

Trillingsonderzoek Sectorpark Halfweg

Onderzoek invloed trillingen treinverkeer op nieuwbouw Sectorpark Halfweg

Status	definitief
Versie	002
Rapport	B.2018.0586.00.R002
Datum	12 oktober 2018

Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Haarlemmerliede en Spaarnwoude Postbus 83 1160 AB ZWANENBURG
Contactpersoon opdrachtgever	Mevrouw F. Kooijman
Project Betreft Uw kenmerk	Sectorpark Halfweg Onderzoek trillingen spoorlijn -
Rapport Datum Versie Status	B.2018.0586.00.R002 12 oktober 2018 002 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Bouw B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Projectadviseur	ing. A.W.N. (Antwan) van Haaren 088 346 76 02 hr@dgmr.nl
2e lezer/secr.	JBV MBR

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Project	5
2.2 Spoor	5
3. Toetsingskader	6
4. Metingen	7
4.1 Bodemmetingen kavel sectorpark	7
4.2 Overdrachtsmetingen bouwwerken	8
5. Resultaten	10
5.1 Metingen kavel	10
Nadere beschouwing meetresultaten	11
5.2 Overdracht bodem - gebouw	12
6. Prognose	14
7. Conclusies en aanbevelingen	15

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistratie V_{top}
Bijlage 2	Overdrachtsmetingen Wethouder Doevenstraat 17 (spoorzijde)
Bijlage 3	Overdrachtsmetingen Wethouder Doevenstraat 17 (straatzijde)
Bijlage 4	Overdrachtsmetingen gemeentewerf
Bijlage 5	Trillingsprognose Sectorpark (30m van spoor)

1. Inleiding

In opdracht van de gemeente Haarlemmermeer heeft DGMR Bouw BV. onderzoek gedaan naar de te verwachten trillingen in woningbouwlocatie Sectorpark Halfweg. De trillingen waarom het gaat zijn afkomstig van de spoorlijn Amsterdam Sloterdijk - Halfweg Zwanenburg. Aanleiding voor dit onderzoek vormt een door ProRail ingediende zienswijze op het ontwerp bestemmingsplan, waarin een trillingsonderzoek wordt gevraagd.

Het project Sectorpark Halfweg omvat de herontwikkeling van de voormalige gemeentewerf en omliggende terreinen tot woonomgeving. In het bestemmingsplan zijn verscheidene deukavels opgenomen, vanaf circa 22 meter van het spoor en verder. In de ingediende zienswijze is een onderzoeksafstand van 100 meter tot het spoor genoemd.

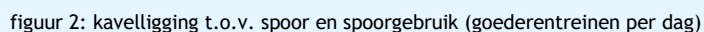
Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's zijn in juni 2018 trillingsmetingen gedaan in de bodem op de kavels. Om meer inzicht te krijgen in de te verwachten trillingsoverdracht van de bodem naar de gebouwfundatie van een op palen gefundeerd gebouw zijn in september 2018 aanvullend metingen gedaan aan het gebouw van de gemeentewerf en aan een nabijgelegen nieuwbouwwoning aan de Wethouder Doevenstraat. Dit nadat eerst onderzoek is gedaan naar de funderingswijze van deze bouwwerken.

De metingen op de kavels en de overdrachtsmetingen aan de twee bouwwerken zijn verwerkt tot een prognose van de te verwachten trillingssterkten door treinpassages in de voorziene nieuwbouw van het Sectorpark. Deze zijn vervolgens getoetst aan de SBR-richtlijn Trillingen.

Het project Sectorpark Halfweg omvat meerdere kavels. Het trillingsonderzoek heeft betrekking op de kavel(s) aangegeven in figuur 1.



De onderzochte kavel ligt aan de spoorlijn Amsterdam Sloterdijk - Haarlem. Naast sprinters en intercity's rijden hier ook goederentreinen. Volgens het ProRail jaarrapport 2017 'Ontwikkeling spoorgoederenvervoer' (zie figuur 2) ongeveer 4 à 5 per dag, waaronder zware ertstreinen.



3. Toetsingskader

Voor het project Sectorplan Halfweg 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 aangaande trillingen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden continue en herhaald voorkomende trillingen, 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 nieuw te bouwen woningen nabij een weg of spoorlijn wordt dus voldaan aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (nachtperiode) en de langtijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger is dan 0,05. Als V_{max} niet hoger is dan 0,1 komt de toetsing van de V_{per} te vervallen.

4. Metingen

4.1 Bodemmetingen kavel sectorpark

4.1.1 Meetpunten kavel

Er zijn trillingsmetingen uitgevoerd op vier posities in de bodem, zie figuur 1. De meetpunten zijn verdeeld over twee meetlijnen haaks op het spoor. De oostelijke meetlijn ligt ter hoogte van het spoorviaduct over de Teding van Berkhoutweg. De westelijke meetlijn is gekozen ongeveer halverwege dit viaduct en de brug over zijkanaal F. De westelijke meetlijn geeft naar verwachting een trillingsbeeld behorende bij een standaard spoor situatie. De oostelijke meetlijn geeft een trillingsbeeld inclusief eventuele trillingsverhoging die kan ontstaan op de overgang van spoordijk naar bruggenhoofd (brugtoeslag).

Voor de metingen is gebruikgemaakt van meetsystemen type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De serienummers van de systemen zijn te vinden in figuur 1. De meetsensoren zijn ingegraven op de kavel op circa 30-40 cm onder maaiveld, om zo goed mogelijk contact te maken met de bodem.

Conform de aanbevelingen in de SBR-richtlijn 'Trillingen', deel B - "Trillingshinder voor personen in gebouwen" (SBR-B) is een meetperiode van een week aangehouden om variaties in spoor gebruik en materieel gedurende deze periode mee te nemen in de metingen. De metingen zijn uitgevoerd tussen 20 en 27 juni 2018. Er zijn geen aanwijzingen voor afwijkend spoor gebruik in deze periode, zodat wordt aan genomen dat het spoor gebruik representatief was.

4.1.2 Verwerking meetresultaten

Op het voormalige gemeentewerf terrein vinden nog regelmatig activiteiten plaats.

Verstoringen van de metingen door voertuigen en passanten zijn dus mogelijk. Om verstoringen te herkennen zijn de registraties op de vier meetpunten onderling vergeleken op de tijdstippen dat er sprake is van een trein passage. Indien er rondom het passagetijdstip op enig meetpunt verstoring zichtbaar is dan wordt dit meetpunt op dat tijdstip buiten beschouwing gelaten in de analyses. De ingezette camera voor herkenning van trein passages is tijdens de meetperiode (juni) gestolen. Herkenning van goederentrein passages is evenwel mogelijk o.b.v. de duur van de passage en het trillingsbeeld.

Voor de prognose van te verwachten trillingen in de bebouwing zijn de zwaarste goederen- en reizigerstreinen qua trillingen geselecteerd. De prognose wordt gebaseerd op het statistisch maximum van de top-10 zwaarste trein passages, waarbij maximaal één overschrijding per week als zijnde incidenteel wordt toegestaan.

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 conform de SBR-B. Voor identificatie van trein passages is dit te grof. De identificatie van treinen en check op verstoringen geschiedt daarom aan de hand van het trillingssignaal V_{top} dat in 3 seconden intervallen is vastgelegd. Van de geïdentificeerde trein passages, die vrij zijn van verstoring, is de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose.

4.2 Overdrachtsmetingen bouwwerken

4.2.1 Objecten

De overdrachtsverzwakking die optreedt op de overgang van bodem naar bouwwerk hangt sterk af van de gebouwmassa, maar ook van het type funderingssysteem en de bodemgesteldheid. Hierin kunnen per locatie grote verschillen optreden. Metingen aan panden in vergelijkbare omstandigheden als de beoogde nieuwbouw kunnen de betrouwbaarheid van de prognoses sterk verhogen. Om qua bodemgesteldheid zo min mogelijk af te wijken zijn panden gezocht in de directe nabijheid van het Sectorpark. Er zijn twee bouwwerken of -clusters gevonden die in aanmerking komen:

- Nieuwbouw aan de Wethouder Doevenstraat.
- Het kantoorgebouw van de gemeentewerf.

4.2.1.1 Wethouder Doevenstraat 17

De woningen aan de Wethouder Doevenstraat zijn gebouwd in 2008 en bestaan uit twee bouwlagen. De woningen zijn gefundeerd op prefab betonnen palen (diameter 290-320 mm) met paalpuntniveau op circa 16 meter onder maaiveld. Gezien de bouwwijze zouden deze woningen model kunnen staan voor de te realiseren nieuwbouw in het Sectorpark. De overdrachtsmetingen zijn uitgevoerd aan de woning Wethouder Doevenstraat 17 (WD17). Van dit nieuwbouwproject ligt deze woning het dichtst op het spoor (25 meter) maar het verst verwijderd van de spoorbrug over de Grote Braak (90 meter). Daarom is deze woning het meest geschikt voor de overdrachtsmetingen.



figuur 3: woningen Wethouder Doevenstraat en spoorbrug over Grote Braak (rechts)

4.2.1.2 Gemeentewerf

Het pand van de gemeentewerf, zie figuur 4, is enkele decennia oud en gefundeerd op palen. Midden jaren '80 is de vloer nog voorzien van extra funderingspalen. Het paalpuntniveau van deze palen bevindt zich op circa 16 meter onder maaiveld. Aangenomen wordt dat de oudere funderingspalen onder het raster van fundatiebalken op dezelfde dragende laag staat.



figuur 4: pand gemeentewerf met meetpunten

4.2.2 Uitvoering metingen

Voor de woning WD17 zijn meetsystemen ingezet van het type Syscom Redbox (spoorzijde) en Profound Vibra-sbr (straatzijde). Voor het pand van de gemeentewerf zijn Vibra-sbr meetsystemen ingezet. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetsystemen.

De meetpunten in de bodem zijn geplaatst op enkele meters uit de hoek van het pand om beïnvloeding door het pand zoveel mogelijk te voorkomen, zie figuur 4. Voor meting aan het stijf punt van de draagconstructie is het meetsysteem ofwel aan de gevel gemonteerd (Gemeentewerf; WD17 spoorzijde) ofwel geplaatst op de vloer in de hoek van de kamer (WD17 straatzijde).

tabel 2: meetsystemen overdrachtsmetingen

Object	Meetpunt	Meetsysteem	Serienummer
Wethouder Doevenstraat 17 Spoorzijde	Bodem	Syscom AH0051	1005310
	Fundatie	Syscom AH0054	4436096
	Verdiepingsvloer	Syscom AH0082	10220848
Wethouder Doevenstraat 17 straatzijde	Bodem	Vibra AH0083	VIB0587
	Fundatie	Vibra AH0087	VIB1044
Gemeentewerf Spoorzijde	Bodem	Vibra AH0084	VIB0588
	Fundatie	Vibra AH0088	VIB1045
	Vloer	Vibra AH0102	VIB1188

4.2.3 Verwerking

De overdrachtsmetingen zijn uitgevoerd gedurende 48 uur. In deze periode zijn 4 goederentreinen gepasseerd. Per meetsysteem is het trillingssignaal spectraal verwerkt en zijn de overdrachtsfactoren tussen de meetsystemen per meetlijn bepaald. Daarbij is gekeken naar het deel van het spectrum waarin de treinpassage een sterke verhoging geeft, ofwel een hoge signaal/ruis verhouding heeft. Alleen over dat deel van het spectrum zijn betrouwbare overdrachten te bepalen, maar qua trillingshinder is dat ook het relevante deel van het spectrum.

5. Resultaten

5.1 Metingen kavel

De trillingsregistraties V_{top} die zijn gebruikt voor treinherkenning, zijn opgenomen in bijlage 1 (opgedeeld in perioden van ongeveer vier dagen). De (goederen)treinpassages met de hoogst geregistreerde trillingssterkten zijn gemarkeerd met een blauwe pijl. Uit de registraties zijn de qua trillingsopwekking zwaarste treinpassages geselecteerd voor verdere verwerking.

Tabel 3 geeft een overzicht van de geregistreerde $V_{eff,max}$ -waarden van de top-vijftien zwaarste goederentreinpassages per meetpunt/meetsysteem en per meetrichting. De tabel toont dat de verticale meetrichting op alle meetpunten maatgevend is.

tabel 3: $V_{eff,max}$ en $V_{max,stat}$ goederentreinpassages

Passages goederentreinen		Mp.1 Oost 30m (VIB01044)			Mp.2 Oost 55m (VIB01187)			Mp.3 West 30m (VIB01045)			Mp.4 West 85m (VIB01188)		
Datum	Tijdstip	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
26/6	20:21	0,15	0,15	0,58	0,12	0,13	0,46	0,10	0,10	0,39	0,10	0,08	0,32
22/6	05:43	0,15	0,14	0,57	0,15	0,11	0,54	0,16	0,13	0,42	0,10	0,10	0,25
24/6	10:51	0,16	0,11	0,55	0,11	0,12	0,39	0,13	0,14	0,22	0,10	0,10	0,18
20/6	19:50	0,15	0,12	0,52	0,15	0,11	0,47	0,19	0,13	0,26	0,10	0,10	0,19
27/6	08:52	0,17	0,14	0,47	0,16	0,10	0,37	0,15	0,17	0,27	0,10	0,10	0,24
25/6	09:00	0,19	0,12	0,45	0,15	0,12	0,44	0,15	0,13	0,26	0,10	0,10	0,24
25/6	20:03	0,13	0,14	0,43	0,15	0,11	0,35	0,16	0,13	0,26	0,10	0,10	0,19
24/6	07:51	0,17	0,13	0,42	0,16	0,10	0,36	0,15	0,16	0,25	0,10	0,10	0,22
21/6	19:54	0,15	0,18	0,39	0,13	0,10	0,28	0,17	0,14	0,23	0,10	0,10	0,14
24/6	16:09	0,19	0,11	0,39	0,13	0,10	0,2	0,24	0,20	0,42	0,10	0,10	0,15
26/6	08:52	0,1	0,11	0,39	0,12	0,10	0,32	0,13	0,15	0,25	0,10	0,10	0,12
23/6	18:19	0,11	0,12	0,35	0,12	0,12	0,31	0,15	0,10	0,25	0,10	0,10	0,12
24/6	20:39	0,14	0,11	0,34	0,13	0,10	0,19	0,30	0,19	0,33	0,10	0,10	0,14
25/6	13:22	0,21	0,14	0,32	0,23	0,17	0,45	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
21/6	22:55	0,21	0,14	0,31	0,15	0,10	0,23	0,24	0,15	0,5	0,1	0,1	0,2
Aantal		15			15			14			14		
Beta	β	1,76			1,76			1,77			1,77		
Stdev	σ	0,03	0,02	0,09	0,03	0,02	0,10	0,05	0,03	0,09	0	0,01	0,06
Gemiddeld	μ	0,16	0,13	0,43	0,14	0,11	0,36	0,17	0,14	0,31	0,10	0,10	0,19
$V_{max,stat}$		0,23	0,17	0,62	0,20	0,15	0,60	0,30	0,21	0,51	0,10	0,11	0,33

Tabel 4 geeft een overzicht van de geregistreerde V_{max} -waarden van reizigerstreinen. Reizigerstreinen wekken geringe trillingssterkten op in de kavel, die maar net boven de voelbaarheidsgrens uitkomen. Vergelijk met tabel 2 met de goederentreinen laat zien dat het voor de trillingsprognoses volstaat om deze te baseren op de goederentreinen (ertstreinen).

tabel 4: V_{max} reizigerstreinen

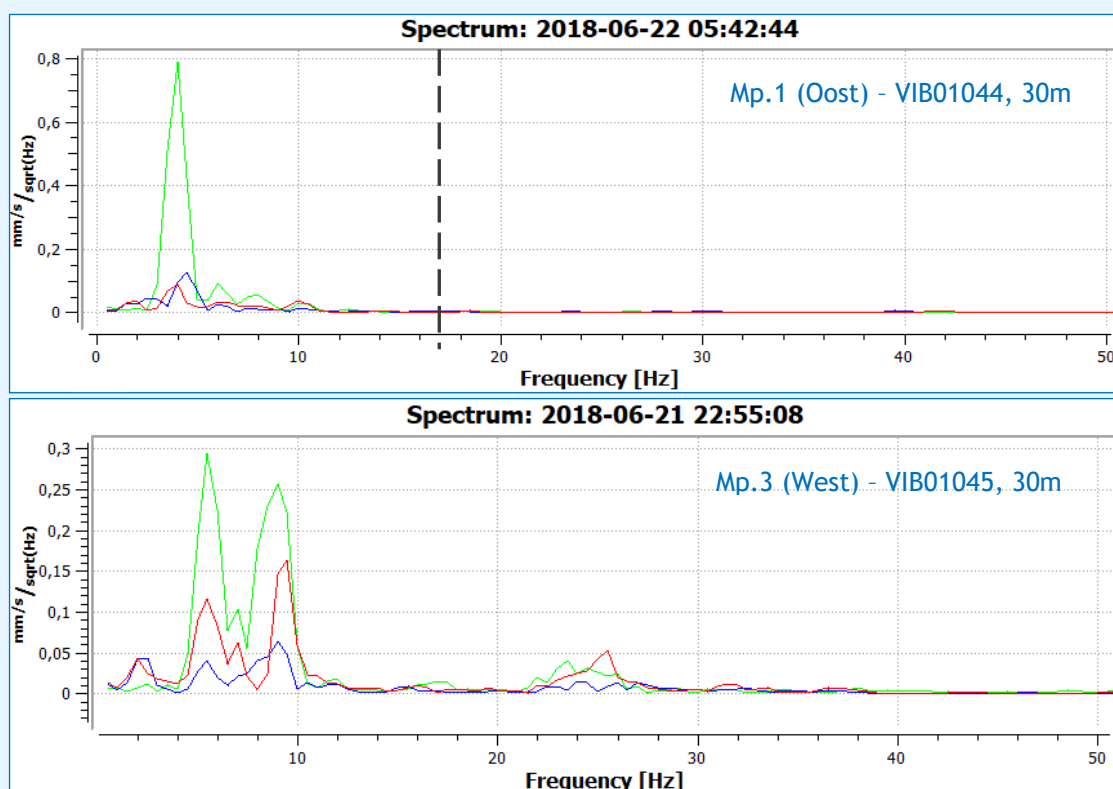
Passages reizigerstreinen	Mp.1 Oost 30m (VIB01044)			Mp.2 Oost 55m (VIB01187)			Mp.3 West 30m (VIB01045)			Mp.4 West 85m (VIB01188)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
V_{max} Van alle reizigerstreinen	0,11	0,12	0,16	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Nadere beschouwing meetresultaten

Tabellen 3 en 4 laten zien dat het onderzoek zich vooral moet richten op de goederentreinen en dat de reizigerstreinen ondergeschikt zijn. De $V_{\text{eff,max}}$ -waarden in tabel 3 en de daaruit bepaalde statistisch maximale waarde $V_{\text{max,stat}}$ laten zien dat goederentreinpassages op afstanden van meer dan 50 meter tot het spoor nog goed voelbaar kunnen zijn in de bodem en dat pas op meer dan 100 meter trillingssterkten geleidelijk onder de voelbaarheidsgrens (0,1) zakken. Dit betekent niet dat in een licht bouwwerk dan geen voelbare trillingen meer kunnen optreden, aangezien in een bouwwerk trillingsversterking kan optreden. Bij een voldoende zwaar en op palen gefundeerd bouwwerk met betonnen vloeren zal dit in de regel niet tot overschrijding van de streefwaarden uit de SBR-B leiden.

Er is een verschil tussen de westelijke en oostelijke meetlijn, waarbij de oostelijke lijn circa 50% hogere trillingssterkten laat zien. Mogelijk komt dit door het daar aanwezige spoorviaduct.

De gemeten trillingsspectra in de bodem laten zien dat de treinen hoofdzakelijk trillingen opwekken in het frequentiegebied van 0 tot 10 Hz, zie de gemeten spectra in figuur 5. Bij de zwaarste treinpassages wordt het spectrum meestal gedomineerd door een sterke 4 Hz trilling, maar soms ook in combinatie met een 8 à 10 Hz component. De zware treinpassages betreffen de ertstreinen waarbij de hoge aslast in combinatie met de relatief korte wagons voor de sterke 4 Hz aanstoting zorgt. De zeer sterke trilling is verder het cumulatieve effect (lijnbron) van lange zware treinen op een relatieve slappe ondergrond. De 8 à 10 Hz component is te relateren aan de onderhoudstoestand van treinwielen, maar is qua trillingsopwekking van een lagere orde. De zware ertstreinen zorgen op deze locatie dus voor relatief sterke trillingen in de bodem.



figuur 5: karakteristiek trillingsspectrum bodem - meetpunt 3 (west), groen = verticaal, rood = horizontaal $\perp$ spoor

5.2 Overdracht bodem - gebouw

Er zijn in totaal vier goederentreinen gepasseerd, waarvan de eerste tijdens de installatie van de meetapparatuur. Deze passage is daarom niet beschikbaar voor de gemeentewerf. Op basis van de treinpassages kan een voldoende betrouwbaar beeld van de trillingsoverdracht vastgesteld worden. Tabel 5 geeft een overzicht van de treinpassages. Navolgend worden de resultaten besproken.

tabel 5: overzicht goederentreinpassages

Tijdstip	Richting	Materieel
25/9 - 11:21	Oost	Loc met circa 10 stukgoed wagons
26/9 - 08:52	Oost	BR189 loc met circa 10 stortwagons (erts) + 10 stukgoed
26/9 - 19:09	West	BR189 loc met circa 15 stukgoedwagons + 10 stortwagons (erts)
26/9 - 19:48	Oost	BR189 loc met circa 10 stukgoed wagons

Wethouder Doevenstraat 17

Bijlage 2 toont de gemeten trillingsspectra op Wethouder Doevenstraat 17 (spoorzijde) op respectievelijk: het bodemmeetpunt, het gevelmeetpunt en de verdiepingsvloer.

De overdrachtsverzwakking tussen bodem en gevel in verticale richting is door middel van pijlen aangegeven. Te zien valt dat bij lage frequenties, waarin de meeste trillingsenergie zit, er sprake is van een substantiële overdrachtsverzwakking in verticale richting. Deze verschilt per passage, maar bedraagt globaal ongeveer 8 tot 10 dB bij frequenties tot circa 8 Hz.

Ook aan straatzijde van de woning, zie bijlage 3, is de overdracht tussen bodem en gevel bepaald en deze bedraagt verticaal ongeveer 4 à 5 dB. In de beide horizontale richtingen zijn de overdrachtsverzwakkingen bij frequenties tot 5 Hz verwaarloosbaar. De bodem op maaiveld trilt in de nabijheid van de woning, bij lage frequenties, ongeveer even hard als de woning zelf.

Gemeentewerf

Ook bij de gemeentewerf zijn de overdrachten tussen bodem en gebouw bepaald, zie bijlage 4. Het gevelmeetpunt aan spoorzijde ligt op circa 55 meter afstand tot het spoor en hier wordt een overdrachtsverzwakking van ongeveer 5 dB gemeten in verticale richting, althans bij lage frequenties. Deze verzwakking is minder dan gemeten bij WD17 aan spoorzijde, maar dit pand is met twee bouwlagen ook zwaarder.

Nadere beschouwing meetresultaten

Het bodemmeetpunt nabij de gemeentewerf bevond zich op circa 50 meter afstand van het spoor. In juni 2018 zijn kavelmetingen gedaan op circa 55 meter van het spoor (Mp2/Oost), dus op vergelijkbare afstand. Het voor de overdrachtsbepaling gehanteerde bodemmeetpunt toont voor goederentreinpassages V_{eff} -waarden tussen 0,18 en 0,26 (mm/s) in verticale richting tegenover trillingssterkten oplopend tot 0,54 gemeten in juni 2018. Dit betekent dat tijdens de overdrachtsmetingen niet de zware ertstreinen (zoals in juni) zijn voorgekomen. De goederentreinpassages zijn evenwel geschikt voor de overdrachtsbepaling.

Een tweede opvallend gegeven is dat het bodemmeetpunt nabij Wethouder Doevenstraat, op 23 meter afstand tot het spoor, nagenoeg dezelfde trillingssterkten meet als het bodemmeetpunt op het Sectorpark hoewel de afstand daar tweemaal zo groot is. Behalve dat er dus minder zware treinen zijn gepasseerd zijn de trillingssterkten aan de Wethouder Doevenstraat ook relatief laag in verhouding tot het Sectorpark.

Op Wethouder Doevenstraat 17 zijn de trillingssterkten in de bodem (verticaal) aan spoorzijde hoger dan aan straatzijde, vermoedelijk als gevolg van de tussenliggende woning.

In de trillingsoverdracht zie je dit terug als een lagere gemeten verzwakking tussen bodem en gebouw aan straatzijde.

Op het bodemmeetpunt WD17 aan spoorzijde (23 meter) worden in de horizontaalrichtingen aanmerkelijk hogere trillingen waargenomen dan op het bodemmeetpunt van de gemeentewerf (50 meter), waar deze frequentiecomponent nagenoeg afwezig is. Ook als wij de bodemmeetpunten op de gemeentewerf uit juni 2018, op circa 30 meter afstand tot het spoor, erbij nemen dan zien wij daarin geen sterke trillingscomponent bij 1,6 Hz. De hogere trillingssterkten bij 1,6 Hz in de bodem (X/Y-richting) van WD17 worden dan ook geweten aan de interactie met de woning. De woning is gevoelig voor deze frequentie, raakt in trilling en neemt daarin de bodem op maaiveld (grotendeels bestraat) mee. Dit kan bij vergelijkbare bouwwijze uiteraard ook gaan optreden bij de eerstelijns bebouwing (vanaf het spoor) op het Sectorpark.

Tijdens de enige westgaande goederentreinpassage (26/9 om 19:09 uur) werden behalve de sterke trillingen rond 4 Hz ook meer trillingen gemeten rond 6 tot 12 Hz. Dit is vermoedelijk te wijten aan een slechtere onderhoudstoestand van de wielen. Bij 6 tot 8 Hz blijkt de woning gevoelig voor trillingen in de oost-west richting, dus in de lengterichting van het bebouwingscluster. Het meetpunt op de verdieping laat in deze richting aanmerkelijk hogere trillingssterkten zien dan het meetpunt op de begane grond. Het gaat vermoedelijk om vervorming van de constructie, dit in tegenstelling tot het gedrag van de woning bij circa 1,6 Hz in de noord-zuid richting.

6. Prognose

Op basis van de gemeten trillingssterkten in de bodem op de kavel(s) en de gemeten trillingsoverdrachten van bodem naar fundatie in een qua constructie vergelijkbaar pand, is een prognosemodel opgezet. Met dit rekenmodel is vervolgens een prognose gemaakt van te verwachten trillingssterkten in de te bouwen woningen op deze kavel(s).

In figuur 5 is te zien dat de qua bodemtrillingen de verticale richting veruit maatgevend is en in veel gevallen is dit in de woning ook het geval vanwege mogelijke trillingsversterking van vloeren. De overdrachtsmetingen hebben evenwel laten zien dat er in de horizontale richtingen enige trillingsversterking kan optreden van de woning op de paalfundering of naar hogere verdieping door vervorming van de constructie.

In de trillingsprognoses worden de gemeten (gemiddelde) overdrachten van bodem naar gebouwfundatie voor het pand WD17 gebruikt. Deze aanname geldt voor de dichtstbijzijnde bebouwing op circa 30 meter van het spoor en voor een gebouw van tenminste twee bouwlagen op een paalfundering (paalpunt -16 meter). Op grotere afstand tot het spoor, vanaf ongeveer 50 meter zou gerekend moeten worden met een wat lagere overdachtsverzwakking in verticale richting. Daarentegen zullen op grotere afstand de trillingssterkten in de bodem ook lager zijn. Om dit te controleren zal een controleberekening gedaan worden voor bebouwing op 50 meter afstand tot het spoor, gebaseerd op deze lagere overdachtsverzwakking.

Voor het trilgedrag van vloeren wordt gerekend met ervaringswaarden. De maximale trillingsversterking van vloeren ligt veelal in de orde van een factor 2,5 tot 3. In de praktijk zal dit afhangen van de ligging van vloer-eigenfrequenties ten opzichte van de dominante frequentie in het treinspectrum. Het is van belang daarmee rekening te houden bij de vloerkeuze en de laagste vloer-eigenfrequentie ruim hoger te kiezen dan de dominante 4 Hz trilfrequentie. In dat geval hoeft de versterkingsfactor niet veel hoger dan 1 tot 1,5 te zijn.

Bijlage 5 toont de prognoseberekeningen voor eengezinswoningen op 30 meter afstand tot het spoor. De prognoses gelden voor bebouwing van 2 of 3 bouwlagen, al of niet geschakeld en onder aanname dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van tenminste 12 Hz. Tabel 7 geeft een overzicht van de verwachte trillingssterkten.

tabel 6: trillingsprognose laagbouw op palen, vloer-eigenfrequentie > 12 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$ (V_{per})			
			Oostelijk deel kavel		Westelijk deel kavel	
			30 m	50 m	30m	50 m
Laagbouw op palen; eengezinswoning	2-3	Horizontaal	0,09 (0)	0,07 (0)	0,06 (0)	0,06 (0)
		Verticaal	0,22 (0,02)	0,20 (0,02)	0,14 (<0,01)	0,16 (<0,01)

Uit tabel 6 blijkt dat, mits er paalfundering en stijve vloeren worden toegepast, er op circa 50 meter afstand van het spoor kan worden voldaan aan de SBR-B. In de zone van 30 tot 50 meter afstand tot het spoor zouden er nog lichte overschrijdingen van de streefwaarde in de nachtperiode van 0,2 kunnen optreden. Het gaat dan om de zware ertstreinen die af en toe rijden. Verwacht wordt dat de trillingssterkte niet hoger zal zijn dan 0,25 (mm/s) en dat dit hooguit enkele malen per week optreedt. Strikt genomen voldoet dit niet aan het toetsingskader voor nieuwe situaties, maar het zal niet leiden tot veel hinder. De SBR-B geeft als hinderkwalificatie voor trillingssterkten tussen 0,2 en 0,8 een omschrijving van “matige hinder”. Ter vergelijking, de streefwaarde voor bestaande situaties (bestaande bouw) ligt in de nachtperiode op 0,4.

7. Conclusies en aanbevelingen

Trillingsmetingen op de kavels Sectorpark Halfweg laten zien dat de zware ertstreinen een forse trillingsopwekking geven in de bodem, met goed voelbare trillingssterkten ($V_{\max}$) van 0,6 tot 0,4 in de bodem op circa 30 tot 75 meter afstand van het spoor. De reizigerstreinen zijn van ondergeschikt belang.

De overdrachtsmetingen aan de woning Wethouder Doevenstraat 17 en het pand van de gemeentewerf, beiden gefundeerd op betonpalen laten zien dat een paalfundatie in deze bodem een aanmerkelijke overdrachtsverzwakking geeft, althans in de maatgevende verticale richting. Deze verzwakking is meer dan op grond van de empirische TNO-formules¹ doorgaans wordt aangehouden. In de horizontale richtingen heeft de paalfundering overeenkomstig de verwachting weinig invloed.

Als de eengezinswoningen in het Sectorpark worden uitgevoerd met een fundering van betonnen palen dan kan op een afstand van circa 50 meter tot het spoor worden voldaan aan de SBR-B richtlijn. De paalfundatie moet dan reiken tot dezelfde draagkrachtige laag als de woningen aan de Wethouder Doevenstraat (paalpunt 16 meter onder maaiveld) en de vloeren moeten relatief stijf uitgevoerd worden met een laagste buigeigenfrequentie van tenminste 12 Hz. Hiertoe moeten vloeroverspanningen beperkt worden tot ongeveer 6 meter bij een vloerdikte van tenminste 250 mm.

In de zone tussen 30 en 50 meter van het spoor kunnen af en toe trillingssterkten optreden tot circa 0,25 (mm/s). Dit voldoet strikt genomen niet geheel aan de SBR-B (streefwaarde 0,2) maar zal in de praktijk weinig hinder opleveren. Als toekomstige bewoners op dit risico gewezen worden dan hoeft dit geen belemmering te vormen voor de realisatie van woningen.

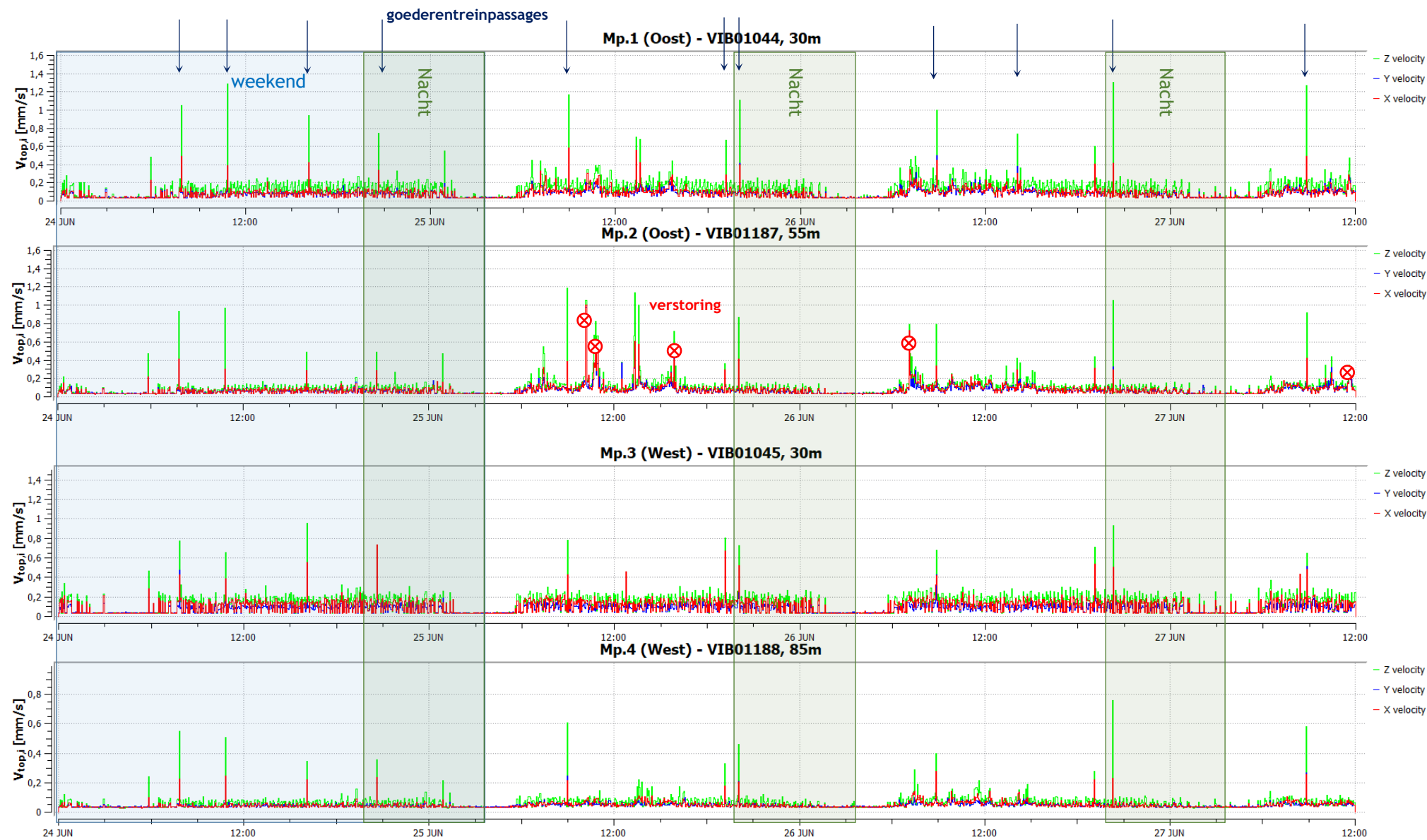


ing. A.W.N. (Antwan) van Haaren
DGMR-Bouw B.V.

¹ Gedrag van constructie en fundering, Module THC4 - PAO-cursus trillingshinder en contactgeluid, Prof ir. A.C.W.M. Vrouwenfelder en P. Waarts (TNO)

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistratie V_{top}
-------	--------------------------------



Bijlage 2

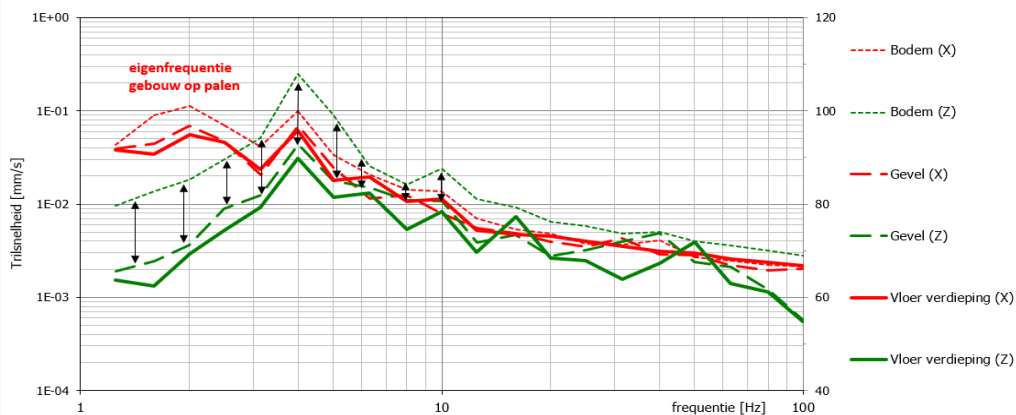
Titel	Overdrachtsmetingen Wethouder Doevenstraat 17 (spoorzijde)
-------	--

Trillingsonderzoek Sectorpark Halfweg

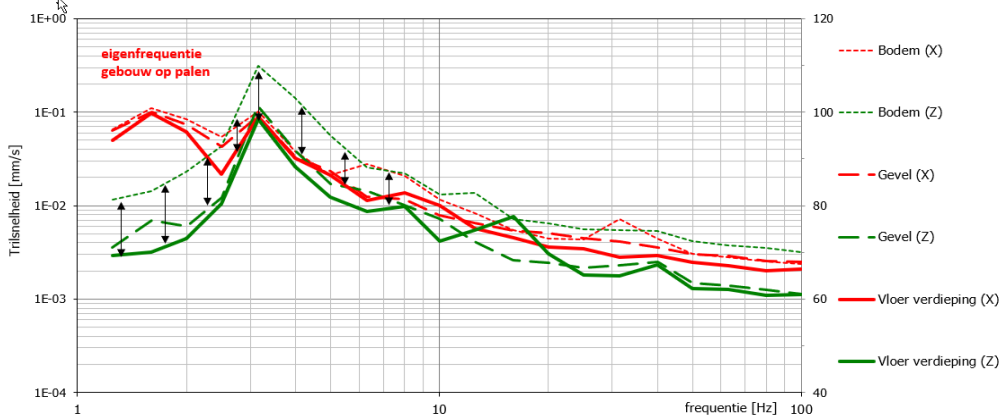
Halfweg - Weth. Doevenstraat 17

Gemeten trillingspectra V_{rms} in 1/3-octaf - Goederentrein 25/9 - 11:21, afstand 25m

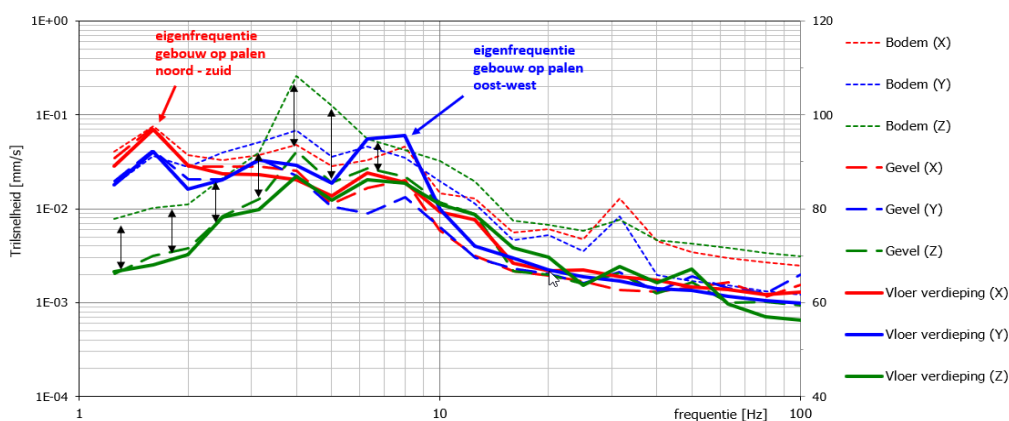
Datum: 25 september 2018

Gemeten trillingspectra V_{rms} in 1/3-octaf - Goederentrein 26/9 - 08:52, afstand 25m

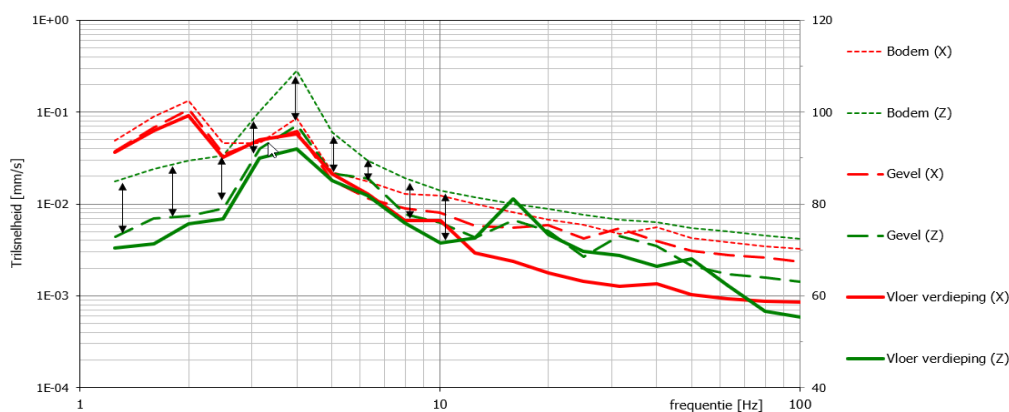
Datum: 26 september 2018

Gemeten trillingspectra V_{rms} in 1/3-octaf - Goederentrein 26/9 - 19:09, afstand 25m

Datum: 26 september 2018

Gemeten trillingspectra V_{rms} in 1/3-octaf - Goederentrein 26/9 - 19:48, afstand 25m

Datum: 26 september 2018



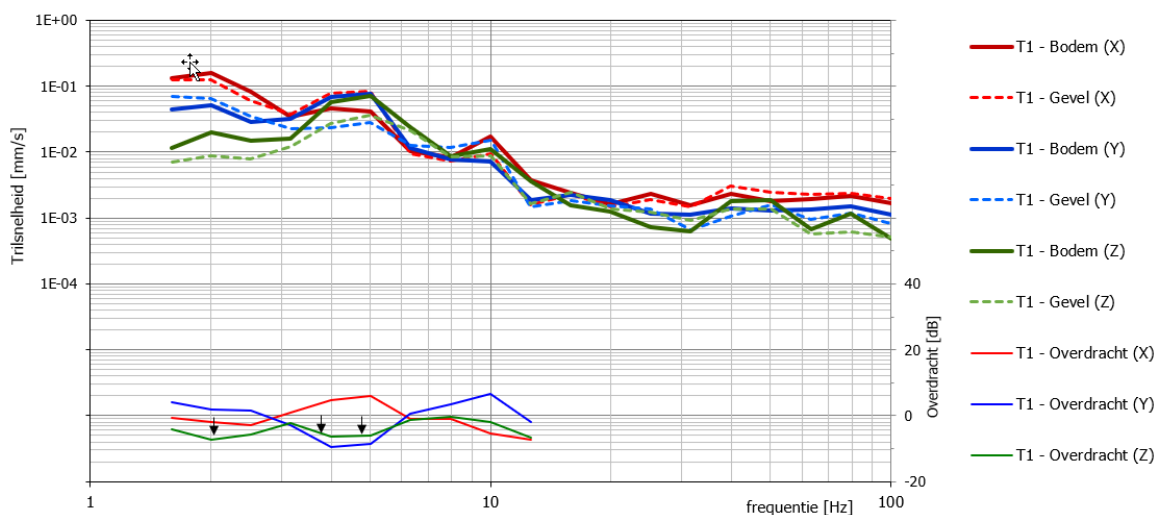
Bijlage 3

Titel	Overdrachtsmetingen Wethouder Doevenstraat 17 (straatzijde)
-------	---

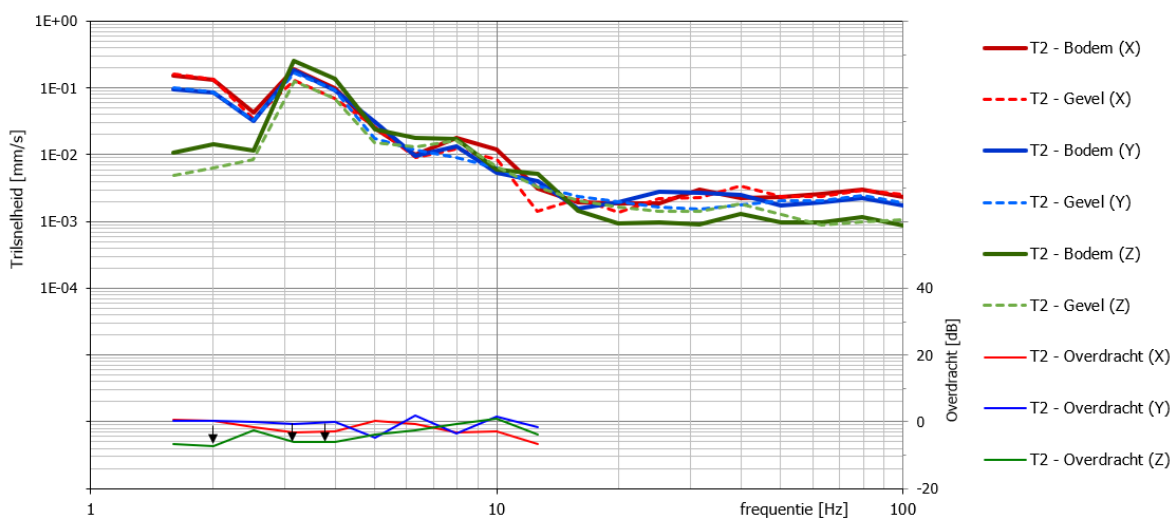
Trillingsonderzoek Sectorpark Halfweg

Halfweg - Weth. Doevenstraat 17 (straatzijde)

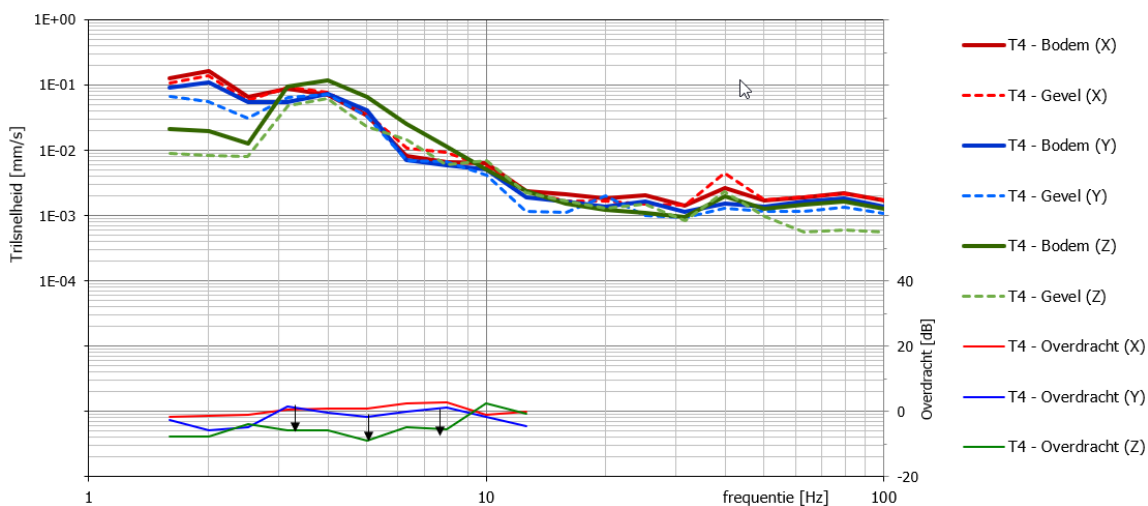
Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 25/9 - 11:21 (oost), afstand 40m
Datum: 26 september 2018



Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 26/9 - 08:52 (oost), afstand 40m
Datum: 26 september 2018



Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 26/9 - 19:49 (oost), afstand 40m
Datum: 26 september 2018



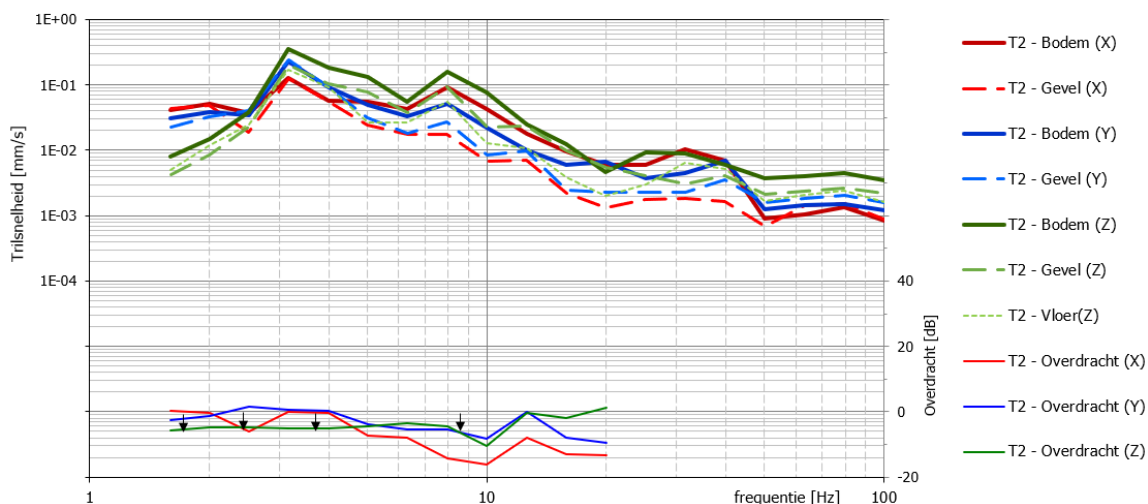
Bijlage 4

Titel	Overdrachtsmetingen gemeentewerf
Omvang	1

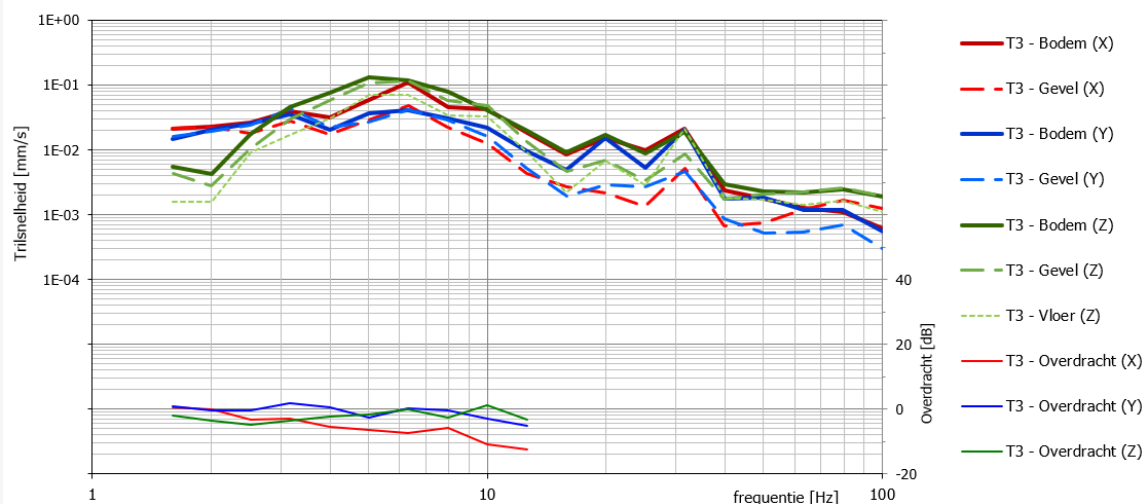
Trillingsonderzoek Sectorpark Halfweg

Halfweg - Gemeentewerf

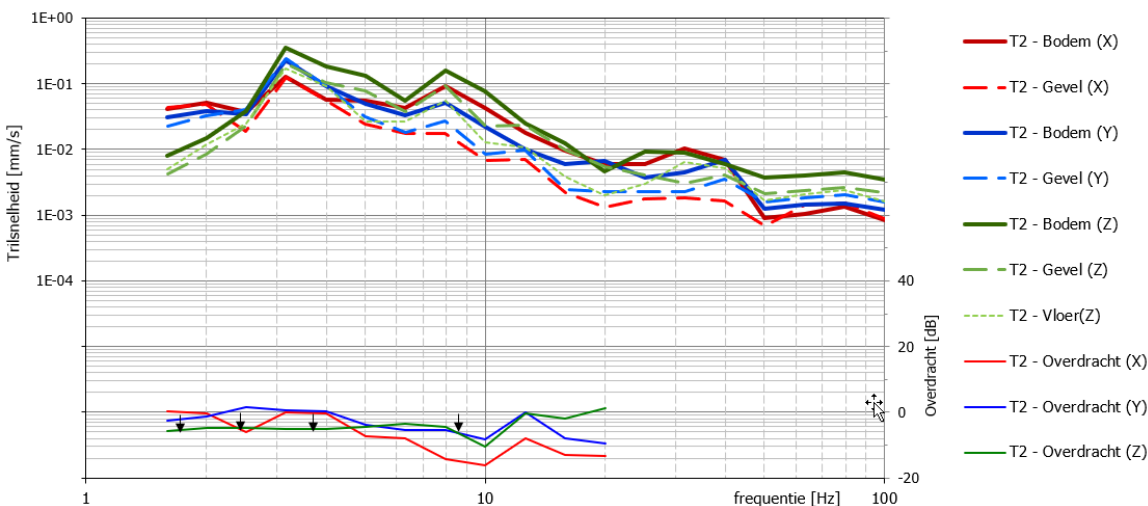
Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 26/9 - 08:52 (oost), afstand 50m
Datum: 26 september 2018



Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 26/9 - 19:09 (west), afstand 50m
Datum: 26 september 2018



Trillingsspectra V_{rms} in 1/3-octaf en overdracht bodem naar gevel - Goederentrein 26/9 - 08:52 (oost), afstand 50m
Datum: 26 september 2018



Bijlage 5

Titel	Trillingsprognose Sectorpark (30m van spoor)
Omvang	2 x 3 richtingen
Toelichting	Update o.b.v. overdrachtsmetingen

Y

Afstand = 30m (Y)

X

Meetlijn West - trillingsprognose eengezinswoningen (2-3 bouwlagen)

Afstand = 30m (X)

