

Trillingsonderzoek Stadswerf Oostenburg

Onderzoek invloed trillingen treinverkeer op nieuwbouw Stadswerf Oostenburg

Status	definitief
Versie	001
Rapport	B.2018.0398.00.R001
Datum	25 juni 2018

Colofon

Opdrachtgever	Oostenburg SGN Postbus 700 1000 AS AMSTERDAM
Contactpersoon opdrachtgever	-
Project	Trillingsonderzoek Dijksgracht/Lijnbaan Amsterdam
Betreft	Trillingsonderzoek
Uw kenmerk	-
Rapport	B.2018.0398.00.R001
Datum	25 juni 2018
Versie	001
Status	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.	JBYPZ

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Project	5
2.2 Spoor	5
3. Toetsingskader	7
4. Metingen	8
4.1 Meetpunten	8
4.2 Verwerking meetresultaten	8
5. Resultaten	9
5.1 Trillingsmetingen	9
5.2 Nadere beschouwing	9
5.3 Overdracht bodem naar gebouw	10
6. Prognose	11
7. Conclusies en aanbevelingen	12

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistratie V_{top}
Bijlage 2	Trillingsprognose Nieuwbouw

1. Inleiding

In opdracht van Oostenburg SGN heeft DGMR Bouw B.V. onderzoek gedaan naar te verwachten trillingen in het woningbouwproject “Stadswerf Oostenburg” in Amsterdam. De trillingen waarom het gaat, zijn afkomstig van de spoorlijn Amsterdam CS - Muiderpoort. Aanleiding voor dit onderzoek vormt een door ProRail ingediende zienswijze op het ontwerp uitwerkingsplan, waarin trillingsonderzoek wordt gevraagd. Oostenburg SGN heeft verzocht dit onderzoek uit te voeren.

Het project Stadswerf Oostenburg omvat de herontwikkeling van de voormalige Stork Werkspoor terreinen tot woonomgeving. Het project omvat verscheidene deelskavels, waarvan de kavels Dijkgracht, Lijnbaan en VOC-kade in dit onderzoek zijn opgenomen. In het project kunnen diverse constructieve principes voorkomen, al naar gelang de keuze van de ontwikkelende partijen. De trillingsgevoeligheid kan per gebouwconcept en vloerkeuze verschillen.

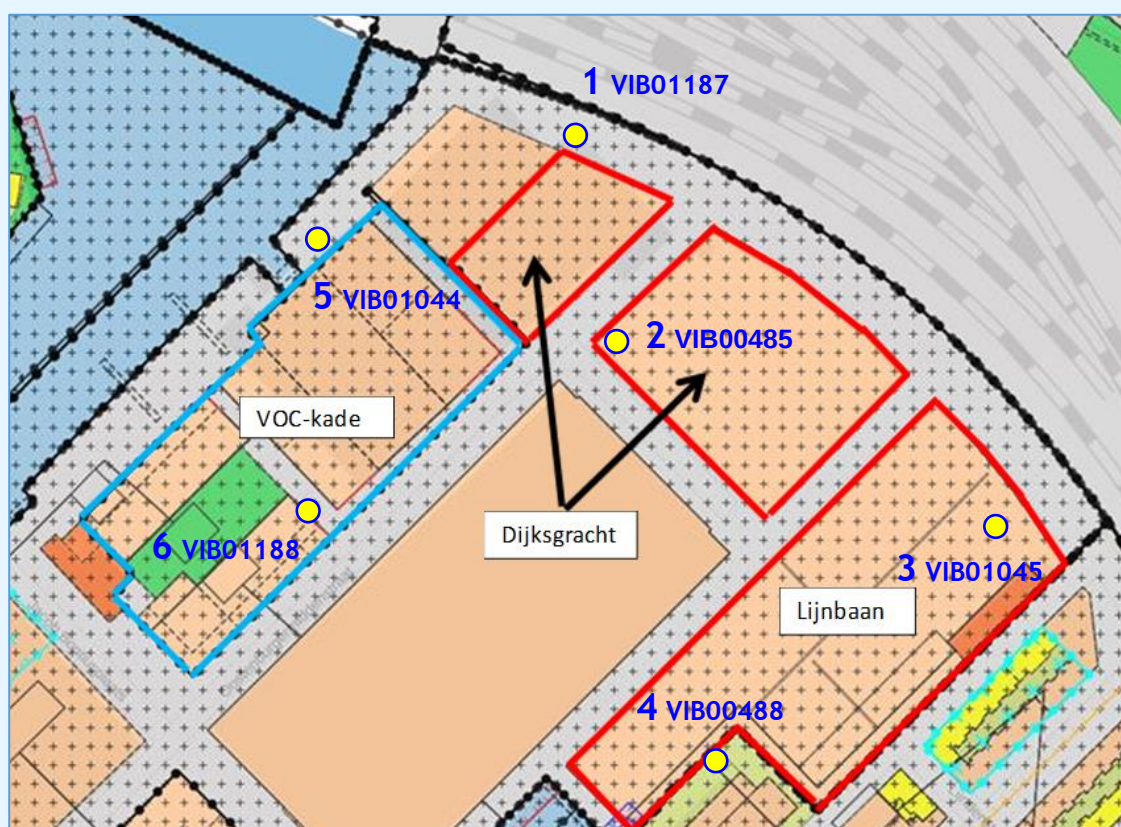
In de ingediende zienswijze is geen onderzoeksafstand tot het spoor genoemd. In vergelijkbare projecten zijn afstanden van tussen de 50 en 100 m genoemd. Hierbinnen vallen de meest spoorgerichte delen van de kavels Dijkgracht en Lijnbaan. Besloten is om ook de kavel VOC-kade die op meer dan 100 m afstand tot het spoor ligt veiligheidshalve in het onderzoek te betrekken.

Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's zijn op 6 meetpunten verdeeld over deze kavels metingen gedaan in de bodem. 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.

2. Situatie

2.1 Project

Het programma Stadswerf Oostenburg omvat meerdere kavels. Het trillingsonderzoek heeft betrekking op de kavels Dijksgracht, Lijnbaan en VOC-kade, zie figuur 1. Op deze kavels zullen appartementencomplexen verrijzen, merendeel ten minste vier bouwlagen hoog.

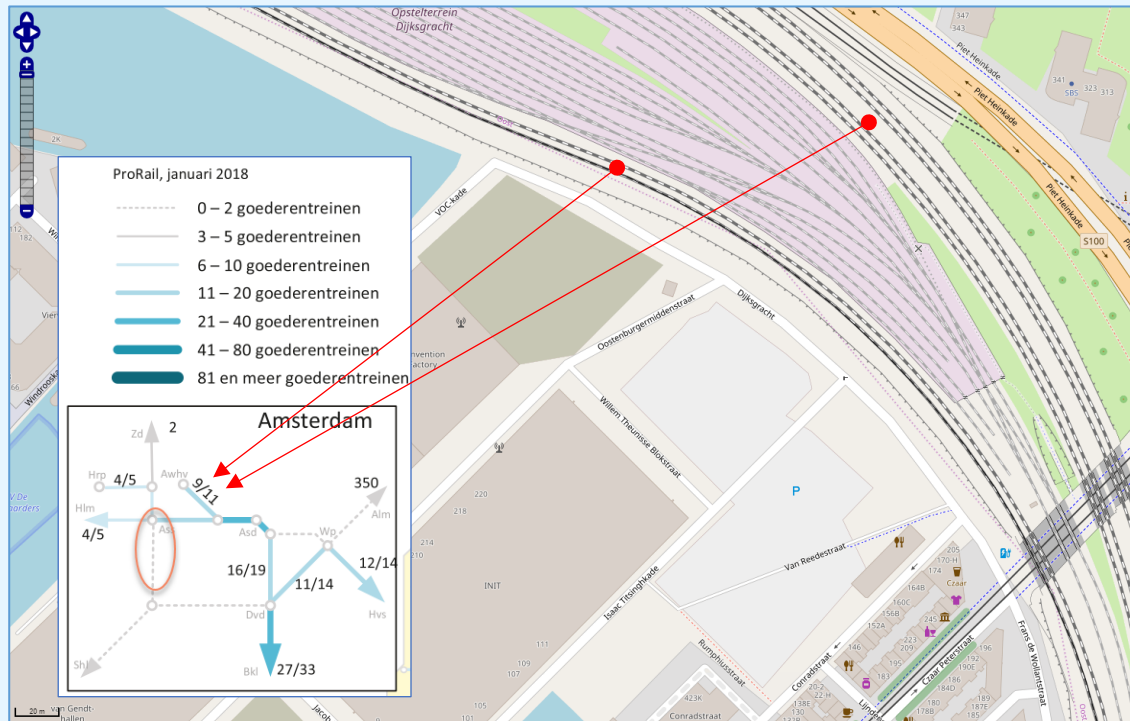


figuur 1: onderzochte kavels Dijksgracht, Lijnbaan en VOC-kade binnen project Stadswerf Oostenburg, met meetpunten

2.2 Spoor

De onderzochte kavels liggen aan de spoorlijn Amsterdam Centraal - Muiderpoort. De twee meest nabijgelegen sporen vormen de verbinding met Utrecht. De vier verderaf gelegen sporen, achter het emplacement Dijksgracht, vormen de verbinding met Almere/Amersfoort. De zuidgaande treinen naar Utrecht rijden over het eerste spoor.

Naast sprinters en intercity's rijden er op dit tracé ook goederentreinen. Volgens het ProRail jaarrapport 2017 'Ontwikkeling spoorgoederenvervoer in Nederland' ongeveer 9 tot 11 goederentreinen per dag. Tijdens de metingen zijn met name ertstreinen en in mindere mate tank-, container- en stukgoedvervoer waargenomen. De treinen rijden met beperkte rijsnelheid.



figuur 2: kavelliging ten opzichte van spoor en spoorgebruik (goederentreinen per dag)

3. Toetsingskader

Voor het project Stadswerf Oostenburg 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
Onderwijs en kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07

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

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 Meetpunten

Er zijn trillingsmetingen uitgevoerd op zes posities in de bodem, zie figuur 1. De meetpunten zijn zoveel mogelijk verdeeld over de aangewezen kavels om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de verschillen qua trillingsimmissie op de kavels.

Daarnaast zijn overdrachtsmetingen uitgevoerd aan het pand van INIT om een indruk te verkrijgen van de overdrachtsverzwakking die optreedt van bodem naar gebouw. Een goed beeld hiervan is van belang voor de prognose van de te verwachten trillingssterkten in de woongebouwen.

Voor de metingen is gebruikgemaakt van meetsystemen type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De serienummers zijn te vinden in figuur 1.

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 spoorgebruik en materieel gedurende deze periode mee te nemen in de metingen. De metingen zijn uitgevoerd tussen 4 en 12 juni 2018.

4.2 Verwerking meetresultaten

De terreinen in het plangebied zijn in gebruik als parkeerplaats en worden intensief gebruikt door onder meer medewerkers van INIT en De Persgroep en bezoekers van de aanwezige horecagelegenheden. Verstoringen van de metingen door voertuigen en passanten is dus aan de orde.

Om de invloed van treinpassages vrij van verstoring in beeld te brengen, zijn treinpassages in de registraties geverifieerd op basis van camerabeelden (spoorgerichte camera) en is het verloop van de registraties voor en na het passagemoment gecontroleerd op verstoringen. Indien verstoring aan de orde is, wordt de treinpassage voor het betreffende meetpunt niet beschouwd.

Voor de prognose zijn de qua trillingen zwaarste goederentreinen en reizigerstreinen geselecteerd. De prognose wordt gebaseerd op het statistisch maximum van de top-10 zwaarste treinpassages, 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 treinpassages 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 treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose.

5. Resultaten

5.1 Trillingsmetingen

De trillingsregistraties V_{top} die zijn gebruikt voor treinherkenning, zijn opgenomen in bijlage 1. Hierin zijn enkele duidelijk herkenbare treinpassages aangegeven. Uit de registraties zijn de qua trillingsopwekking in de bodem zwaarste treinpassages geselecteerd voor verdere verwerking.

Tabel 2 geeft een overzicht van de geregistreerde $V_{\text{eff,max}}$ -waarden van de top-X zwaarste goederentreinpassages per meetpunt/meetsysteem en per meetrichting. De tabel laat zien dat de verticale meetrichting op alle meetpunten maatgevend is.

tabel 2: $V_{\text{eff,max}}$ en $V_{\text{max,stat}}$ goederentreinpassages

Treinpassage		Mp.1 Dijkgracht 13 m (VIB01187)			Mp.2 Dijkgracht 90 m (VIB00485)			Mp.3 Lijnbaan 65 m (VIB01045)			Mp.4 Lijnbaan 165 m (VIB00488)			Mp.5 VOC-kade 95 m (VIB01044)			Mp.6 VOC-kade 185 m (VIB01188)		
Type	Tijdstip	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1 loc + 17 erts	7/6 - 5:28	0,2	0,10	0,55	0,05	0,05	0,10	0,03	0,03	0,10	--	--	--	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05
1 loc + 27 erts	6/6 - 19:20	0,19	0,10	0,46	verstoord			0,07	0,06	0,13	0,04	0,06	0,07	0,05	0,08	0,10	verstoord		
1 loc + 15 erts	5/6 - 18:58	0,17	0,10	0,41	0,10	0,09	0,11	0,09	0,06	0,14	0,04	0,04	0,06	0,05	0,08	0,09	0,04	0,04	0,04
2 locs + 44 erts	9/6 - 6:18	0,17	0,10	0,39	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,10	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07
2 locs + 42 erts	5/6 - 16:57	0,15	0,10	0,41	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,14	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,11
1 loc + 15 tank	7/6 - 7:28	0,17	0,10	0,37	0,07	0,08	0,11	0,06	0,05	0,14	0,05	0,05	0,07	0,05	0,10	0,10	0,04	0,05	0,06
2 locs + 36 erts	11/6 - 7:24	0,16	0,10	0,38	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05
1 loc + 26 erts	7/6 - 19:24	0,17	0,10	0,35	0,06	0,04	0,10	0,07	0,05	0,15	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,04	0,03	0,04
2 locs + 26 erts	9/6 - 18:26	0,17	0,10	0,35	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,07	--	--	--	0,03	0,04	0,03	--	--	--
1 loc + 25 erts	8/6 - 5:29	0,14	0,10	0,34	0,08	0,08	0,13	0,03	0,03	0,07	--	--	--	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,06
Onbekend	10/6 - 23:27	0,17	0,10	0,35	0,06	0,04	0,10	0,06	0,06	0,16	0,04	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
Statistische verwerking																			
Aantal		11			10			11			8			11			9		
Beta	β	1,81			1,83			1,81			1,89			1,81			1,86		
Stdev	σ	0,02	0,00	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
Gemiddeld	μ	0,17	0,10	0,40	0,06	0,05	0,12	0,05	0,05	0,12	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05
$V_{\text{max,stat}}$		0,20	0,10	0,53	0,11	0,12	0,15	0,10	0,07	0,20	0,05	0,06	0,09	0,06	0,12	0,14	0,05	0,05	0,07

Tabel 3 geeft een overzicht van de geregistreerde $V_{\text{eff,max}}$ -waarden van reizigerstreinen. Deze waren, met uitzondering van meetpunt 1 nabij het spoor, nauwelijks te herkennen in de trillingsregistraties. De twee maatgevende passages qua reizigerstreinen, per materieeltype één, zijn weergegeven in tabel 3. Vergelijk met tabel 2 met de goederentreinen laat zien dat het voor de trillingsprognoses volstaat om deze te baseren op de goederentreinen.

tabel 3: $V_{\text{eff,max}}$ en V_{max} reizigerstreinen

Treinpassage		Mp.1 Dijkgracht 13 m (VIB01187)			Mp.2 Dijkgracht 90 m (VIB00485)			Mp.3 Lijnbaan 65 m (VIB01045)			Mp.4 Lijnbaan 165 m (VIB00488)			Mp.5 VOC-kade 95 m (VIB01044)			Mp.6 VOC-kade 185 m (VIB01188)		
Type	Tijdstip	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
DD-VIRM 1x6	5/6 - 15:50	0,12	0,05	0,22	--	--	--	--	--	0,05	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sprinter 1x3	10/6 - 9:21	0,16	0,10	0,33	--	--	--	--	--	0,05	--	--	--	--	--	--	--	--	--
V_{max}		0,16	0,10	0,33	--	--	--	--	--	0,05	--	--	--	--	--	--	--	--	--

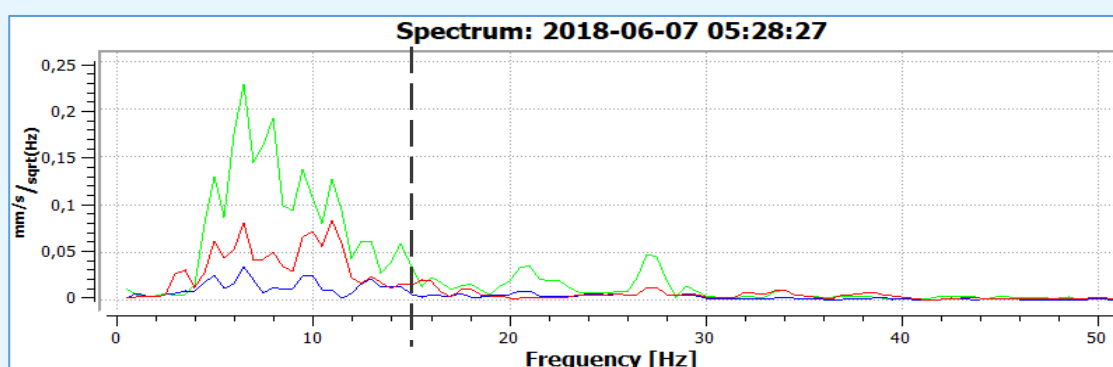
5.2 Nadere beschouwing

De $V_{\text{eff,max}}$ -waarden in tabel 2 en de daaruit volgende statistisch maximale waarde $V_{\text{max,stat}}$ laten zien dat goederentreinpassages op afstanden van 100 m of meer tot het spoor niet meer tot voelbare trillingen leiden in de bodem.

Dit betekent niet dat in een licht bouwwerk geen voelbare trillingen kunnen optreden, want binnen een bouwwerk kan trillingsversterking optreden, maar bij een voldoende zwaar en op palen gefundeerd bouwwerk met betonnen vloeren leidt dit in de regel niet tot overschrijding van de streefwaarden uit de SBR-B.

Op meetpunt 1, op 13 m afstand van het spoor aan de voet van de spoordijk, werd een maximale trillingssterkte van 0,55 gemeten. Op meetpunt 3 op 65 m afstand 0,16 en op meetpunt 2 op 90 m afstand nog 0,13. De bijhorende statistisch maximale waarden zijn 0,53/0,20/0,15.

De gemeten trillingsspectra op meetpunt 1 laten zien dat de treinen hoofdzakelijk trillingen opwekken in de bodem in het frequentiegebied van 0 - 15 Hz, zie het spectrum in figuur 3.



figuur 3: karakteristiek trillingsspectrum bodem - meetpunt 1, groen = verticaal, rood = horizontaal $\perp$ spoor

Op basis van de spectrale trillingsverdeling in de bodem en de gemeten trillingssterkten op de meetpunten is een prognosemodel opgezet waarvan de parameters zijn gefit op de meetwaarden. Op basis van dit model is vervolgens een prognose gemaakt van te verwachten trillingssterkten in gebouwen op deze kavels. In figuur 3 is te zien dat de verticale richting hierbij maatgevend is.

5.3 Overdracht bodem naar gebouw

Behalve de trillingssterkte op de kavel is voor de prognose nodig de te verwachten overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouwfundatie en naar verdere constructiedelen.

Om hierin meer inzicht te krijgen, is getracht dit te meten aan het enige nog enigszins representatieve bouwwerk op de kavel qua bouwhoogte en funderingswijze, het gebouw van INIT/De Persgroep. De gevel van dit gebouw staat echter al op een afstand van circa 110 m tot het spoor.

Ondanks de gebruikte zeer gevoelige trillingssensoren kon aan dit gebouw geen aan treinpassages toe te schrijven overdrachtsverzwakking worden vastgesteld, mede omdat overdag tussen 08.00 en 18.00 geen goederentreinen passeren. Het achtergrond trillingsniveau in en om het gebouw lag door activiteit in het gebouw al hoger dan de op deze afstand meetbare bijdragen van treinpassages.

Dit betekent dat hieruit geen aanvullende informatie kon worden verkregen over de overdracht van bodem naar gebouw. Voor een reële aanname van deze verzwakking wordt daarom gebruikgemaakt van door TNO opgestelde en door DGMR in haar adviespraktijk verder verfijnde vuistregels qua overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw en naar vloerconstructies.

6. Prognose

Op basis van de gemeten trillingssterkten op de kavels en de spectrale verdeling van het trillingssignaal is een empirisch rekenmodel opgezet. Hierin wordt de verzwakking in de bodem met toenemende afstand berekend volgens de daartoe gangbare formule van Barkan en wordt voor de verzwakking naar de gebouwfundatie uitgegaan van door TNO ontwikkelde overdrachtsfuncties. 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, afhankelijk van het vloertype. In de praktijk komt dit erop neer dat naar het vloermidden een versterking van een factor 1 tot 3 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.

In bijlage 2 zijn de prognoseberekeringen opgenomen voor twee typen bouwwijzen:

- Appartementen van 4 tot 8 bouwlagen.
- Laagbouw (eengezinswoningen) van 2 tot 4 bouwlagen.

Bijgevoegd zijn de prognoses voor een rooilijafstand van ongeveer 30 m tot het hart van het dichtstbijzijnde spoor en een prognose voor de minimum afstand waarbij zonder al te ingrijpende maatregelen kan worden voldaan aan de SBR-B.

De prognoses zijn gedaan voor de maatgevende verticale meetrichting. Tabel 4 geeft een overzicht van de te verwachten trillingssterkten in laagbouw en appartementencomplexen (4-8 bouwlagen), onder aanname dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van 15 Hz. Deze vloeren worden dan niet in opslinging gebracht tijdens treinpassages, zie figuur 3.

tabel 4: trillingsprognose laagbouw en appartementen, vloereigenfrequentie > 15 Hz

	Bouwlagen	Trillingssterkte	Afstand			
			30 m	45 m	60 m	75 m
Laagbouw	2-4	V _{max}	0,35-0,44	0,24-0,31	0,18-0,23	0,15-0,19
		V _{per}	0,01 - 0,02	~ 0,01	< 0,01	< 0,01
Appartementen	4-8	V _{max}	0,22-0,27	0,15-0,19	0,11-0,14	0,09-0,12
		V _{per}	0,01 - 0,02	~ 0,01	< 0,01	< 0,01

Uit tabel 4 blijkt dat er, mits er stijve vloeren worden toegepast, in laagbouw op een afstand van 75 m tot het spoor kan worden voldaan aan de SBR-B (trillingseis nachtperiode). In appartementencomplexen wordt voldaan op circa 45 m afstand.

Als wat minder streng met de invloed van zware goederentreinen wordt omgegaan en bijvoorbeeld 1 à 2 licht voelbare passages per week worden geaccepteerd, dan zou voor laagbouw op een afstand van 60 m worden voldaan en in appartementencomplexen op ongeveer 35 m.

De vloerconstructie heeft aanmerkelijke invloed op de te verwachten trillingssterkten. Indien de laagste vloereigenfrequentie samenvalt met het dominante frequentiegebied in het treinspectrum, van 6 tot 10 Hz, dan zouden vloertrillingen 50% hoger kunnen uitvallen en bedraagt de minimum afstand voor laagbouw al gauw 95 m en voor appartementen 65 m. Bij acceptatie van 1 à 2 licht voelbare goederentreinen per week, worden deze afstanden dan 80 m en 55 m.

In de prognoses is rekening gehouden met zo reëel mogelijke maar conservatieve aannames qua overdrachtsverzwakkingen binnen gebouwen. Met bewust construeren is het mogelijk de gevoeligheid voor trillingen verder te verlagen en dichter bij het spoor te bouwen. Dit moet dan wel één van de uitgangspunten zijn in het ontwerpproces.

7. Conclusies en aanbevelingen

Trillingsmetingen op de kavels Dijksgracht, Lijnbaan en VOC-kade laten zien dat in de bodem alleen de zware ertstreinen richting Amsterdam Centraal tot aanmerkelijke trillingen in de bodem leiden. Trillingssterkten door reizigerstreinen liggen op circa 30 m afstand uit het spoor al op of onder de voelbaarheidsgrens en zullen bij bebouwing (met paalfundering) niet tot overschrijding van de streefwaarden uit de SBR-B leiden.

De ertstreinen wekken trillingen op met een effectieve trillingssterkte $V_{\max}$ tot circa 0,55 aan de voet van de spoordijk (13 m afstand van spoor). Op ongeveer 95 m afstand is de trillingssterkte afgenomen tot onder de voelbaarheidsgrens van 0,1.

Als trillingen door goederentreinen nimmer tot overschrijding van de streefwaarden uit de SBR-B mogen leiden, dan is voor laagbouw op palen (eengezinswoningen) een afstand van ongeveer 75 m tot het spoor aan te houden en voor het zwaardere appartementenbouw (4 tot 8 bouwlagen) ongeveer 45 m. Uitgangspunt hierbij is dat relatief stijve vloerconstructies worden toegepast met een laagste eigenfrequentie van 15 Hz om opslinging van de vloeren tijdens goedrentreinpassages te voorkomen. Als de laagste (buig)eigenfrequentie van vloeren in het frequentiegebied van 6 tot 10 Hz komt te liggen, dan is met enige trillingsversterking rekening te houden en zouden vloertrillingen globaal 50% hoger kunnen uitvallen. Indien als uitgangspunt wordt genomen dat 1 à 2 licht voelbare treinpassages per week toelaatbaar zijn, dan worden hinderafstanden tot het spoor kleiner. In tabel 5 zijn de minimale afstanden tot het spoor, om hinder te voorkomen, aangegeven.

tabel 5: minimale afstanden bebouwing tot spoor, om te voldoen aan SBR-B

Gebouw			Minimale afstand [m]	
Type	Bouwlagen	Vloertype	Geen overschrijding SBR-B	1 à 2 overschrijdingen per week toelaatbaar
Laagbouw	2-4	Stijf, $f_0 > 15$ Hz	75	60
		Middel, $f_0 > 5-10$ Hz	95	80
Appartementen	4-8	Stijf, $f_0 > 15$ Hz	45	35
		Middel, $f_0 > 5-10$ Hz	65	55

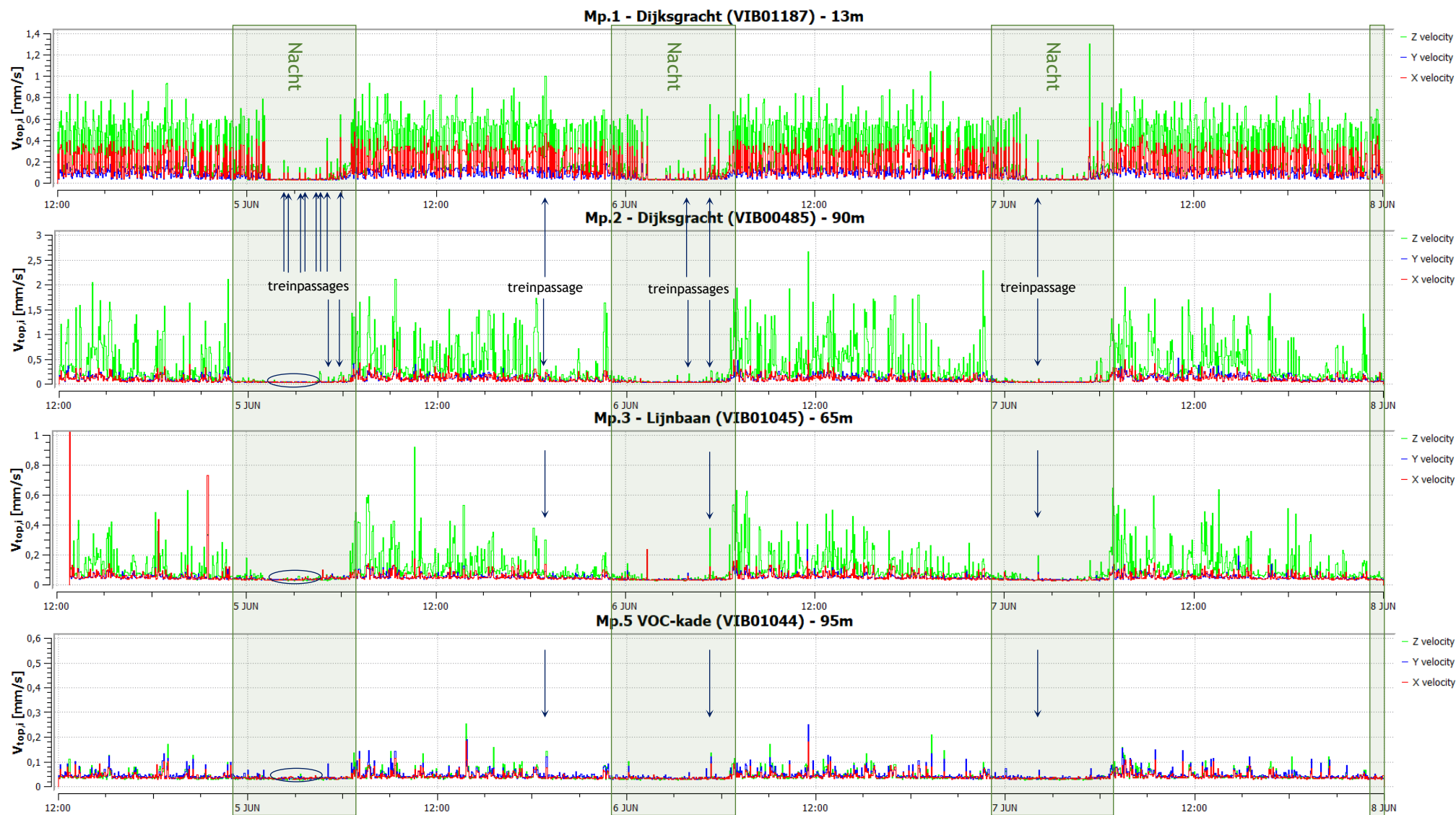
Met een bewust trillingsarm ontwerp is het mogelijk om op nog kleinere afstand tot het spoor te bouwen. Dit zal dan tot speerpunt van het ontwerp gemaakt moeten worden. Dit houdt onder meer in dat constructies op dit aspect modelmatig doorgerekend moeten worden en zo nodig moeten worden beproefd.

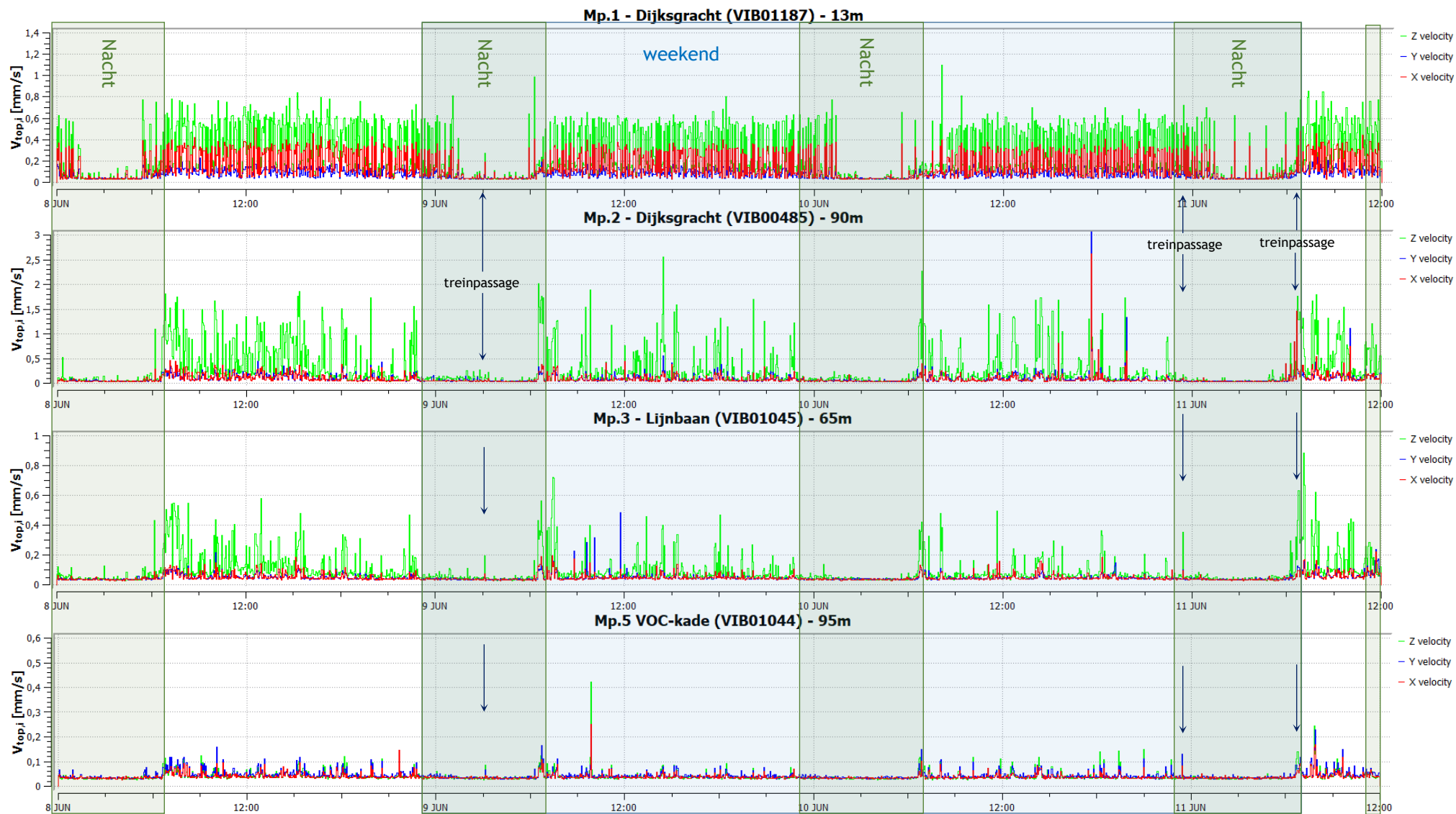


ing. A.W.N. (Antwan) van Haaren
DGMR-Bouw B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistratie V_{top}
Omvang	2





Bijlage 2

Titel	Trillingsprognose Nieuwbouw
Omvang	2 x 2
Omvang	Appartementen en laagbouw (eengezinswoningen)

Trillingsprognose railverkeer																												
project	Stadswerf Oostenburg				bronspectrum				Bodem								passages per uur				1				(met $v_{eff} > 0,1$ mm/s)			
gebouwtype	Appartementen				vormfactor C_F				0,45				(verhouding v_{rms}/V_{top})				peiljaar				2018							
gebouwafstand (tot spoor)	30 m																rijksnelheid				60				km/u			
																	referentie snelheid				60				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	250	som		
bronspectrum (rms, gem)			73	66	65	80	87	102	107	105	96	90	91	96	82	83	78	75	74	73						112		
spreiding			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3								
bronspectrum (rms, max)			76	69	68	83	90	105	110	110	108	99	93	94	99	85	86	81	78	77	76					115		
snelheidscorrectie																												
afstandscorrectie			-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,2	-5,6	-6,1	-6,7	-7,5	-8,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5							
L_v [dB]			71	64	63	78	85	100	105	104	102	93	87	87	91	77	77	71	69	68	66					110		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,10	0,19	0,17	0,13	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00					0,31		
																			V_{top}							0,68		
SBR-A / Gebouwschade																												
Stijf punt fundatie	gebouwtype:				utiliteitsbouw (4 tot 8 bouwlagen)										of appartementen													
$H_{v,1}$ [dB]			-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0							
L_v [dB]			65	58	57	72	79	94	99	98	96	87	80	80	83	67	65	57	55	54	52					104		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,09	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,15		
																				V_{top}						0,34		
SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})																												
Begane grond	vloertype:				vloertype 3				$(f_o = 10-20\text{ Hz})$				trillingtype:				continu				reductiefactor:				1			
$H_{v,vloer}$			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			65	58	58	73	80	97	103	104	103	94	88	88	90	74	71	62	59	58	55					109		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,14	0,15	0,14	0,05	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,27		
																				V_{top}						0,60		
2e verdieping	vloertype:				vloertype 3				$(f_o = 10-20\text{ Hz})$																			
$H_{v,2}$ [dB]			0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	1,5	1,9	0,9	0,0	-0,8	-1,6	-2,4	-3,1	-3,9	-4,7	-5,4	-6,2	-7,0	-7,7							
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			65	58	58	74	81	98	105	104	103	93	87	85	87	70	67	57	53	51	48					109		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,17	0,17	0,14	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,30		
																				V_{top}						0,66		
5e verdieping	vloertype:				vloertype 3				$(f_o = 10-20\text{ Hz})$																			
$H_{v,2}$ [dB]			0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	3,8	1,8	-0,1	-1,6	-3,2	-4,7	-6,2	-7,8	-9,4	-10,9	-12,4	-14,0	-15,4							
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			65	59	59	75	82	100	107	105	103	93	85	83	84	66	62	52	47	43	40					111		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,22	0,18	0,14	0,04	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,34		
																				V_{top}						0,75		
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						
L_v [dB]			54	49	50	67	76	93	100	102	102	93	88	87	90	74	71	62	59	57	55					107		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	0,12	0,12	0,05	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,22		
																				V_{per}^*						0,014		
2e verdieping																												
L_v [dB]			54	49	51	68	77	95	102	103	102	93	86	85	87	70	66	57	53	50	48					108		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,13	0,14	0,12	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,24		
																				V_{per}^*						0,015		
5e verdieping																												
L_v [dB]			54	49	51	69	78	96	104	104	102	92	85	83	83	66	62	52	47	43	40					108		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,16	0,15	0,12	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,27		
																				V_{per}^*						0,017		
* geldend voor de beschouwde treinpassages																												

Trillingsprognose appartementen 4-8 bouwlagen

Afstand = 30m

Trillingsprognose railverkeer																												
project	Stadswerf Oostenburg				bronspectrum				Bodem								passages per uur				1				(met $v_{eff} > 0,1$ mm/s)			
gebouwtype	Appartementen				vormfactor C_F				0,45				(verhouding v_{rms}/V_{top})				peiljaar				2018							
gebouwafstand (tot spoor)	45 m								referentieafstand				13 m								rijksnelheid				60 km/u			
																					referentie snelheid				60 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	250	som		
bronspectrum (rms, gem)			73	66	65	80	87	102	107	107	105	96	90	91	96	82	83	78	75	74	73					112		
spreadinq			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
bronspectrum (rms, max)			76	69	68	83	90	105	110	110	108	99	93	94	99	85	86	81	78	77	76					115		
snelheidscorrectie																												
afstandscorrectie			-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,3	-9,0	-10,0	-11,2	-12,7	-14,6	-16,5	-16,5	-16,5	-16,4	-16,4							
L_v [dB]			68	61	60	75	82	97	102	101	99	90	83	83	86	71	70	64	62	61	59					107		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,13	0,12	0,09	0,03	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,22		
																				V_{top}						0,48		
SBR-A / Gebouwschade																												
Stijf punt fundatie	gebouwtype:				utiliteitsbouw (4 tot 8 bouwlagen)										of appartementen													
$H_{v,1}$ [dB]			-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0							
L_v [dB]			62	55	54	69	75	91	96	95	93	83	76	76	78	61	58	50	48	47	45					101		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,07	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,11		
																				V_{top}						0,24		
SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})																												
Begane grond	vloertype:				vloertype 3				(fo = 10-20 Hz)				trillingtype:				continu				reductiefactor:				1			
$H_{v,vloer}$			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			62	55	55	70	77	94	100	100	100	91	84	83	85	68	64	55	52	51	48					105		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	0,11	0,10	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,19		
																				V_{top}						0,42		
2e verdieping	vloertype:				vloertype 3				(fo = 10-20 Hz)																			
$H_{v,2}$ [dB]			0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	1,5	1,9	0,9	0,0	-0,8	-1,6	-2,4	-3,1	-3,9	-4,7	-5,4	-6,2	-7,0	-7,7							
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			62	55	55	71	78	95	102	101	100	90	83	81	82	64	60	50	46	44	41					106		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,12	0,12	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,21		
																				V_{top}						0,46		
5e verdieping	vloertype:				vloertype 3				(fo = 10-20 Hz)																			
$H_{v,2}$ [dB]			0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	3,8	1,8	-0,1	-1,6	-3,2	-4,7	-6,2	-7,8	-9,4	-10,9	-12,4	-14,0	-15,4							
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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							
L_v [dB]			62	56	56	72	79	97	104	102	100	89	81	78	79	60	55	45	40	37	33					107		
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,15	0,13	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,24		
																				V_{top}						0,52		
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						
L_v [dB]			51	46	47	64	73	90	97	99	99	90	84	83	85	68	64	55	52	51	48					104		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,09	0,09	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,15		
																				V_{per}^*						0,010		
2e verdieping																												
L_v [dB]			51	46	48	65	74	92	99	100	99	89	82	80	81	64	59	50	46	44	41					104		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09	0,10	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,17		
																				V_{per}^*						0,011		
5e verdieping																												
L_v [dB]			51	46	48	65	75	93	101	101	99	88	81	78	78	60	55	45	40	37	33					105		
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,11	0,11	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,19		
																				V_{per}^*						0,012		
* geldend voor de beschouwde treinpassages																												

Trillingsprognose appartementen 4-8 bouwlagen

Afstand = 45m

Trillingsprognose railverkeer																																
project	Stadswerf Oostenburg				bronspectrum				Bodem								passages per uur				1				(met $v_{eff} > 0,1$ mm/s)							
gebouwtype	Laagbouw woningen				vormfactor C_F				0,45				(verhouding v_{rms}/V_{top})				peiljaar				2018											
gebouwafstand (tot spoor)	75 m								referentieafstand				13 m								rijksnelheid				60				km/u			
																					referentie snelheid				60				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	250	som						
bronspectrum (rms, gem)			73	66	65	80	87	102	107	107	105	96	90	91	96	82	83	78	75	74	73					112						
spreiding			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											
bronspectrum (rms, max)			76	69	68	83	90	105	110	110	108	99	93	94	99	85	86	81	78	77	76					115						
snelheidscorrectie																																
afstandscorrectie			-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,5	-13,8	-15,6	-17,7	-20,3	-23,6	-27,1	-27,1	-27,0	-27,0	-26,9											
L_v [dB]			64	56	56	71	77	93	98	97	95	85	78	77	78	62	59	54	51	50	49					102						
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,07	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,13						
																				V_{top}						0,30						
SBR-A / Gebouwschade																																
Stijf punt fundatie	gebouwtype: laagbouw op palen (samenwerking)																															
$H_{v,1}$ [dB]			-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2,4	-3,1	-3,9	-5,0	-6,6	-8,9	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4											
L_v [dB]			62	54	54	69	75	91	96	95	93	82	75	73	73	55	50	41	39	38	36					101						
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,07	0,06	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,11						
																				V_{top}						0,24						
SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})																																
Begane grond	vloertype: vloertype 3 ($f_o = 10\text{-}20\text{ Hz}$)															trillingtype: continu					reductiefactor: 1											
$H_{v,vloer}$			0,4	0,6	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											
L_v [dB]			62	55	55	70	77	94	100	100	100	90	83	80	80	61	56	46	43	42	40					105						
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	0,11	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,18						
																				V_{top}						0,41						
1e verdieping	vloertype: vloertype 3 ($f_o = 10\text{-}20\text{ Hz}$)																															
$H_{v,3}$ [dB]			0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,4	2,0	2,0	0,1	-0,2	-0,7	-1,1	-1,5	-2,0	-2,5	-2,9	-3,4	-3,8	-4,3											
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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											
L_v [dB]			62	55	55	71	78	95	102	102	100	90	82	79	79	59	53	44	40	38	35					107						
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,12	0,13	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,22						
																				V_{top}						0,48						
2e verdieping	vloertype: vloertype 3 ($f_o = 10\text{-}20\text{ Hz}$)																															
$H_{v,3}$ [dB]			0,2	0,3	0,5	0,8	1,3	2,1	3,0	3,0	0,2	-0,3	-1,0	-1,7	-2,3	-3,0	-3,7	-4,4	-5,0	-5,7	-6,4											
$H_{v,vloer}$ [dB]			0,4	0,6	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											
L_v [dB]			62	55	56	71	79	96	103	103	100	90	82	79	78	58	52	42	38	36	33					108						
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,14	0,15	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,24						
																				V_{top}						0,53						
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										
L_v [dB]			51	46	47	64	73	90	97	99	99	89	82	80	80	61	56	46	43	42	40					103						
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,09	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,15						
																				V_{per}^*						0,010						
1e verdieping																																
L_v [dB]			51	46	48	65	73	91	99	101	99	89	81	79	79	59	53	44	40	38	35					105						
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09	0,11	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,17						
																				V_{per}^*						0,011						
2e verdieping																																
L_v [dB]			51	46	48	65	74	92	100	102	99	89	81	78	78	58	52	42	38	36	33					106						
$v_{eff,max}$ [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,10	0,12	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,19						
* geldend voor de beschouwde treinpassages																				V_{per}^*							0,012					

Trillingsprognose laagbouw (eengezinswoningen) 2-4 bouwlagen

Afstand = 75m