

Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem

Invloed trillingen treinverkeer op nieuwbouwlocatie velden 6 en 11

Status	definitief
Versie	001
Rapport	B.2019.0913.00.R001
Datum	30 augustus 2019



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 30 augustus 2019 001 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 MBR

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Uitgangspunten	5
2.1 Toetsingskader	5
2.2 Situatie	5
3. Meting	7
3.1 Meetopstelling	7
3.2 Verwerking meetdata	7
4. Meetresultaten	8
5. Prognose	10
5.1 Methode	10
5.2 Grondgebonden woningen	10
5.3 Woontoren	11
6. Conclusies en aanbevelingen	12

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties V_{top} op kavel
Bijlage 2	Prognose - Laagbouw op 40m

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, grondgebonden woningen en een appartementencomplex, zal vanaf circa 40 meter vanaf het spoor gerealiseerd worden.

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 is sprake van passerende intercity's en goederentreinen. Vanwege de korte afstand tot het spoor heeft DGMR, namens 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 trillingen verricht. Op basis van de meetresultaten wordt een prognose gegeven van de te verwachten trillingen in de nieuwbouw en 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

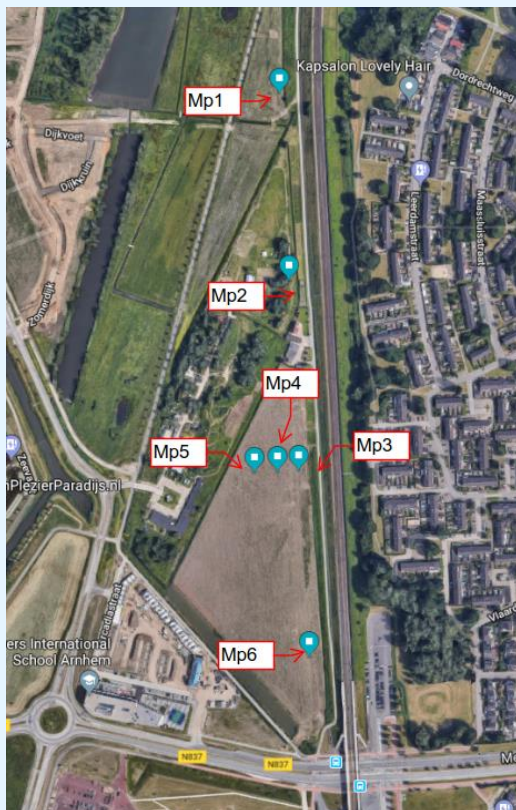
Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

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

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, bestaande uit twee sporen, verbindt Arnhem en Nijmegen en wordt gebruikt door (personen)vervoersbedrijf NS en Arriva. Tijdens de metingen zijn diverse treintypen waargenomen, grofweg op te delen als stoptreinen (Sprinter Light Train en Arriva) en intercity's (VIRM en NID). In basis doen ten minste 8 treinen per uur station Arnhem Zuid aan. De rijsnelheden ter hoogte van de bouwkaavel zijn relatief laag, maar daarin is wel sprake van differentiatie vanwege de lengte van de velden langs het spoor (circa 700 meter). Daarnaast passeren diverse doorgaande treinen de velden. De rijsnelheid hiervan zal beduidend hoger liggen.

Naast personenvervoer wordt dit spoor ook gebruikt voor goederenvervoer. Uit de jaarrapportage van ProRail is op te maken dat het ongeveer om circa 5 goederenpassages per dag gaat.

3. Meting

De metingen 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 meetposities weergegeven. De horizontale X-richting is haaks op het spoor en de Y-richting is parallel aan het spoor. Voor de metingen is gebruik gemaakt van meetsystemen van merk en type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De sensoren van de systemen zijn gemonteerd op 70 cm lange meetpennen, die over nagenoeg over 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 op de statistische maxima per meetpunt.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillinghinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt gemeten in 30 seconden intervallen volgens de SBR-B. Met behulp van (spoorgerichte) camerawaarnemingen 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} . Het meten van deze parameter kan in tegenstelling tot de V_{eff} op kortere meetintervallen ingesteld worden, wat een betere herkenning van verstoring 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.

4. Meetresultaten

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.

Tabellen 3 en 4 tonen de top-15 (effectieve) trillingssterkten $V_{eff,max}$. De passages zijn qua trillingssterkte per meetpositie en per richting aflopend gerangschikt.

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (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
$V_{eff,max,stat}$	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 $V_{eff,max}$ (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
$V_{eff,max,stat}$	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 is de horizontale X-richting (haaks op het spoor) dominant is.
- De trillingssterkten in de horizontale richtingen van Mp3 dicht bij het spoor naar de verder afgelegen meetpunten Mp4 en Mp5 niet afnemen maar juist toenemen.
- De trillingssterkten in verticale richting van Mp3 naar Mp4 en Mp5 maar relatief langzaam afnemen. Spectrale analyse laat zien dat de geringe afname betrekking heeft op trillingen met een dominante frequentie van 5 en 10 Hz. De 5 Hz trilling heeft het karakter van een lijnbron waarvoor geldt dat de trillingen (oppervlaktegolven) slechts afnemen door bodemdemping, maar niet door geometrisch 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.
- Het viaduct voor hogere trillingssterkten zorgt in het zuidelijk deel van de kavel (Mp6).
- Op meetpunt Mp2 de laagste trillingssterkten worden gemeten. Vermoedelijke oorzaak is de (ongerode) bodem op dit meetpunt. De overige meetpunten bevonden zich op maisland, dat jaarlijks omgeploegd zal worden.

5. Prognose

5.1 Methode

Om inzicht te krijgen in de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is, op basis van de meetdata een empirisch rekenmodel opgezet. Voor de trillingsoverdracht van bodem naar de gebouwfundatie is daarbij uitgegaan van door TNO ontwikkelde overdrachtsfuncties aangevuld met ervaringsgegevens uit de DGMR adviespraktijk.

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 maximale trillingsversterking ligt in de orde van een factor 2,5 tot 3 (8 tot 10 dB), afhankelijk van het vloertype. In de praktijk komt dit erop neer dat op het vloermidden een versterking van globaal een factor 1 tot 3 (0 tot 10 dB) kan optreden, afhankelijk van de ligging van de vloereigenfrequentie ten opzichte van de dominante frequentie in het treinspectrum. Het is dus van belang om daarmee rekening te houden bij de vloerkeuze.

Omdat het aanlegniveau van de fundatie lager ligt dan het maaiveld en trillingen in horizontale richting snel afnemen met de diepte, wordt verwacht dat het trillingsniveau in verticale richting op begane grond vloeren maatgevend zal zijn. De mogelijk optredende trillingsversterking van het vloerveld in verticale richting is hiervoor een belangrijke reden. Voor de prognose is uitgegaan van de trillingssterkte op Mp3.

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, maar laat zich op voorhand moeilijk voorspellen. Bij kortere en sneller rijdende reizigerstreinen is dit risico veel minder aanwezig.

5.2 Grondgebonden woningen

Bijlage 2 toont een prognoseberekening voor een op palen gefundeerde grondgebonden woning van twee tot drie bouwlagen. Deze prognose geldt voor een afstand van 40 meter tot het spoor. Dit is de minimum bebouwingafstand op de verstrekte invullingsvarianten van de kavel.

In de prognose is voor de overdrachtsverzwakking van bodem naar woningfundatie eerstens de TNO-aannames toegepast, wat inhoudt dat bij frequenties tot 10 Hz maar weinig verzwakking wordt verwacht bij laagbouw. Daarnaast is op basis van ervaring van DGMR in referentieprojecten een variant berekening opgesteld. Aangenomen is verder dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van ten minste 16 Hz om sterke trillingsversterking in vloeren te voorkomen. Tabel 5 geeft een overzicht van de rekenresultaten op verschillende afstanden tot het spoor.

tabel 5: trillingsprognose (V_{\max}/V_{per}) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie > 16 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte V_{\max} (V_{per})		
			40 m	65 m	100 m
Laagbouw op palen <i>Overdracht conservatief (TNO-aannames)</i>	2-3	Horizontaal	0,45 (0,03)	0,41 (0,03)	0,35 (0,02)
		Verticaal	0,78 (0,05)	0,70 (0,05)	0,61 (0,04)
Laagbouw op palen <i>Overdracht op basis van DGMR referentie</i>	2-3	Horizontaal	0,34 (0,02)	0,31 (0,02)	0,27 (0,03)
		Verticaal	0,41 (0,03)	0,37 (0,02)	0,32 (0,02)

Tabel 5 laat zien dat als voor de overdracht van bodem naar gebouwfundatie wordt gerekend met de conservatieve TNO-aannames, er relatief sterke trillingen zijn te verwachten in de woningen en de beoogde bebouwing niet voldoet aan de SBR-B (deze wordt met een factor 4 overschreden).

DGMR heeft in meerdere projecten, waarbij ook trillingen door goederentreinen een rol spelen, metingen verricht naar de overdrachtsverzwakking van paalfundaties. Indien de daar gevonden overdrachtsverzwakking worden toegepast op dit project dan leidt dit tot bijna een factor 2 trillingsreductie. Evenwel wordt ook in dat geval nog niet voldaan aan de SBR-B streefwaarden. Voorts zal in dat geval nader uitgezocht moeten worden of deze overdrachtswaarden ook op deze locatie haalbaar zijn. Hiervoor is nader onderzoek naar de overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw nodig, bijvoorbeeld aan bestaande woningen met vergelijkbare paalfundering (paallengte), bouwhoogte en bodemgesteldheid, dus woningen in de nabijheid van de projectlocatie. Mogelijk bieden de woningen in de wijk Elderveld-Zuid of Schuytgraaf hiervoor een mogelijkheid.

5.3 Woontoren

In tabel 6 zijn resultaten van de prognoseberekening voor een op palen gefundeerde woontoren van tenminste 10 bouwlagen weergegeven. Hierin zijn voor de overdrachtsverzwakking van bodem naar woningfundatie de TNO-aannames toegepast, al bijgesteld o.b.v. DGMR-project ervaring. De prognose geldt voor een afstand van 40 meter tot het spoor, de locatie van de woontoren. Aangenomen is dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van ten minste 16 Hz om sterke trillingsversterking in vloeren te voorkomen.

tabel 6: trillingsprognose (V_{\max}/V_{per}) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie > 16 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte V_{\max} (V_{per})	
			40 m	100 m
Woontoren	≥ 10	Horizontaal	0,28 (0,02)	0,21 (0,01)
Overdracht conservatief		Verticaal	0,33 (0,02)	0,25 (0,02)

Uit tabel 6 blijkt dat de verwachte trillingssterkten de streefwaarde A2 tot een factor 1,7 overschrijden. Daarmee wordt dus niet voldaan aan de streefwaarden voor woonfuncties in de nachtperiode.

De door DGMR toegepaste overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw is al bijgesteld op basis van de ons bekende projectinformatie, maar mogelijk nog enigszins conservatief. Mogelijk dat hier nog meer reductie te behalen is. Behalve door het uitvoeren van arbeidsintensieve modelmatige berekeningen is het ook mogelijk meer inzicht te krijgen door het uitvoeren van metingen aan een bestaande woontoren met vergelijkbare paalfundering en in vergelijkbare bodemgesteldheid. Mogelijk biedt de woontoren op veld 15 hiervoor een mogelijkheid.

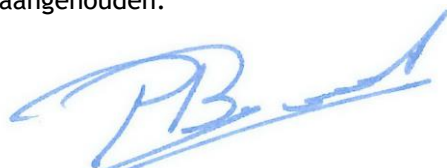
6. Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat op veld 6 en 11 niet zondermeer voldaan kan worden aan de streefwaarden uit de SBR Trillingen Deel B.

De vermoedelijke oorzaak van de relatief hoge trillingssterkten in de bodem op maaiveld betreft de bodemopbouw ter plaatse. De bovenste 3 tot 4 meter van de bodem is klei-achtig. Daaronder bevindt zich een vrij scherpe overgang naar een dragende zandlaag. Verwacht wordt dat trillingen op deze laagscheiding reflecteren en door deze reflecties maar weinig afnemen met toenemende afstand tot het spoor en bovendien op maaiveld hoger zijn dan in het geval deze reflecties niet of minder plaatsvinden.

Geadviseerd wordt om nader onderzoek te doen naar:

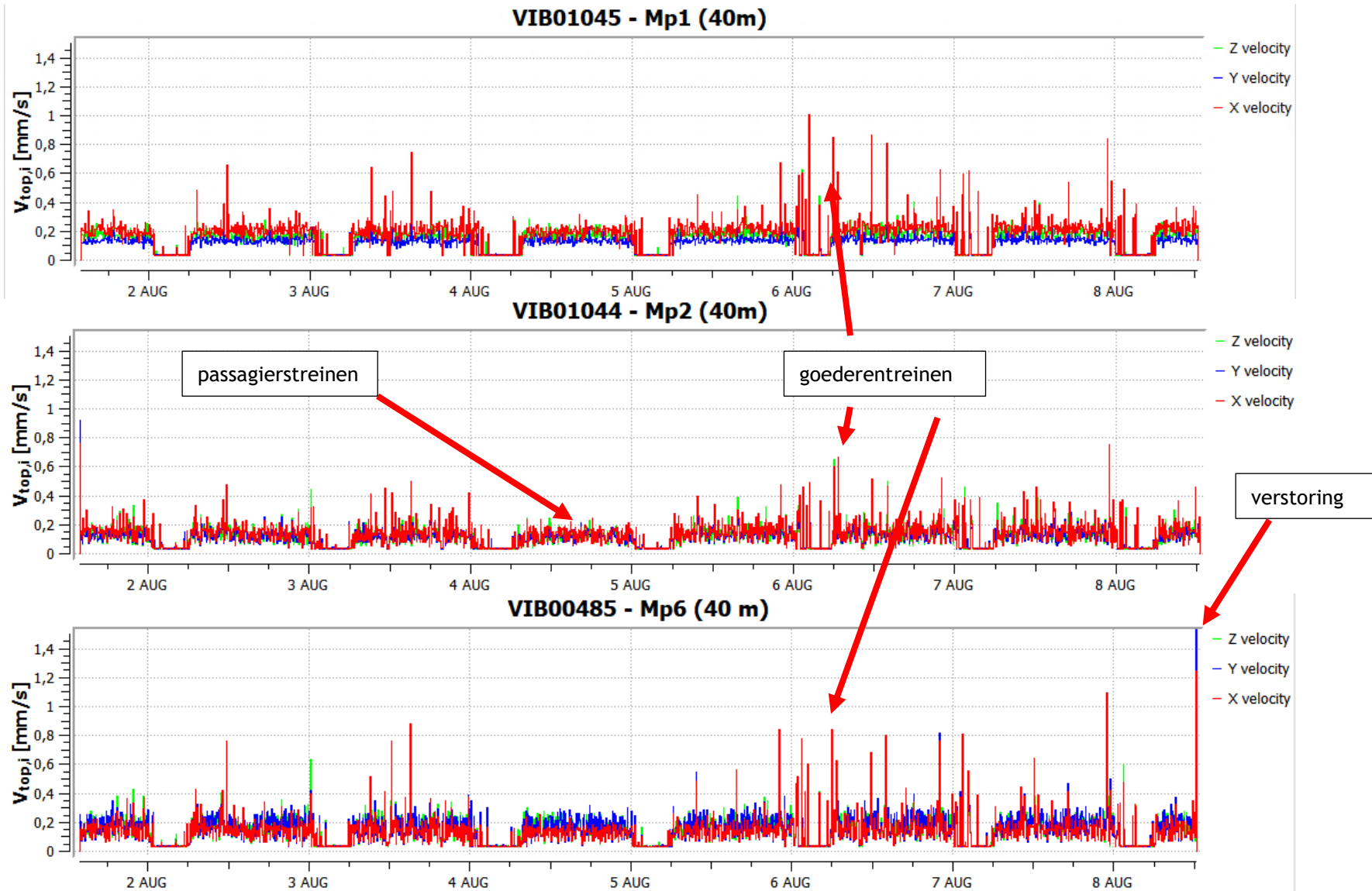
- De op deze locatie met een paalsysteem haalbare overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw (woningen en woongebouw). Nu is gemeten in een relatief slappe laag waar trillingen nagenoeg niet gedempt worden. De woningen zullen echter op dieper gelegen stijve bodemlaag gefundeerd worden, waardoor een aanzienlijke overdrachtsverzwakking kan ontstaan. Een eerste, maar niet afdoende, indicatie is gegeven o.b.v. de DGMR praktijkervaring. Nader onderzoek moet uitwijzen of hierin meer winst mogelijk is.
- De constructieve opzet van de woningen en het woongebouw. Het gaat hierbij om de funderingswijze, stijfheid/opbouw van vloeren en wanden. Het doel is om zo min mogelijk trillingsversterking in de gebouw- en vloerconstructie te verkrijgen. Eén van de doelstellingen zal zijn om de vloerstijfheid zo hoog te maken dat de laagste eigenfrequentie ruim boven de door de treinen opgewekte dominante frequenties komt te liggen. In de prognoseberekeningen is gerekend met een laagste eigenfrequentie van 16 Hz hetgeen als doelstelling moet worden aangehouden.



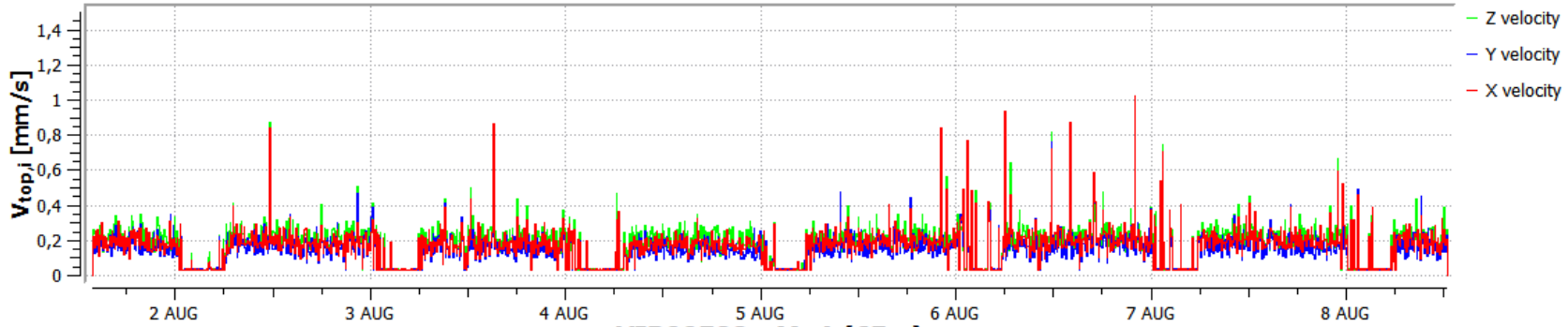
ir. P.B. (Peter) Bijvoet
DGMR Bouw B.V.

Bijlage 1

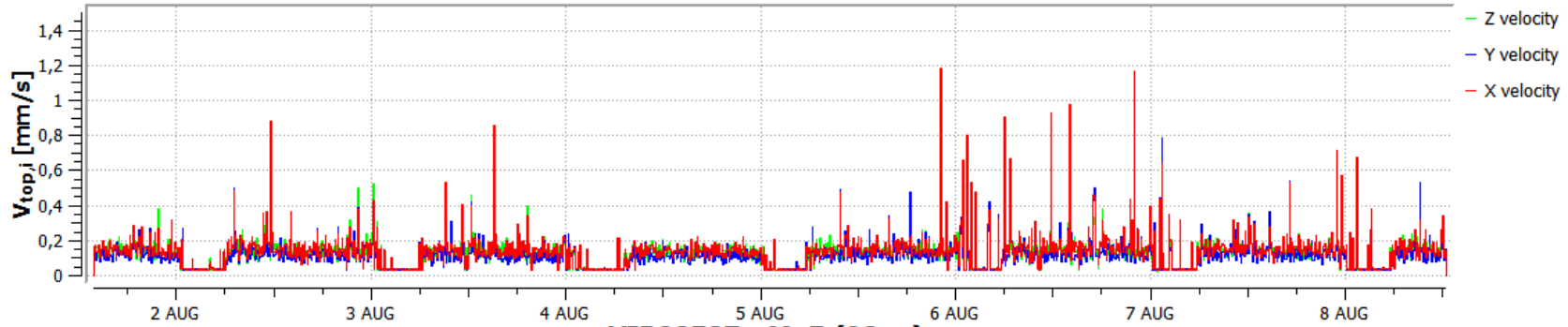
Titel Trillingsregistraties V_{top} op kavel



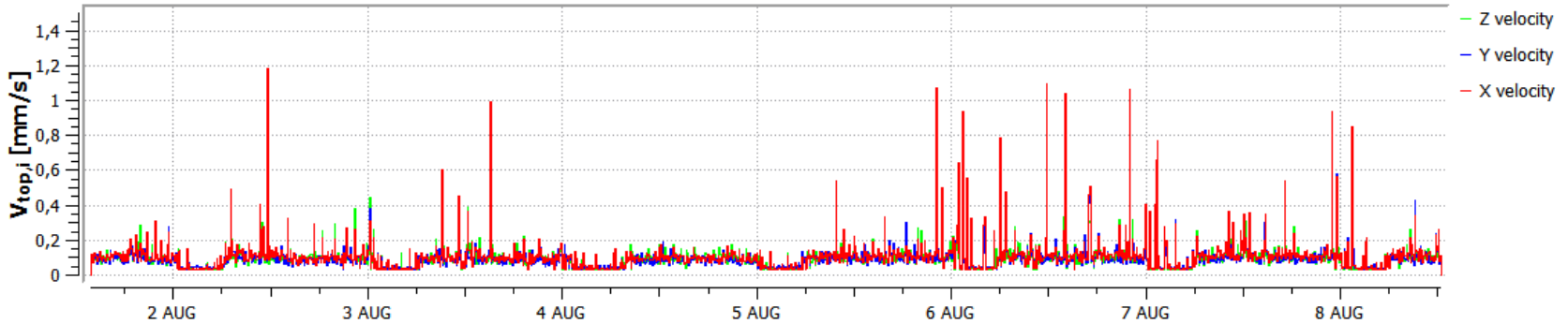
VIB00488 - Mp3 (40 m)



VIB00588 - Mp4 (65m)



VIB00587 - Mp5 (90 m)



Bijlage 2

Titel
Omvang

Prognose - Laagbouw op 40m
2

Schuytgraaf velden 6 en 11, Arnhem

Trillingsprognose railverkeer

project	Schuytgraaf, Arnhem	bronspectrum	Mp3 - 6/8/2019 06:07, Goederentrein	passages per uur	1 (alleen $V_{err} > 0,1$)
gebouwtype	Laagbouw	vormfactor C_v	0,4 (verhouding V_{rms}/V_{top})	peiljaar	2019
gebouwfstand (tot spoor)	40 m	referentieafstand	40 m	risic snelheid	80 km/u
				referentie snelheid	80 km/u

Z

Bodemtrillingen

1/3-octavaaf	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)					73	85	93	100	96	105	108	90	90	78	75	76	85	72	69	70	68	65			111
spreadng					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			114
bronspectrum (rms, max)					76	88	96	103	99	108	111	93	93	81	78	79	88	75	72	73	71	68			
snelheidscorrectie																									
geen																									
afstandscorrectie																									
geen																									
L_v [dB]					76	88	96	103	99	108	111	93	93	81	78	79	88	75	72	73	71	68			114
V_{rms} [mm/s]					0,01	0,03	0,06	0,14	0,09	0,26	0,36	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00			0,49
																									1,22

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	laagbouw op palen (samenwerking)	bouwlagen:																2						
$H_{v,1}$ [dB]			-1,2	-0,8	-0,2	0,8	2,1	2,0	-1,7	-2,4	-3,1	-3,9	-5,0	-6,6	-8,9	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4				114
L_v [dB]			75	87	96	104	101	110	110	91	90	78	73	73	79	62	60	61	58	56					114
V_{rms} [mm/s]			0,01	0,02	0,06	0,15	0,11	0,33	0,30	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,49
																									1,23

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

Begane grond	vloer-type:	vloer-type 3	(fo = 10-20 Hz)																						
$H_{v,vloer}$			0,8	1,2	1,7	2,6	3,5	5,1	6,6	7,6	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,5	3,8	3,2	1,8					
L_v [dB]			76	89	97	106	105	116	116	98	98	85	80	79	85	68	64	64	62	58					119
V_{rms} [mm/s]			0,01	0,03	0,07	0,20	0,17	0,60	0,65	0,08	0,08	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,93
																									2,33
1e verdieping	vloer-type:	vloer-type 3	(fo = 10-20 Hz)																						
$H_{v,1}$ [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5					
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,8	1,2	1,7	2,6	3,5	5,1	6,6	7,6	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,5	3,8	3,2	1,8					
L_v [dB]			76	89	97	106	105	116	116	98	98	85	80	78	84	67	63	63	60	56					119
V_{rms} [mm/s]			0,01	0,03	0,07	0,20	0,17	0,60	0,65	0,08	0,08	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,93
																									2,33
2e verdieping	vloer-type:	vloer-type 3	(fo = 10-20 Hz)																						
$H_{v,1}$ [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,9	-2,2	-2,5	-2,8	-3,0					
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,8	1,2	1,7	2,6	3,5	5,1	6,6	7,6	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,5	3,8	3,2	1,8					
L_v [dB]			76	89	97	106	105	116	116	98	97	84	79	78	83	66	62	62	59	55					119
V_{rms} [mm/s]			0,01	0,03	0,07	0,20	0,17	0,60	0,65	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,93
																									2,33

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

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				
L_v [dB]	68	82	93	103	102	114	115	98	97	85	80	79	85	68	64	64	61	58							118
$V_{err,max}$ [mm/s]	0,00	0,01	0,04	0,14	0,13	0,49	0,56	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,78
																									0,050
1e verdieping																									
L_v [dB]	68	82	93	103	102	114	115	98	97	84	80	78	84	67	63	63	60	56							118
$V_{err,max}$ [mm/s]	0,00	0,01	0,04	0,14	0,13	0,49	0,56	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							0,78
																									0,050
2e verdieping																									
L_v [dB]	68	82	93	103	102	114	115	97	97	84	79	78	83	66	62	62	59	55							118
$V_{err,max}$ [mm/s]	0,00	0,01	0,04	0,14	0,13	0,49	0,56	0,07	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							0,78
																									0,050

Prognose - conservatief (TNO-aannames)

