnen voldoen aan de SBR-richtlijn Trillingen deel B 'Hinder voor personen in gebouwen'.

2. Uitgangspunten

2.1 Toetsingskader

Voor de nieuwbouw zijn geen (afwijkende) trillingseisen opgegeven. Optredende trillingen worden beoordeeld aan de hand van de in Nederland gebruikelijke SBR-richtlijn Trillingen deel B: 'Trillingshinder voor personen in gebouwen', uitgave 2002 (revisie 2006). In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden herhaald voorkomende trillingen (railverkeer), nieuwe situaties

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

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} , wanneer $A1 < V_{max} < A2$

Voor nieuwe woningen nabij een spoorlijn wordt voldaan aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (A2/nacht) en de tijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger is dan 0,05 (A3). Als V_{max} lager is dan 0,1 dan komt de toetsing van de V_{per} te vervallen.

2.2 Situatie

Planvelden 6 en 11 liggen ten noordwesten van station Arnhem Zuid, in figuur 1 zijn een luchtfoto en in figuur 2 de bouwplannen weergegeven. De afstand tussen het spoor en de eerstelijns bebouwing bedraagt circa 40 meter. De bouwwijze van de nieuwbouw is nog niet nader ingevuld.



figuur 1: luchtfoto met meetpunten



figuur 2: bouwplan

De spoorlijn bestaat uit twee sporen en verbindt Arnhem en Nijmegen. De lijn wordt gebruikt door (personen)vervoersbedrijven NS en Arriva. Tijdens de metingen zijn diverse treintypen waargenomen, grofweg op te delen als stoptreinen (Sprinter Light Train en Stadler GTW) en intercity's (VIRM en NID). In basis doen ten minste acht treinen per uur station Arnhem Zuid aan. De rijksnelheden ter hoogte van de bouwkavel zijn relatief laag, maar variëren aanzienlijk over de lengte van de kavel (circa 700 meter). De doorgaande intercity's passeren daarbij met de hoogste snelheid.

Behalve voor personenvervoer wordt het spoor ook gebruikt voor goederenvervoer. Uit de jaar-rapportage van ProRail is op te maken dat het om circa vijf goederenpassages per dag gaat.

3. Trillingsmetingen kavel

De metingen op de kavel (veld 6 en 11) zijn uitgevoerd tussen 8 en 15 augustus 2019. In deze week zijn er geen afwijkingen geconstateerd in de bedrijfsvoering op het spoor. Treinen reden met gebruikelijke snelheden op de gebruikelijke sporen.

3.1 Meetopstelling

In figuur 1 zijn de 6 meetposities op de kavel weergegeven. De horizontale X-richting staat haaks op het spoor en de Y-richting parallel aan het spoor. Voor de metingen is gebruikgemaakt van meetsystemen van het type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De sensoren van de systemen zijn gemonteerd op 65 cm lange meetpennen, die over nagenoeg de volle lengte in de bodem zijn geslagen om goed contact met de bodem te verkrijgen. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

tabel 2: meetsystemen

Meetpunt	Afstand tot spoor	DGMR id.	Serienummer
Mp1	40 m	AH0088	VIB01045
Mp2	40 m	AH0087	VIB01044
Mp3	40 m	AH0073	VIB00488
Mp4	60 m	AH0084	VIB00588
Mp5	90 m	AH0083	VIB00587
Mp6	40 m	AH0071	VIB00485

3.2 Verwerking meetdata

Voor de prognose van te verwachten trillingen in de bebouwing zijn de top-15 zwaarste treinen qua trillingen geselecteerd en verwerkt. De prognose wordt gebaseerd op het statistisch maximum van de top-15 zwaarste treinpassages met een betrouwbaarheid van 95%, overeenstemmend met de SBR-B-richtlijn. De overdrachtsverzwakking tussen de meetpunten wordt eveneens bepaald uit de statistische maxima per meetpunt.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillingshinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt gemeten in 30 seconden intervallen volgens de SBR-B. Met behulp van (spoorgerichte) camerabeelden zijn treinen geïdentificeerd in de meetdata. Deze treinpassages zijn gecontroleerd op eventuele verstoringen aan de hand van de registraties van de overige meetsystemen. Deze check is gedaan op basis van het trillingssignaal V_{top} . De V_{top} kan in tegenstelling tot de V_{eff} op een kort meetinterval ingesteld worden, wat een betere herkenning van verstoringen mogelijk maakt. Hiervoor is een interval van 3 seconden aangehouden. Van de geïdentificeerde treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ vervolgens geselecteerd voor verdere analyse en prognose.

3.3 Resultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van treinpassages en eventuele verstoringen gedurende een week meten op de kavel. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} die, zoals in paragraaf 3.2 is omschreven, wordt gebruikt voor identificatie van de treinpassages. Uit de onderliggende registraties van de V_{eff} is vervolgens de top-15 treinpassages geselecteerd en statistisch verwerkt conform de in de SBR-B aangegeven methodiek. De tabellen 3 en 4 tonen deze top-15 (effectieve) trillingssterkten $V_{eff,max}$. De passages zijn qua trillingssterkte per meetpositie en per richting aflopend gerangschikt.

tabel 3: trillingssterkten $V_{\text{eff,max}}$ (top-15) in de bodem - 40 m van spoor: Mp1, Mp2 en Mp6

Top	Mp1 (40 m)			Mp2 (40 m)			Mp6 (40 m)		
	X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,48	0,22	0,38	0,30	0,25	0,31	0,51	0,46	0,34
2	0,36	0,21	0,28	0,27	0,23	0,28	0,37	0,38	0,31
3	0,35	0,18	0,26	0,25	0,19	0,28	0,37	0,34	0,30
4	0,35	0,18	0,25	0,25	0,19	0,22	0,35	0,31	0,29
5	0,33	0,18	0,24	0,24	0,17	0,21	0,34	0,27	0,27
6	0,33	0,18	0,24	0,23	0,17	0,21	0,34	0,27	0,27
7	0,32	0,17	0,23	0,23	0,17	0,20	0,34	0,26	0,24
8	0,28	0,17	0,23	0,21	0,16	0,19	0,32	0,26	0,23
9	0,28	0,17	0,23	0,21	0,16	0,18	0,31	0,25	0,23
10	0,27	0,16	0,22	0,21	0,15	0,18	0,28	0,23	0,23
11	0,27	0,16	0,22	0,21	0,15	0,18	0,28	0,23	0,22
12	0,27	0,16	0,22	0,20	0,15	0,18	0,27	0,22	0,22
13	0,27	0,15	0,21	0,19	0,15	0,18	0,27	0,22	0,21
14	0,26	0,15	0,21	0,19	0,15	0,17	0,27	0,22	0,20
15	0,24	0,15	0,21	0,19	0,14	0,17	0,26	0,22	0,20
Aantal passages (n)	15								
Gemiddelde (μ)	0,31	0,17	0,24	0,23	0,17	0,21	0,33	0,28	0,25
Standaarddeviatie (σ)	0,06	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,04
$V_{\text{eff,max,stat}}$	0,44	0,21	0,33	0,32	0,24	0,31	0,46	0,43	0,34

* X-richting is \perp spoor - Y-richting is // spoor en Z-richting is verticaal

tabel 4: trillingssterkten $V_{\text{eff,max}}$ (top-15) in de bodem, meetlijn: Mp3, Mp4 en Mp5

Top	Mp3 (40 m)			Mp4 (65 m)			Mp5 (90 m)		
	X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,41	0,31	0,39	0,51	0,37	0,35	0,52	0,40	0,31
2	0,40	0,30	0,36	0,46	0,36	0,33	0,49	0,38	0,31
3	0,40	0,30	0,36	0,44	0,36	0,33	0,49	0,36	0,3
4	0,37	0,29	0,35	0,42	0,34	0,32	0,48	0,32	0,28
5	0,37	0,28	0,35	0,41	0,34	0,31	0,47	0,31	0,27
6	0,37	0,27	0,34	0,41	0,32	0,30	0,47	0,26	0,27
7	0,36	0,27	0,32	0,39	0,32	0,28	0,47	0,25	0,25
8	0,34	0,26	0,31	0,39	0,31	0,28	0,44	0,24	0,24
9	0,34	0,24	0,31	0,38	0,31	0,27	0,42	0,24	0,23
10	0,34	0,23	0,28	0,37	0,31	0,26	0,39	0,24	0,21
11	0,32	0,22	0,28	0,33	0,30	0,26	0,36	0,24	0,21
12	0,32	0,22	0,26	0,32	0,28	0,24	0,36	0,24	0,20
13	0,29	0,20	0,24	0,29	0,27	0,23	0,32	0,23	0,20
14	0,26	0,19	0,23	0,29	0,26	0,22	0,32	0,21	0,19
15	0,25	0,18	0,23	0,28	0,26	0,21	0,30	0,21	0,19
Aantal passages (n)	15								
Gemiddelde (μ)	0,34	0,25	0,31	0,38	0,31	0,28	0,42	0,28	0,24
Standaarddeviatie (σ)	0,05	0,04	0,05	0,52	0,38	0,04	0,07	0,06	0,04
$V_{\text{eff,max,stat}}$	0,44	0,34	0,41	0,52	0,38	0,37	0,57	0,41	0,33

* X-richting is \perp spoor - Y-richting is // spoor en Z-richting is verticaal

De top-15 wordt voornamelijk gevormd door goederentreinen en enkele zuidgaande intercity's. Uit de tabellen 3 en 4 is op te maken dat:

- Op alle meetlocaties de horizontale X-richting (haaks op het spoor) dominant is.
- De trillingssterkten in de horizontale richtingen van Mp3 dichtbij het spoor naar de verder afgelegene meetpunten Mp4 en Mp5 niet afnemen maar juist licht toenemen.
- De trillingssterkten in verticale richting van Mp3 naar Mp4 en Mp5 relatief langzaam afnemen.
- Het viaduct mogelijk hogere trillingssterkten opwekt in het zuidelijk deel van de kavel (Mp6).
- Op meetpunt Mp2 de laagste trillingssterkten worden gemeten.

3.4 Nadere beschouwing

De trillingsafname met toenemende afstand tot het spoor is opvallend laag. Een spectrale analyse laat zien dat frequenties tussen 5 en 10 Hz dominant zijn in het trillingsspectrum. Met name de 5 Hz component is sterk aanwezig in het trillingsspectrum van zwaardere goederentreinen en deze component is toe te schrijven aan de voorbijtrekkende wielstellen van de treincombinatie. Gezien de treinlengte heeft deze het karakter van een lijnbron. Hiervoor geldt dat trillingen (oppervlaktegolven) met toenemende afstand tot het spoor slechts afnemen door bodemdemping, maar niet door geometrische afname (verspreiding). Gevolg is dat er op relatief grote afstand van het spoor nog goed voelbare trillingen in de bodem optreden. Het prognosemodel is afgestemd op dit karakteristieke trillingsverloop.

De gemeten trillingssterkten in de horizontale richtingen zijn op deze kavel opvallend hoog. DGMR heeft in 2017 vergelijkbare metingen uitgevoerd op het circa 200 meter zuidelijker (ten opzichte van Mp6) gelegen veld 15 en in de wijk Elderveld aan de andere zijde van het spoor. Op beide locaties werden veel lagere trillingssterkten in horizontale richtingen gemeten in vergelijking tot de verticale meetrichting. Vermoed wordt dat de terreintoestand hier mee te maken heeft en dat het maisland, dat naar verwachting jaarlijks omgeploegd zal worden, in de toplaag zich aanmerkelijk slapper en meer trillingsgevoelig gedraagt. Meetpunt Mp2, dat zich niet op een akker bevond, gaf al aanmerkelijk lagere trillingssterkten in de horizontale richtingen te zien.

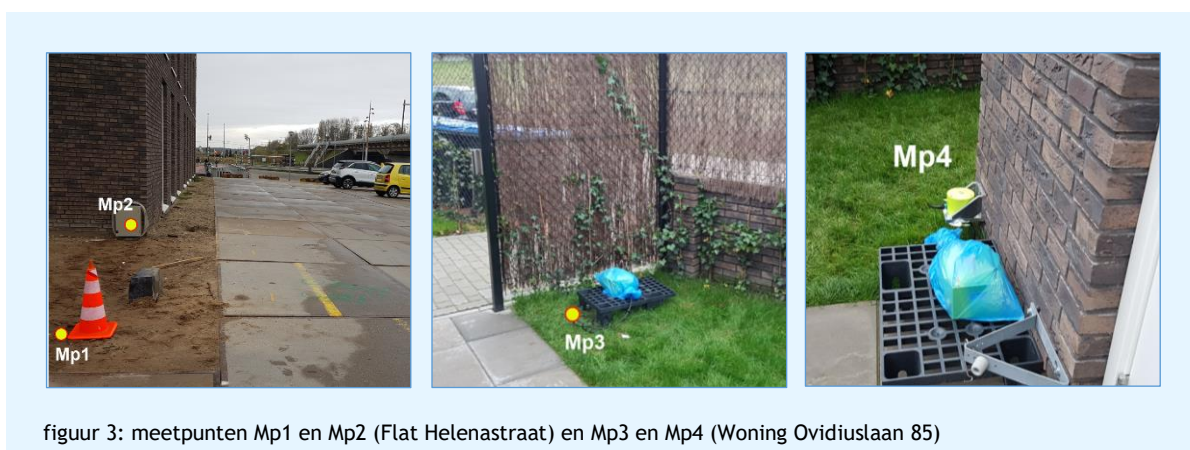
Verwacht mag worden dat op de maisakker de trillingssterkten op enige diepte onder het maaiveld in horizontale richtingen aanzienlijk lager zullen zijn dan op het maaiveld. Verwacht wordt dan ook dat een onder het maaiveld liggende fundatie van een gebouw aan fors lagere trillingssterkten blootgesteld wordt dan de maaiveldmetingen nu laten zien. In de prognoses zal hiervoor gecorrigeerd worden.

4. Meting trillingsoverdracht bodem naar gebouw

De overdrachtsmetingen aan bestaande bebouwing zijn uitgevoerd tussen 26 en 28 november 2019. In deze periode zijn er geen afwijkingen geconstateerd in de bedrijfsvoering op het spoor. Treinen reden met gebruikelijke snelheden op de gebruikelijke sporen.

4.1 Meetopstelling

Figuur 3 toont de meetposities voor de overdrachtsmetingen. Voor de metingen is gebruikgemaakt van twee typen meetsystemen, het Profound Vibra-sbr meetsysteem (Helenatoren) en het Semex Menhir meetsysteem (woning). De sensoren van beide bodemmeetpunten (Mp1 en Mp3) zijn ingegraven. De sensoren aan de gevels (Mp2 en Mp4) zijn gemonteerd met een muurbeugel. De horizontale X-richting staat haaks op het spoor en de Y-richting parallel aan het spoor. Tabel 5 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.



figuur 3: meetpunten Mp1 en Mp2 (Flat Helenastraat) en Mp3 en Mp4 (Woning Ovidiuslaan 85)

tabel 5: meetsystemen

Meetpunt	Afstand tot spoor	DGMR id.	Serienummer
Mp1 - bodem flat	43 m	AH0088	VIB00485
Mp2 - gevel flat	43 m	AH0087	VIB00488
Mp3 - bodem woning	43 m	AH0150	19181110
Mp4 - gevel woning	45 m	AH0151	19181111
Mp5 - 1 ^e verdieping woning	47 m	AH0083	VIB00587
Mp6 - 2 ^e verdieping woning	47 m	AH0152	19181112

4.2 Resultaten

Bijlage 2 blad 1 toont de gemeten trillingspectra in de bodem (Mp1) en aan de gebouwfundatie (Mp2: laag punt gevel) van de Helenatoren (10 bouwlagen). Bij frequenties tot 4 Hz en vanaf 40 Hz bevatten de treinspectra weinig trillingsenergie en zijn de gemeten overdrachten onbetrouwbaar. Bij deze frequenties kan het zelfs zijn dat de trillingsenergie afkomstig is van de flat zelf (windaanstoting, installaties) en het feitelijk dus om een omgekeerde trillingsoverdracht van gebouw naar bodem gaat. De bepaalde overdrachten bij deze frequenties worden dan ook niet zondermeer gebruikt voor de prognoses. In tabel 6 worden de bepaalde overdrachten voor de Helenatoren weergegeven.

tabel 6: gemeten trillingsoverdrachten - Helenatoren

Frequentie [Hz]	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63
X (⊥ spoor)	1	4	0	-3	-6	-7	-7	-8	-9	-9	-6	-10	-1	4
Y (// spoor)	0	0	1	-2	-1	-10	-15	-12	-8	-11	-9	-7	-3	1
Z (verticaal)	3	-3	-7	-6	-5	-10	-7	-6	-11	-4	-5	-8	-7	-5

Bijlage 2 blad 2 toont de gemeten trillingsspectra (Mp3 en Mp4) en overdrachten voor de woning Ovidiuslaan 85. Zeer laag frequent, tot ongeveer 2,5 Hz zijn de gemeten trillingsniveaus aan de gevel nauwelijks hoger dan het achtergrondniveau en is geen betrouwbare overdracht te bepalen. Verticaal liggen de trillingsniveaus tijdens treinpassages al vanaf de laagste bepaalde frequentie van 1,25 Hz ruim boven het achtergrondniveau en is de bepaalde overdracht bruikbaar. Bij frequenties hoger dan 40 Hz zijn er in het achtergrondsignaal in de bodem (Mp3) en aan de gevel (Mp4) stoortonen zichtbaar die een juiste bepaling van de overdracht hinderen, maar de bepaalde overdrachten (vanaf 40 Hz) zijn vanwege het lagere ruisniveau van de gebruikte meetsystemen beter dan die bij de Helenatoren.

tabel 7: gemeten trillingsoverdrachten - woning Ovidiuslaan 85

Frequentie [Hz]	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63
X (⊥ spoor)	1	-1	-1	-1	-4	-7	-8	-9	-9	-8	-7	-10	-9	-7
Y (// spoor)	4	2	1	2	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-3	-4	-1	0
Z (verticaal)	-4	-4	-3	-2	-2	-8	-11	-8	-6	-3	-4	-7	-3	-4

Behalve de overdracht van bodem naar gebouwfundatie (gevel) is in de woning Ovidiuslaan 85 ook de trillingsoverdracht naar de verdiepingsvloer bepaald. Hiervoor is een meetpunt (Mp6) ingericht in de slaapkamer op de 2^{de} verdieping. Bijlage 2 blad 3 toont de gemeten trillingsspectra en de hieruit bepaalde overdrachten van het gevelmeetpunt (Mp4) naar het midden van de vloer op de 2^{de} verdieping (Mp6). Deze spectrale overdrachten zijn verzameld in tabel 8.

tabel 8: gemeten trillingsoverdrachten Ovidiuslaan 85 - gevel naar vloer 2^{de} verdieping

Frequentie [Hz]	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63
X (⊥ spoor)	1	1	3	4	3	2	5	2	2	2	3	2	3	3
Y (// spoor)	1	1	2	5	8	3	1	-2	0	0	-1	-6	-2	0
Z (verticaal)	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-3	0	0	-1	-1	0	-3	-1

Tabel 8 laat zien dat de vloer in verticale richting tijdens goederentreinpassages in het geheel niet opslingert ten opzichte van het gevelmeetpunt. De woningvloer bestaat uit een kanaalplaatvloer met een beperkte overspanning en heeft een zodanige buigstijfheid dat de laagste eigenfrequentie boven de dominante frequenties uit het treinspectrum ligt. Rond 16 à 20 Hz is de verzwakking, vermoedelijk doordat hier de vloereigenfrequenties liggen, maar ook bij deze frequenties komt het niet tot trillingsversterking.

In de horizontale Y-richting is rond 8 Hz wel duidelijk sprake van trillingsversterking. Dit is de smalste richting van het woningblok en bij deze frequentie ondergaat de woning een kantelbeweging op haar fundering (van voor naar achteren) waardoor trillingen naar hoger gelegen verdiepingen toenemen. Deze toename is er de reden van dat op de 2^{de} verdiepingsvloer de trillingssterkten in deze woning bij enkele goederentreinpassages licht boven de streefwaarde uit de SBR-B voor de nachtperiode (A2 = 0,2) uitkomen.

In de X-richting, dwars op het woningblok, is rond 6,3 Hz enige resonantie waarneembaar, maar dit leidt voor deze woning niet tot trillingssterkten boven de streefwaarde.

De bepaalde overdrachten uit de tabellen 6 t/m 8 worden gebruikt in de prognoses voor de nieuwbouw in de velden 6 en 11, zie hoofdstuk 5.

5. Prognose

5.1 Uitgangspunten

Voor de prognose van te verwachten trillingssterkten in de toekomstige bebouwing op veld 6 en 11 is gebruikgemaakt van een empirisch rekenmodel. Dit rekenmodel is gebaseerd op door TNO ontwikkelde overdrachtsformules aangevuld met DGMR praktijkervaring. Voor dit project is het model afgestemd op de gemeten trillingsoverdrachten van de recent opgeleverde bebouwing aan de Helenastraat/Ovidiuslaan (Schuytgraaf veld 15). De bouwwijzen van deze panden zijn eigentijds en representatief voor wat verwacht mag worden in de nieuwbouw op veld 6 en 11.

Gedrag vloeren

De metingen in de woning Ovidiuslaan 85 toonden geen enkele trillingsversterking in verticale richting tijdens treinpassages. Dit is ook voor de nieuwbouw haalbaar mits vloeren relatief stijf worden uitgevoerd waarbij de laagste buig-eigenfrequentie boven het, voor treinpassages dominante frequentiegebied van 5 tot 10 Hz, liggen. Dit is bij vloeren met een beperkte overspanning zonder veel problemen haalbaar en zal dan ook als uitgangspunt voor de prognose worden gehanteerd. Evenwel is dit een ontwerpcriterium dat aan de projectontwikkelaar of aannemer zal moeten worden meegeven.

Gedrag woningcasco

Omdat het aanlegniveau van de fundatie lager ligt dan het maaiveld en trillingen in horizontale richting snel afnemen met de diepte, wordt verwacht dat op begane grondvloeren het trillingsniveau in verticale richting maatgevend zal zijn. De mogelijk optredende trillingsversterking van het vloerveld in verticale richting is hiervoor een belangrijke reden.

Op hogere verdiepingen kan evenwel de horizontale richting soms dominant zijn als het woningcasco in resonantie raakt op het funderingssysteem. Dit kan soms optreden bij (langere) goederentreinen en is ook waargenomen bij enkele goederentreinpassages, maar laat zich op voorhand moeilijk voorspellen. Bij kortere en sneller rijdende reizigerstreinen is dit risico veel minder aanwezig.

5.2 Prognose grondgebonden woningen

Bijlage 3 toont een prognoseberekening voor een op palen gefundeerde grondgebonden woning van twee tot drie bouwlagen. Deze prognose geldt voor een afstand van 45 meter tot het spoor. Dit is de minimum bebouwingafstand op de verstrekte invullingsvarianten van de kavel.

De prognose is gebaseerd op de gemeten trillingssterkten op de kavel van meetpunt Mp3, het meetpunt met de hoogst waargenomen trillingssterkten. Wij verwachten dat de trillingssterkten op het aanlegniveau van de fundatie (enkele decimeters onder het maaiveld) fors lager zullen zijn dan de gemeten waarden op het maaiveld. Daarom is op de gemeten trillingssterkten in horizontale richtingen een neerwaartse correctie van een factor 2 toegepast. Zie de motivatie in paragraaf 3.4.

In de prognose is voor de overdrachtsverzwakking van bodem naar woningfundatie de gemeten overdrachtsverzwakking volgens tabel 7 aangehouden, geldend voor een op betonnen palen gefundeerde woning. Voor de trillingsoverdracht naar hoger gelegen verdiepingen zijn de overdrachten uit tabel 8 aangehouden. Aanname daarbij is dat in de nieuwbouw stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van tenminste 15 Hz om trillingsversterking in vloeren te voorkomen. Tabel 9 geeft een overzicht van de rekenresultaten op verschillende afstanden tot het spoor.

tabel 9: trillingsprognose (V_{\max}/V_{per}) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie > 15 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Vloerniveau	Trillingssterkte V_{\max} (V_{per})			
				30 m	45 m	70 m	100 m
Laagbouw op palen	2-3	Horizont*	Begane grond	0,18 (0,01)	0,17 (0,01)	0,15 (0,01)	0,14 (0,01)
			2 ^e verdieping	0,26 (0,02)	0,248 (0,02)	0,23 (0,02)	0,20 (0,01)
		Verticaal	Alle lagen	0,21 (0,01)	0,19 (0,01)	0,18 (0,01)	0,16 (0,01)

* geldend voor de smalste woningdoorsnede (van voor naar achter in het geval van rijwoningen)

In tabel 9 worden de geprognosticeerde trillingssterkten in twee (of drie) decimalen weergegeven om het verloop/verval met toenemende afstand tot het spoor inzichtelijk te maken. Voor de toetsing is de V_{\max} echter af te ronden op één decimaal, dezelfde nauwkeurigheid als waarin de streefwaarde is opgegeven.

Tabel 9 laat zien dat tot op een afstand van 100 meter tot het spoor voelbare trillingen mogelijk zijn, maar dat op meer dan 45 meter afstand de trillingssterkte volgens de prognoses is gezakt tot onder 0,25 of evenals de streefwaarde afgerond op één decimaal niet hoger is dan 0,2.

Dit betreft dan de trillingssterkte op de tweede verdieping en treedt hooguit op tijdens lange of zwaardere goederentreinen, die het woningcasco in resonantie brengen op het funderingssysteem. Naar verwachting zijn dit maar enkele passages per week, waarbij alleen de passages in de nachtperiode (de helft) voor de toetsing relevant zijn.

5.3 Woontoren

In tabel 10 zijn resultaten van de prognoseberekening voor een woontoren van tenminste tien bouwlagen weergegeven. In de prognose is voor de overdrachtsverzwakking van bodem naar woningfundatie de gemeten overdrachtsverzwakking volgens tabel 6 aangehouden. Voor het trilgedrag van vloeren wordt hetzelfde uitgangspunt gehanteerd als voor de grondgebonden woningen, namelijk dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van ongeveer 15 Hz. Onder deze voorwaarde zal weinig trillingsversterking optreden op vloerniveau. Tabel 10 geeft een overzicht van de rekenresultaten op verschillende afstanden tot het spoor.

tabel 10: trillingsprognose (V_{\max}/V_{per}) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie > 15 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Vloerniveau	Trillingssterkte V_{\max} (V_{per})			
				30 m	45m	70 m	100 m
Hoogbouw (woontoren)	≥ 10	Horizont.	Begane grond	0,13 (0,01)	0,13 (0,01)	0,12 (0,01)	0,11 (0,01)
			Hoogste verdieping	0,15 (0,01)	0,14 (0,01)	0,13 (0,01)	0,12 (0,01)
		Verticaal	Alle lagen	0,18 (0,01)	0,17 (0,01)	0,15 (0,01)	0,13 (0,01)

Uit tabel 10 blijkt dat in hoogbouw van tien verdiepingen, volgens de prognoses al op 30 meter afstand tot het spoor, wordt aan de streefwaarden uit de SBR-B, mits deze hoogbouw wordt uitgevoerd in een volledige betonconstructie.

6. Conclusies en aanbevelingen

Het trillingsonderzoek op de bouwkevels van veld 6 en 11 gaf relatief hoge trillingssterkten te zien in de horizontale richtingen. Vergelijk met eerder uitgevoerde kavelmetingen, op het 200 meter zuidelijker gelegen veld 15 en aan de overzijde van het spoor in de wijk Elderveld, doet vermoeden dat dit is veroorzaakt door de terreingesteldheid van het periodiek omgeploegde akkerland (maïsveld) waarop de metingen zijn uitgevoerd. In de vergelijkbare metingen, op de andere kavels werden aanzienlijk lagere trillingssterkten gemeten in horizontale richtingen in verhouding tot gemeten trillingssterkten in de verticale meetrichting. Hiervoor is een correctie toegepast op de horizontale meetwaarden.

In de prognose is rekening gehouden met de gemeten trillingsoverdrachten van bodem naar gebouwfundatie en van dit punt naar verdiepingsvloeren, zoals gemeten aan de bebouwing in Schuytgraaf veld 15 (Helenastraat/Ovidiuslaan). Deze recente bebouwing is qua constructie als representatief te beschouwen voor de nu te ontwikkelen bebouwing.

De op de kavelmetingen en overdrachtsmetingen gebaseerde prognoses laten zien, dat in hoogbouw op een afstand van tenminste 30 meter afstand tot het spoor, al zal worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B richtlijn, mits deze hoogbouw wordt uitgevoerd in een betonnen draagconstructie met eveneens betonnen vloeren.

In grondgebonden woningen (laagbouw) zal de trillingssterkte V_{max} binnen een afstand van 45 meter tot het spoor de streefwaarde A2 van 0,2 uit de SBR-B (nachtperiode) mogelijk overschrijden. Dit is naar verwachting slechts tijdens langere goederentreinpassages en voor zover deze het woningcasco op het funderingssysteem in resonantie brengen. Het voorspellen van eventuele resonanties van een woningcasco op het funderingssysteem is niet eenvoudig en ook niet eenvoudig tegen te gaan. Het betreft echter hooguit enkele treinen per week en beperkt zich dan tot de hoogste (2^{de}) verdieping in de horizontale richtingen. Van reizigerstreinen zijn geen trillingssterkten V_{max} hoger dan de streefwaarde te verwachten.

Voor zowel hoogbouw als laagbouw is het van belang dat vloeren niet trillingsgevoelig zijn in het dominante frequentiegebied van treinpassages. Dit betreft het frequentiegebied van 4 tot 10 Hz. Om hieraan invulling te geven is het van belang dat woningvloeren binnen een afstand van 60 meter bij grondgebonden woningen en 50 meter in het geval van hoogbouw worden gedimensioneerd op een laagste (buig)eigenfrequentie van ongeveer 15 Hz.

Voor woningen binnen 100 meter afstand van het spoor is het verder van belang dat een paalfundering wordt toegepast tot op een draagkrachtige en meer trillingsarme laag. In veld 6 en 11 zullen overal paalfunderingen worden toegepast. Per bouwcluster zal de aanlegdiepte van deze paalfundering moeten worden gezien op basis van de sonderingsgegevens.

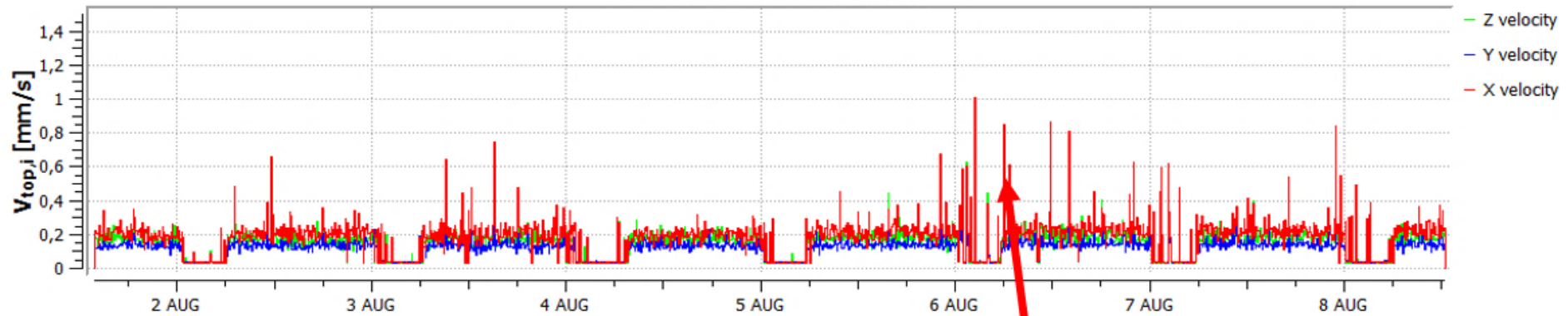


ir. P.B. (Peter) Bijvoet
DGMR Bouw B.V.

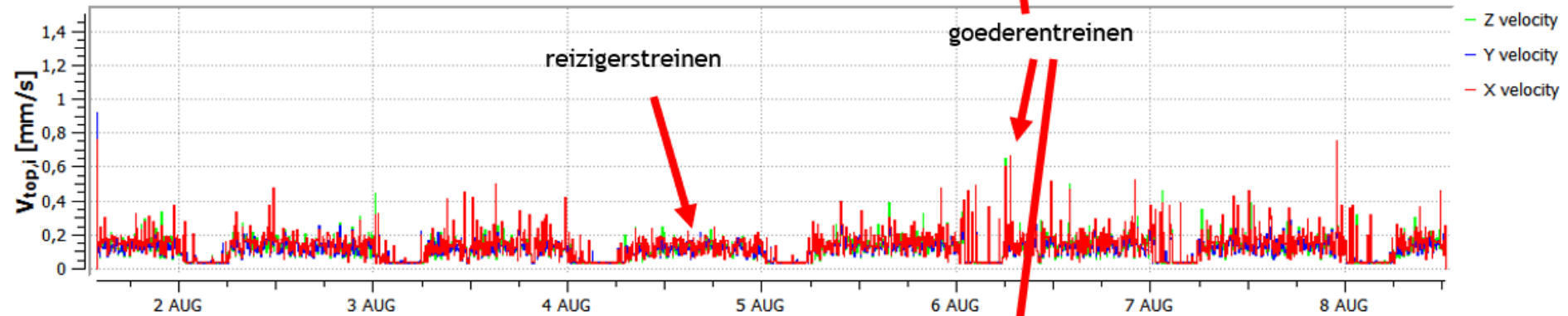
Bijlage 1

Titel Trillingsregistraties V_{top} op kavel

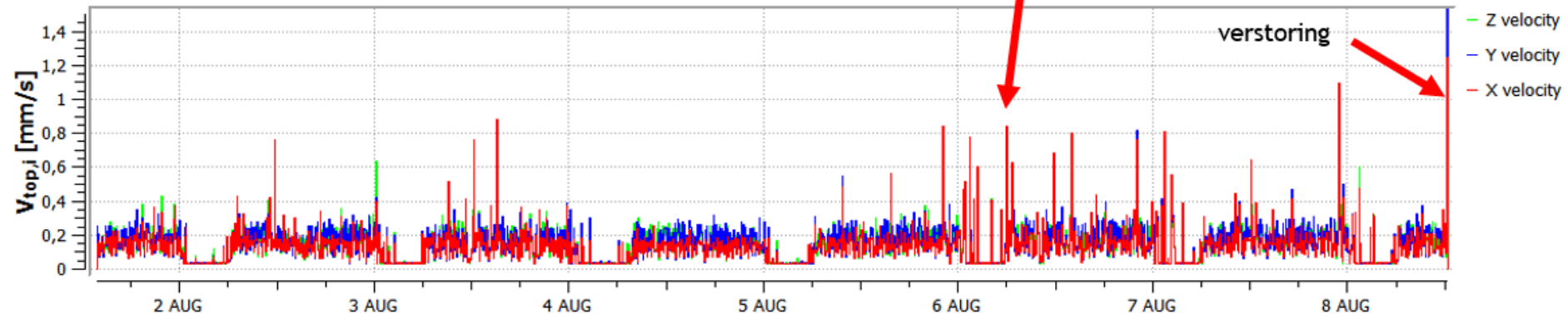
VIB01045 - Mp1 (40m)

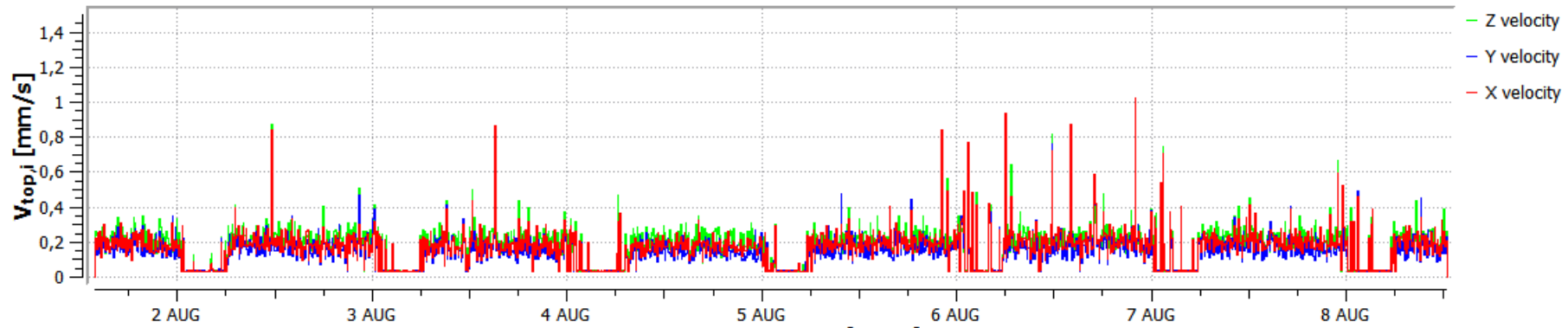
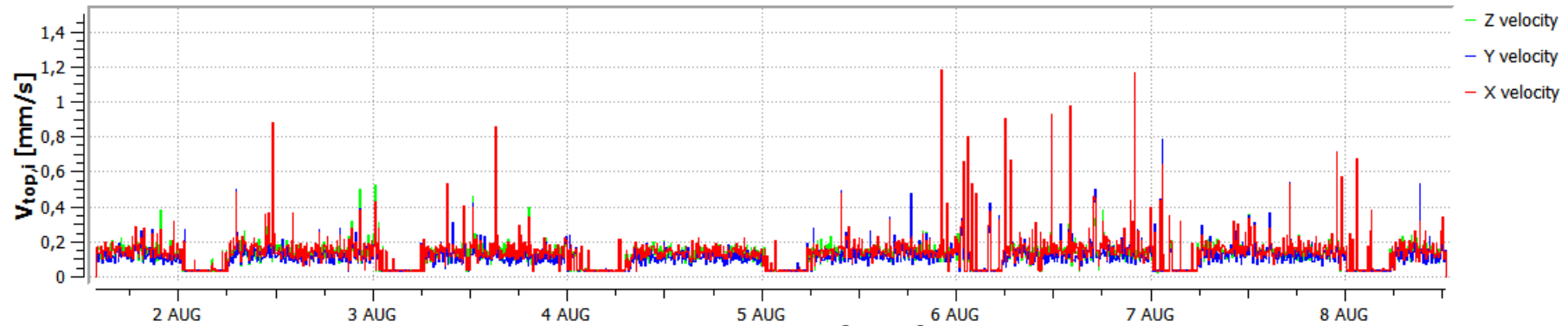
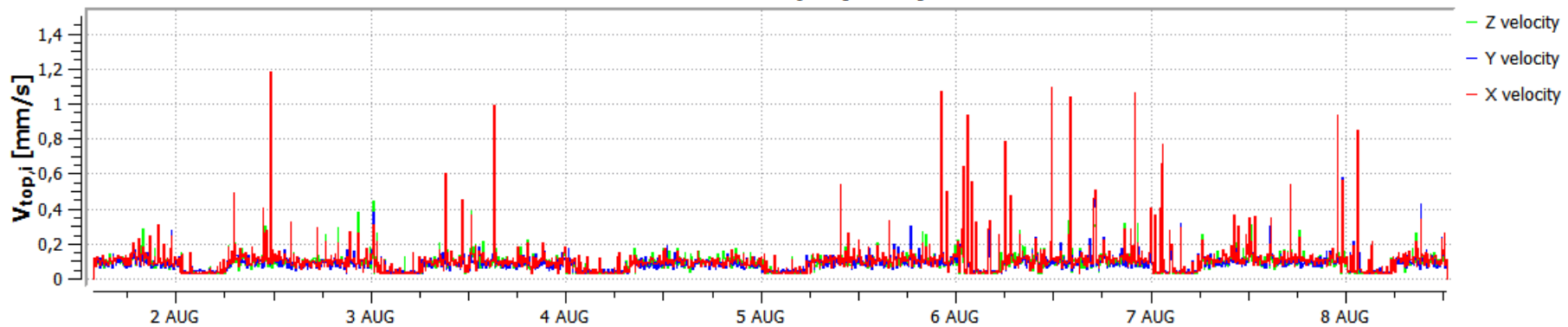


VIB01044 - Mp2 (40m)



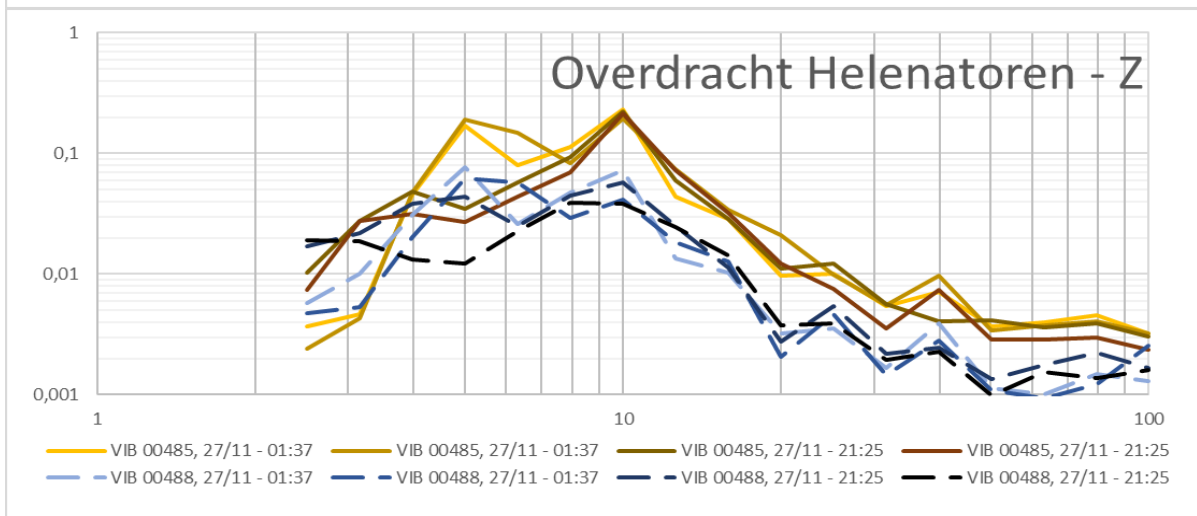
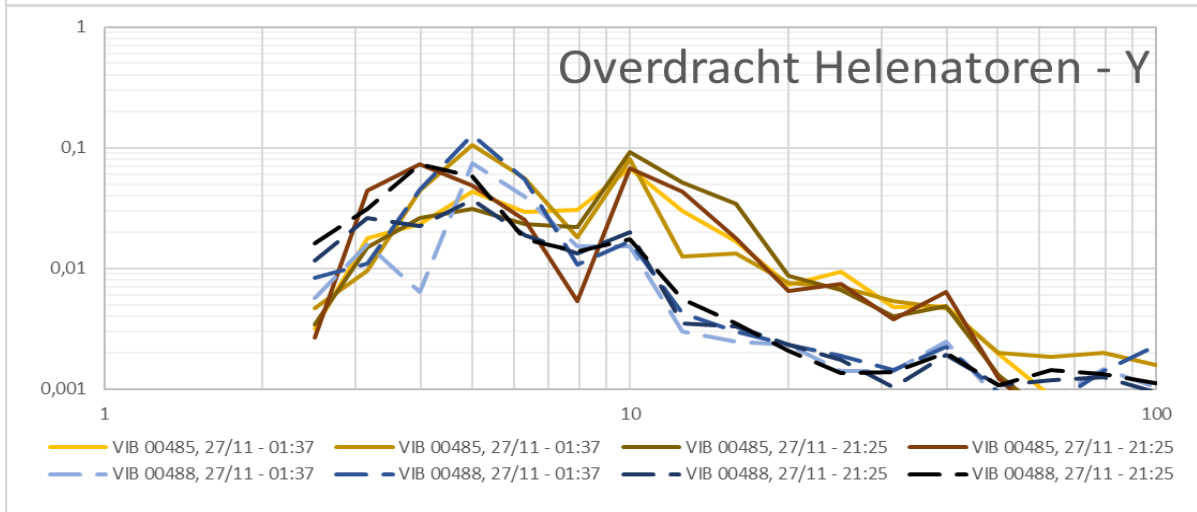
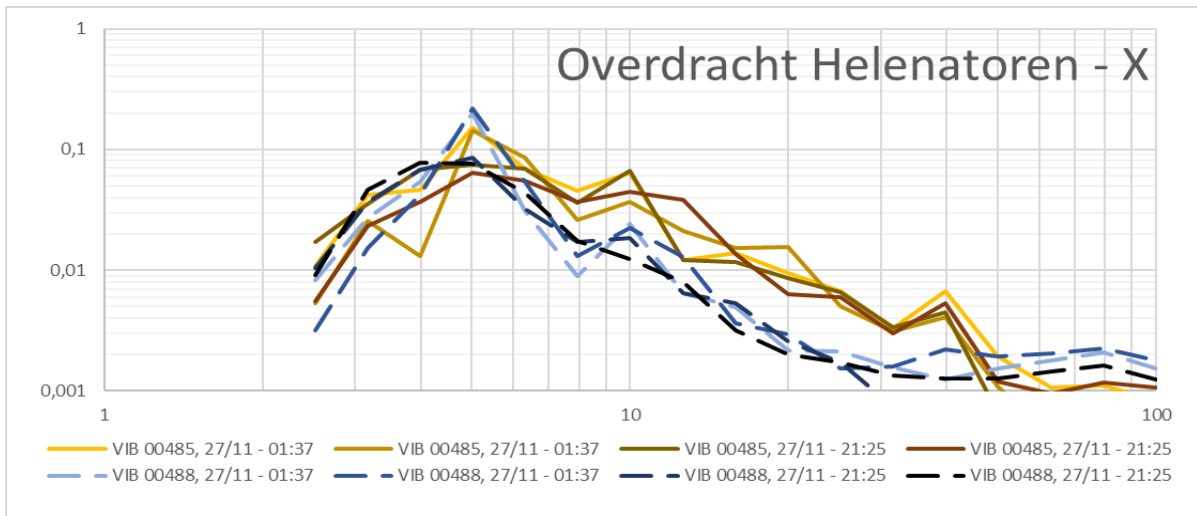
VIB00485 - Mp6 (40 m)



VIB00488 - Mp3 (40 m)**VIB00588 - Mp4 (65m)****VIB00587 - Mp5 (90 m)**

Bijlage 2

Titel	Overdrachtsmetingen
Omvang	2
Toelichting	Schuytgraaf veld 15 - Helenastraat / Ovidiuslaan

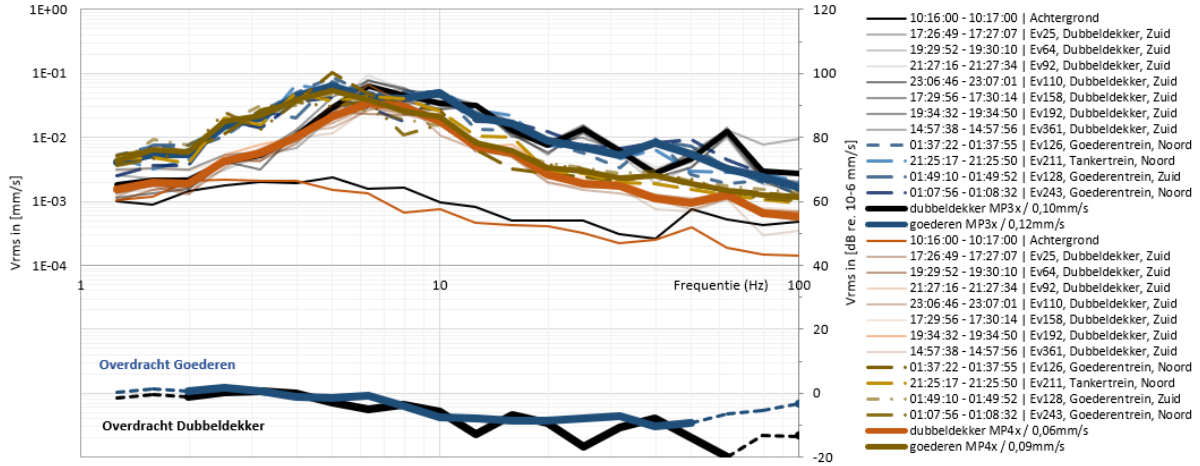


Overdracht - goederentreinen

Frequency [Hz]	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Overdracht_X	0,5	1,1	4,1	0,1	-3,0	-5,5	-6,9	-6,9	-8,5	-8,6	-8,7	-6,5	-10,4	-0,9	4,4	4,1	3,7
Overdracht_Y	8,1	-0,3	-0,1	0,6	-1,6	-0,7	-9,5	-14,7	-11,7	-7,8	-11,1	-8,6	-6,6	-2,5	2,2	1,1	3,2
Overdracht_Z	6,9	2,9	-3,2	-6,7	-5,5	-5,1	-10,4	-7,5	-6,3	-10,5	-4,1	-5,4	-7,8	-6,9	-5,1	-5,0	-2,6

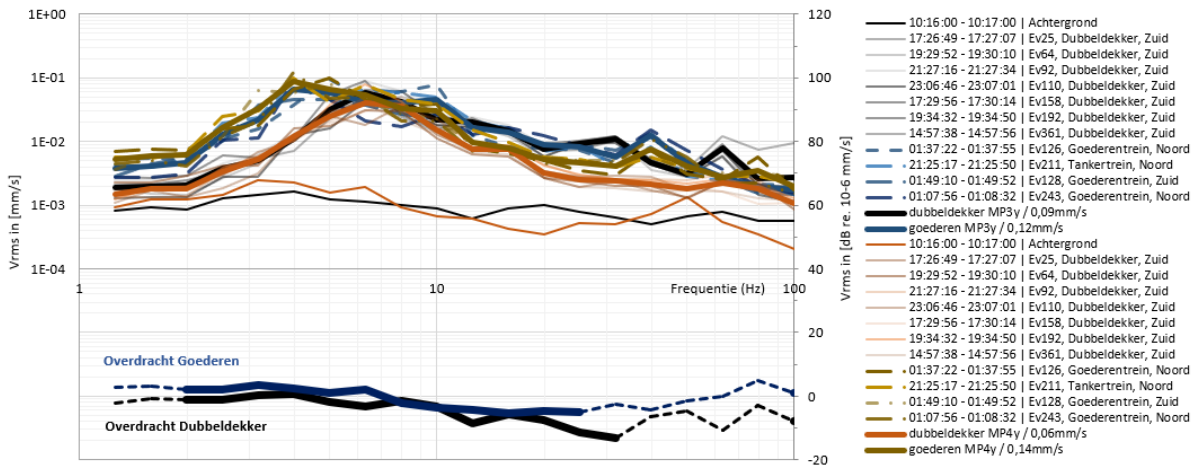
Schuytgraaf, overdrachtsmeting bodem - gevel, Ovidiuslaan 85 - Horizontaal ⊥ spoor (X)

Meetdatum 27-11-2019



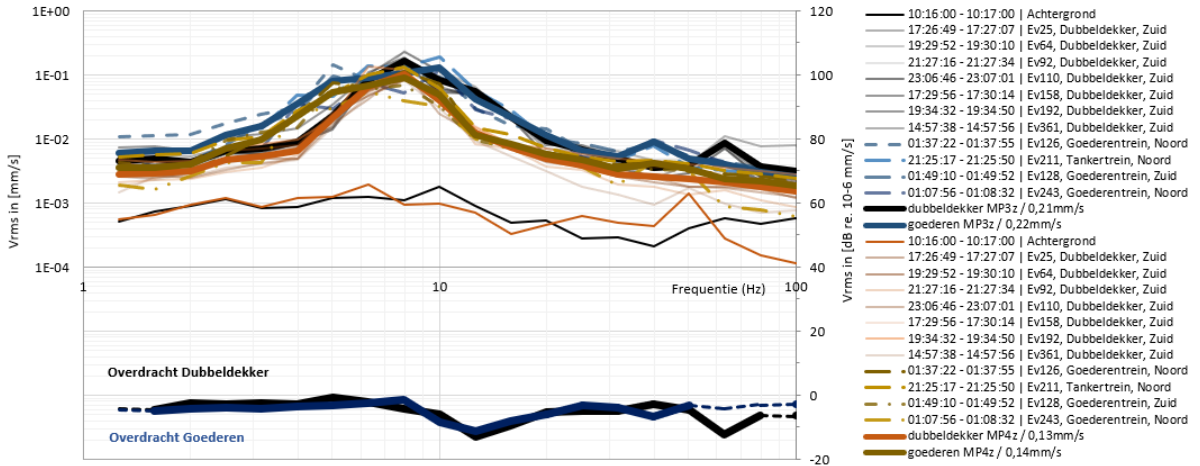
Schuytgraaf, overdrachtsmeting bodem - gevel, Ovidiuslaan 85 - Horizontaal // spoor (Y)

Meetdatum 27-11-2019



Schuytgraaf, overdrachtsmeting bodem - gevel, Ovidiuslaan 85 - Vertikaal (Z)

Meetdatum 27-11-2019

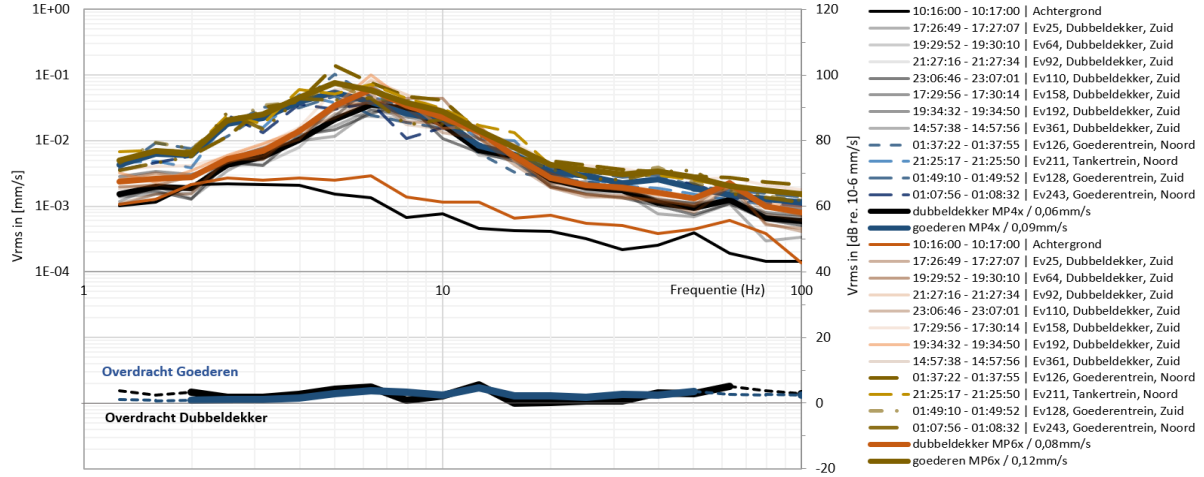


Overdracht - goederentreinen

Frequentie [Hz]	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Overdracht_X	2	1	-1	-1	-1	-4	-7	-8	-9	-9	-8	-7	-10	-9	-7	-5	-3
Overdracht_Y	2	4	2	1	2	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-3	-4	-1	0	5	1
Overdracht_Z	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-8	-11	-8	-6	-3	-4	-7	-3	-4	-3	-3

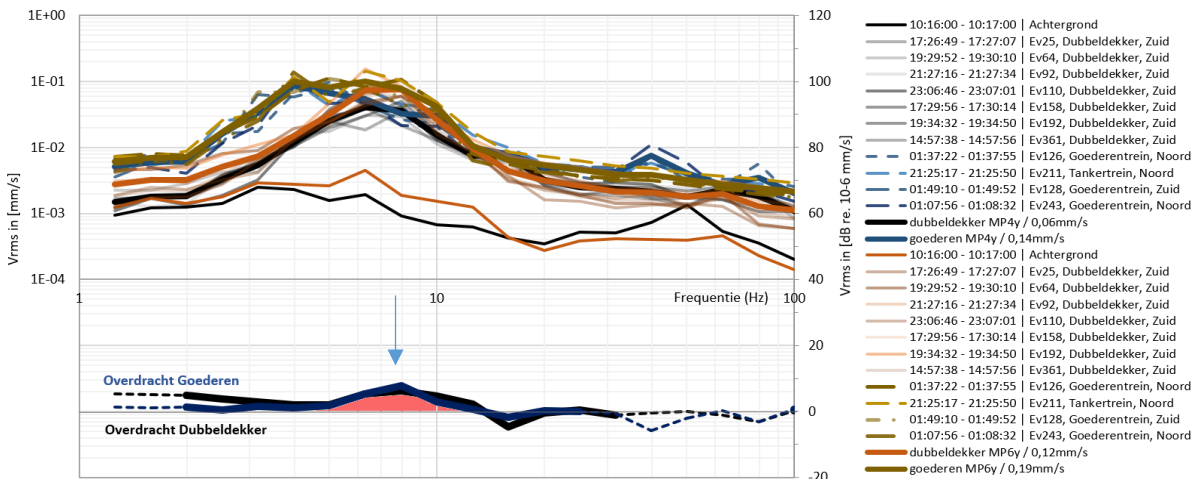
Schuytgraaf, overdrachtsmeting gevel - vloer, Ovidiuslaan 85 - Horizontaal ⊥ spoor (X)

Meetdatum 27-11-2019



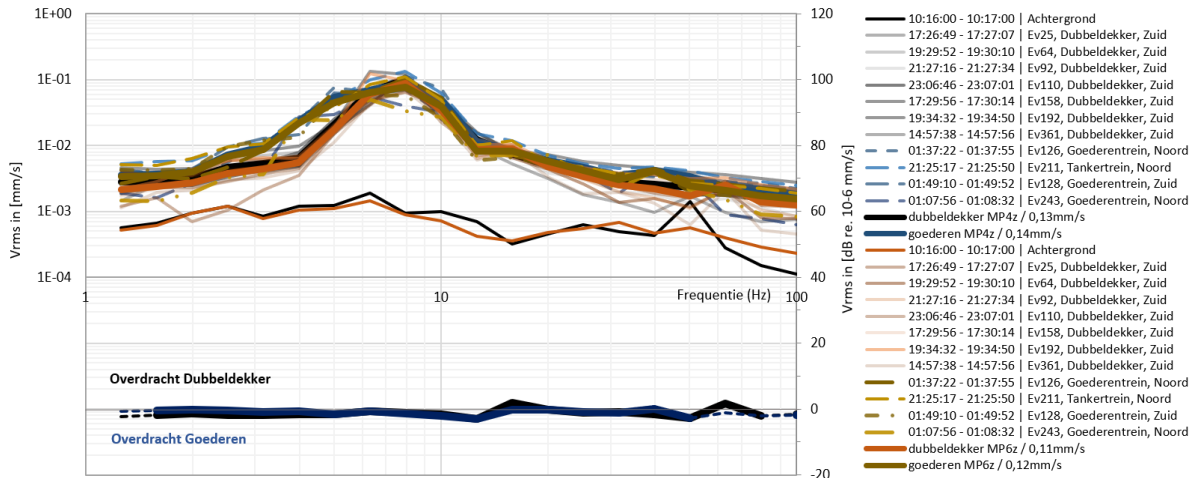
Schuytgraaf, overdrachtsmeting gevel - vloer, Ovidiuslaan 85 - Horizontaal // spoor (Y)

Meetdatum 27-11-2019



Schuytgraaf, overdrachtsmeting gevel - vloer, Ovidiuslaan 85 - Vertikaal (Z)

Meetdatum 27-11-2019



Overdracht - goederentreinen

Frequency [Hz]	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Overdracht_X	1	1	1	3	4	3	2	5	2	2	2	3	2	3	3	3	2
Overdracht_Y	0	1	1	2	5	8	3	1	-2	0	0	-1	-6	-2	0	-3	1
Overdracht_Z	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-3	0	0	-1	-1	0	-3	-1	-2	-2

Bijlage 3

Titel	Prognose - Laagbouw op 45m
Omvang	3 (X-Y-Z)

Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem

Trillingsprognose railverkeer

project	Schuytgraaf, Arnhem	bronsspectrum	Mp3 - 6/8/2019 06:07, Goedereentrein X-richting	passages per uur	1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Laagbouw	vormfactor C_v	0,5 (verhouding V_{rms}/V_{ref})	peiljaar	2019
gebouwafstand (tot spoor)	45 m	referentieafstand	40 m	rijnsnelheid	80 km/u
				referentie snelheid	80 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		
bronsspectrum (rms, gem)					79	85	92	98	88	95	104	91	83	77	76	77	83	68	69	69	66	61				106	
spreiding					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0		
bronsspectrum (rms, max)					82	88	95	101	91	98	107	94	86	80	79	80	86	71	72	72	69	64				109	
snelheidscorrectie																											
geen																											
afstandscorrectie					-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,3	-1,6	-2,0	-2,2					
L_p [dB]					82	88	95	100	91	98	106	94	86	80	78	80	85	70	70	70	67	62				108	
V_{rms} [mm/s]					0,01	0,03	0,05	0,11	0,04	0,08	0,21	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	
																										V_{ref}	0,53

SBR-A / Gebouwschade

o.b.v. overdracht	gebouwtipe:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85											bouwlagen:							3							
$H_{v,1}$ [dB]		0,0	0,0	-1,0	-1,4	-0,8	-3,8	-7,4	-7,9	-8,7	-8,5	-7,8	-7,1	-10,3	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	
L_p [dB]		82	88	94	99	90	94	99	86	77	72	70	72	75	60	60	60	60	60	57	52					104	
V_{rms} [mm/s]		0,01	0,03	0,05	0,09	0,03	0,05	0,09	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	
																										V_{ref}	0,31

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

Begane grond	vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																																		
$H_{v,0,oor}$		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	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_p [dB]		82	88	94	99	90	94	99	86	77	72	70	72	75	60	60	60	60	60	57	52															104
V_{rms} [mm/s]		0,01	0,03	0,05	0,09	0,03	0,05	0,09	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
																																			V_{ref}	0,31

1e verdieping	vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																																		
$H_{v,3}$ [dB]		0,5	0,6	0,7	1,6	2,0	1,8	1,3	2,6	1,1	1,2	0,9	1,4	1,3	1,9	1,4	1,4	1,3	1,4																	
$H_{v,0,oor}$ [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	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_p [dB]		83	89	94	101	93	96	100	89	78	73	71	74	76	62	62	61	58	54																	105
V_{rms} [mm/s]		0,01	0,03	0,05	0,11	0,04	0,06	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18		
																																			V_{ref}	0,36

2e verdieping	vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																																		
$H_{v,3}$ [dB]		1,0	1,1	1,4	2,9	3,7	3,3	2,5	4,6	2,1	2,2	1,8	2,6	2,5	3,5	2,7	2,6	2,5	2,6																	
$H_{v,0,oor}$ [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	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_p [dB]		83	90	95	102	94	97	101	91	79	74	72	75	77	64	63	63	60	55																	106
V_{rms} [mm/s]		0,01	0,03	0,06	0,12	0,05	0,07	0,12	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21		
																																			V_{ref}	0,42

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

Begane grond	SBR-veging																																				
L_p [dB]	-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	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	101	
$V_{eff,max}$ [mm/s]					0,01	0,01	0,03	0,06	0,02	0,04	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12		
																																				V_{ref}^*	0,007

1e verdieping	SBR-veging																																				
L_p [dB]					75	83	90	97	90	94	99	88	78	72	71	74	76	62	62	61	58	54															103
$V_{eff,max}$ [mm/s]					0,01	0,01	0,03	0,07	0,03	0,05	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14		
																																				V_{ref}^*	0,009

2e verdieping	SBR-veging																																				
L_p [dB]					75	83	90	98	92	96	100	90	79	73	72	75	77	64	63	63	60	55															104
$V_{eff,max}$ [mm/s]					0,01	0,01	0,03	0,08	0,04	0,06	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16		
																																				V_{ref}^*	0,010

Prognose - X-richting \perp spoor (evenwijdig aan woningblok)

Y

Trillingsprognose railverkeer

project	Schuytgraaf, Arnhem	bronspectrum	Mp3 - 6/8/2019 06:07, Goedereentrein X-richting	passages per uur	1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C _r	0,5 (verhouding v_{rms}/v_{top})	peiljaar	2019
gebouwafstand (tot spoor)	45 m	referentieafstand	40 m	rijsnelheid	80 km/u
				referentie snelheid	80 km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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)					79	85	92	98	88	95	104	91	83	77	76	77	83	68	69	69	66	61			106
spreading					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
bronspectrum (rms, max)					82	88	95	101	91	98	107	94	86	80	79	80	86	71	72	72	69	64			109
snelheidscorrectie																									
geen																									
afstandscorrectie					-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,3	-1,6	-2,0	-2,2			
L _v [dB]					82	88	95	100	91	98	106	94	86	80	78	80	85	70	70	70	67	62			108
V _{rms} [mm/s]					0,01	0,03	0,05	0,11	0,04	0,08	0,21	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
																									V _{top} 0,53

SBR-A / Gebouwschade

o.b.v. overdracht	gebouwtype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85	bouwlagen:																				3	
H _{v,1} [dB]		2,1	3,6	2,3	1,2	2,0	-2,0	-3,4	-4,4	-5,2	-4,6	-5,2	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0		
L _v [dB]		84	92	97	102	93	96	103	90	80	75	73	75	80	65	65	65	65	65	62	57			107
V _{rms} [mm/s]		0,02	0,04	0,07	0,12	0,05	0,06	0,14	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
																								V _{top} 0,44

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

Begane grond	vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																						
H _{v,vib}		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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L _v [dB]		84	92	97	102	93	96	103	90	80	75	73	75	80	65	65	65	65	65	62	57			107
V _{rms} [mm/s]		0,02	0,04	0,07	0,12	0,05	0,06	0,14	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
																								V _{top} 0,44

1e verdieping

vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																						
H _{v,1} [dB]		0,2	0,8	0,6	1,0	3,1	4,7	1,5	0,3	-0,8	0,1	-0,1	-0,3	-2,4	-0,9	0,1	-1,5	0,3	0,3				
H _{v,vib} [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	0,0	0,0	0,0	0,0
L _v [dB]		84	93	98	103	96	101	104	90	80	76	73	74	78	64	65	64	62	57				109
V _{rms} [mm/s]		0,02	0,04	0,08	0,13	0,07	0,11	0,17	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
																							V _{top} 0,53

2e verdieping

vloertype:	o.b.v. overdracht Ovidiuslaan 85																						
H _{v,1} [dB]		0,5	1,5	1,2	1,8	5,3	7,7	2,8	0,6	-1,7	0,2	-0,1	-0,6	-5,8	-1,9	0,1	-3,2	0,6	0,6				
H _{v,vib} [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	0,0	0,0	0,0	0,0
L _v [dB]		85	93	98	103	99	104	106	90	79	76	73	74	75	63	66	62	63	58				110
V _{rms} [mm/s]		0,02	0,05	0,08	0,15	0,09	0,15	0,19	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
																							V _{top} 0,63

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

Begane grond																								
SBR-veqing		-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]		76	86	92	98	91	94	102	89	80	75	73	74	80	65	65	65	62	57				105	
V _{eff,max} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,08	0,03	0,05	0,12	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
																							V _{top} * 0,011	

1e verdieping

L _v [dB]		77	87	93	99	94	99	103	89	79	75	73	74	78	64	65	64	62	57				106
V _{eff,max} [mm/s]		0,01	0,02	0,04	0,09	0,05	0,09	0,15	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21
																							V _{top} * 0,013

2e verdieping

L _v [dB]		77	87	93	100	96	102	105	90	78	75	73	74	74	63	66	62	63	58				108
V _{eff,max} [mm/s]		0,01	0,02	0,05	0,10	0,06	0,12	0,17	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,248
																							V _{top} * 0,016

Prognose - Y-richting // spoor (loodrecht op het woningblok ofwel van voor naar achter)

Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem

Trillingsprognose railverkeer

project **Schuytgraaf, Arnhem**
 gebouwtype **Laagbouw**
 gebouwafstand (tot spoor) **45 m**
 bronnspectrum **Mp3 - 6/8/2019 06:07, Goedereintrein**
 vormfactor C_v **0,4**
 referentieafstand **40 m**
 (verhouding V_{ms}/V_{top})

passages per uur **1** (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar **2019**
 rijsnelheid **80 km/u**
 referentie snelheid **80 km/u**

Z

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
bronnspectrum (rms, gem)					73	85	93	100	96	105	108	90	90	78	75	76	85	72	69	70	68	65			111
spreiding					3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0		
bronnspectrum (rms, max)					76	88	96	103	99	108	111	93	93	81	78	79	88	75	72	73	71	68			114
snelheidscorrectie																									
geen																									
afstandscorrectie					-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,3	-1,6	-2,0	-2,2			
L_p [dB]					76	88	96	103	99	108	111	93	93	81	78	79	87	74	71	71	69	66			114
V_{rms} [mm/s]					0,01	0,03	0,06	0,14	0,09	0,26	0,36	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,48
																								V_{top}	1,20

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	o.b.w. overdracht Ovidiuslaan 85															bouwlagen:			3							
$H_{v,1}$ [dB]																											
L_p [dB]																											109
V_{rms} [mm/s]																										0,28	
																								V_{top}	0,71		

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

Begane grond	vloetype:	o.b.w. overdracht Ovidiuslaan 85																								
$H_{v,skor}$																										
L_p [dB]																										108
V_{rms} [mm/s]																										0,24
																								V_{top}	0,60	

1e verdieping	vloetype:	o.b.w. overdracht Ovidiuslaan 85																								
$H_{v,3}$ [dB]																										
$H_{v,skor}$ [dB]																										
L_p [dB]																										108
V_{rms} [mm/s]																										0,24
																								V_{top}	0,60	

2e verdieping	vloetype:	o.b.w. overdracht Ovidiuslaan 85																								
$H_{v,3}$ [dB]																										
$H_{v,skor}$ [dB]																										
L_p [dB]																										108
V_{rms} [mm/s]																										0,24
																								V_{top}	0,60	

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

Begane grond	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	0,0	0,0		
L_p [dB]																											106
$V_{eff,max}$ [mm/s]																											Q19
																								V_{top}^*	0,012		

1e verdieping	L_p [dB]	64	77	87	94	93	104	99	78	84	75	73	74	80	61	59	59	57	54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
$V_{eff,max}$ [mm/s]																											Q19
																								V_{top}^*	0,012		

2e verdieping	L_p [dB]	64	77	87	94	93	104	99	78	84	75	73	74	80	61	59	59	57	54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
$V_{eff,max}$ [mm/s]																											Q19
																								V_{top}^*	0,012		

Prognose - Z-richting (verticaal)