

Verlenging tramlijn 26, IJburg

Trillingsonderzoek verlenging tracé IJtram op de Pampuslaan te IJburg

Status	definitief
Versie	002
Rapport	M.2019.1161.01.R001
Datum	9 januari 2020



Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam Postbus 2602 1000 CP AMSTERDAM
Contactpersoon opdrachtgever	Mevrouw L. Kint
Project Betreft Uw kenmerk	IB Amsterdam Uitbreiding Tramlijn IJburg Trillingsonderzoek IJtram -
Rapport Datum Versie Status	M.2019.1161.01.R001 9 januari 2020 002 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Auteur	ing. J.J. (Jesse) Bijl 088 346 76 39 jby@dgmr.nl
Projectadviseur	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE OZU

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
3. Toetsingskader	6
4. Metingen	7
4.1 Meetpunten	7
4.2 Meetapparatuur	8
4.3 Meetomstandigheden	8
4.4 Verwerking metingen, tijdregistraties	8
4.5 Verwerking metingen, overdracht bodem-gebouw	8
5. Meetresultaten	9
5.1 Overdracht bodem-gebouw	10
5.2 Gekoppelde voertuigen	11
6. Prognose	12
6.1 Methode	12
6.2 Vloerveldversterking	12
6.3 Invloed ligging van de trambaan	12
6.4 Prognose	12
7. Conclusies	13

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties meetlijn 2
Bijlage 2	Gemeten trillingsspectra en overdrachten trampassages
Bijlage 3	Prognoseblad
Bijlage 4	Trillingsniveaus per passage

1. Inleiding

Om de groeiende vraag naar openbaar vervoer aan te kunnen gaan gaat de trambaan op IJburg verlengd worden. Dit betreft een verlenging op de Pampuslaan in noordoostelijke richting voorbij halte IJburg. Naast het onderzoek voor de verlenging is eveneens gekeken naar het effect van trillingen indien besloten wordt om met gekoppelde trams te gaan rijden.

Het ingenieursbureau van gemeente Amsterdam heeft aan DGMR gevraagd om vast te stellen wat het doortrekken van de trambaan voor invloed heeft op de omgeving en om te onderzoeken wat de invloed is van het rijden met gekoppelde trams. Hierbij is gekeken naar het effect op voor de mens voelbare trillingen. Een mogelijk effect door laagfrequent contactgeluid als gevolg van trillingen door de bodem is niet verder onderzocht.

Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's zijn in november 2019 trillingsmetingen gedaan op drie verschillende plekken langs de bestaande trambaan op de IJburglaan. Tevens zijn er ook trillingsopnemers aan de gevels van omliggende gebouwen/appartementen gemonteerd om inzicht te krijgen in de overdracht van bodem naar gebouwfundaties. De trillingsmetingen en de overdrachtsmetingen zijn verwerkt tot een advies over de uitbreidingen voor de trams in IJburg.

2. Situatie

Voor het reizigersvervoer van en naar IJburg ligt er een tramlijn en rijden er bussen. De tramlijn gaat van Amsterdam centraal station via de IJburglaan naar IJburg. Na halte IJburg rijdt de tram links om het gebouwencluster met o.a. sporthal IJburg om via de Eva Besnyöstraat en Julius Pergerlaan weer terug te keren op de IJburglaan en verder te rijden naar het centraal station, zie figuur 1.



figuur 1: ligging trambaan op de IJburglaan (geel) met eindhalte IJburg en de meetlijnen (rood) bron: Google Maps

Op dit moment wordt er gereden met light-rail voertuigen van het type Combino en rijdt de tram op het drukste moment met een frequentie van circa 15x per uur. Het plan is om de trambaan voorbij de halte IJburg door te trekken over de Pampuslaan richting de Muiderlaan. Op de Pampuslaan is tussen de rijbanen al ruimte gereserveerd voor de trambaan.

Naast het doortrekken van de tramlijn bestaan er ook plannen om te gaan rijden met gekoppelde trams, dit om de capaciteit van de trambaan te vergroten.

3. Toetsingskader

Voor de bouw gelegen aan de IJburglaan en Pampuslaan 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)

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Nieuwe situaties						
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
Bestaande situaties						
Wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Onderwijs en kantoor	0,3	1,2	0,14	0,3	1,2	0,14

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 trambaan of een nieuwe trambaan nabij bestaande woningen 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 komt de toetsing van de V_{per} te vervallen.

4. Metingen

Voor een representatief onderzoek is er op drie locaties (meetlijnen) verdeeld over het tramtracé gemeten. In de paragrafen 4.1 t/m 4.5 wordt ingegaan op de meetopzet, de gebruikte meetapparatuur, de omstandigheden en de verwerking.

4.1 Meetpunten

Het onderzoek is uitgevoerd op drie meetlijnen, zoals te zien in figuur 2 t/m figuur 4 en hieronder beschreven en gemotiveerd:

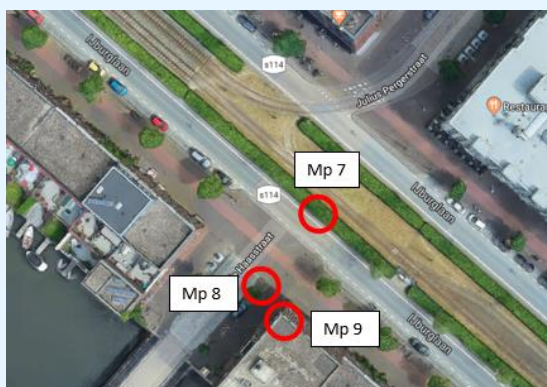
- Meetlijn 1: bij de brug gelegen tussen de Daguerrestraat en de Talbotstraat. Bij het verlengen van de trambaan zal deze eveneens over een (toekomstige) brug en een duiker gaan, met mogelijk risico op toename van trillingen ter plaatse van de overgang van bodem naar brug/duiker.
- Meetlijn 2: deze locatie ligt tussen twee haltes in en hier rijden trams met relatief hoge snelheid. Het spoor betreft hier vignoleraail op betonnen dwarsliggers in ballastbed.
- Meetlijn 3: de trams rijden hier met een lus om het gebouwencluster van sporthal IJburg heen om terug te keren op de IJburglaan, maar dan in tegengestelde richting. Er bestaat een risico dat de tram in de bocht meer trillingen opwekt dan op het rechte stuk. Op de IJburglaan rijdt de tram over ballastspoor, maar ter plaatse van het kruispunt is het spoor opgenomen in beton. Ook deze overgang in spoorconstructie kan van invloed zijn op trillingen.



figuur 2: locaties meetlijn 1 bij de brug



figuur 3: locaties meetlijn 2 bij het rechte spoor



figuur 4: locaties meetlijn 3 bij de boog en wissel

Voor de trillingsprognose van de nieuwe situatie is het van belang om de trillingsoverdracht van bodem naar gebouw te kennen. Daarom bestaat iedere meetlijn uit een bodemmeetpunt nabij het spoor, een bodemmeetpunt nabij het gebouw en een meetpunt aan de gevel/fundatie.

De trillingsopnemers nabij de trambaan (Mp1, Mp4 en Mp7) zijn geplaatst op een stoeprand op 3 m afstand van het hart van het spoor. De bodemmeetpunten nabij gebouwen (Mp2, Mp5 en Mp8) zijn met een SBR-meettafeltje op een goede vastliggende stoeptegel geplaatst. De gebouwmeetpunten zijn óf laag aan de gevel gemonteerd óf indien mogelijk rechtstreeks op een stijf element van de draagconstructie geplaatst. De meetpunten Mp3 en Mp6 zijn aan de gevel/fundatie bevestigd, Mp9 is daarentegen geplaatst op de betonvloer van het complex nabij een draagkolom.

De afstand van de gevels van de woningen/gebouwen tot de trambaan is overal ongeveer gelijk.

4.2 Meetapparatuur

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte meetsystemen. Hierbij zijn de meetpunten zo georganiseerd dat binnen een meetlijn de meetpositie begint bij de tram en dan naar de fundatie toe gaat.

tabel 2: meetsystemen

Meetpunt	Meetlijn	Locatie	Meetsysteem	DGMR nummer	Serienummer
Mp1	1	Bodem 3m van spoor	Syscom MR2000	AH0082	1005310
Mp2		Bodem nabij pand	Syscom MR2000	AH0054	4436096
Mp3		Fundatie	Syscom MR2000	AH0051	10220848
Mp4	2	Spoor	Vibra-sbr	AH0073	00488
Mp5		Bodem	Vibra-sbr	AH0071	00485
Mp6		Fundatie	Vibra-sbr	AH0084	00587
Mp7	3	Spoor	Vibra-sbr	AH0083	00588
Mp8		Bodem	Semex-Engcon Menhir	AH0152	19181112
Mp9		Fundatie	Semex-Engcon Menhir	AH0153	19181113

4.3 Meetomstandigheden

De metingen zijn uitgevoerd in de nacht van 5 op 6 november 2019. Vanaf 20.00 's avonds t/m 00.30 zijn trams in de reguliere dienstregeling gemeten. In deze nacht zijn er geen afwijkingen geconstateerd in de bedrijfsvoering op het spoor. Trams reden met gebruikelijke snelheden. Na de normale dienstregeling werden enkele passages met gekoppelde voertuigen uitgevoerd. In de totale meetperiode zijn tenminste 30 reguliere trams en 3 gekoppelde trams in beide richtingen gepasseerd. Tijdens de metingen lag de temperatuur tussen 8 en 10°C. Voorafgaand en tijdens het begin van de metingen viel er regen. Na middernacht klaarde het weer op.

4.4 Verwerking metingen, tijdregistraties

De meetwaarden van de meetsystemen per meetlijn zijn onderling vergeleken ter identificatie van trampassages en voor check op verstoringen. Daarbij zijn ook beelden van de twee time-lapse camera's (meetlijn 1&3) en de gegevens uit een logboek (meetlijn 2) gebruikt. Van trampassages, die vrij zijn van verstoring, zijn de bijbehorende spectrale gegevens geselecteerd voor analyse.

4.5 Verwerking metingen, overdracht bodem-gebouw

Voor het bepalen van de overdracht van bodem naar gebouw zijn 10 trampassages uit het trillingssignaal de daarbij behorende trillingsspectra bepaald. Van de passages met gekoppelde trams is elke passage die vrij is van verstoring gebruikt. Van deze data is gekeken naar het deel van het spectrum waarin een trampassage voldoende trillingsverhoging geeft, ofwel een signaal/ruisverhouding van voldoende kwaliteit heeft. Alleen over dit betrouwbare deel van het trillingsspectrum zijn overdrachten bepaald. Deze overdrachten zijn gebruikt in de prognoses, zie hoofdstuk 6.

5. Meetresultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van trampassages en eventuele verstoringen van meetlijn 2. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} , die zoals in paragraaf 4.4 is omschreven, vanwege de grotere trillingsuitslag dan de V_{eff} , wordt gebruikt voor identificatie van de trampassages. Uit de registraties zijn vervolgens tien trampassages geselecteerd en deze passages zijn verwerkt. Van de passages met gekoppelde trams zijn alle passages gebruikt, behalve die met verstoring (bijvoorbeeld een bus die gelijktijdig passeert). Ditzelfde is ook gedaan voor meetlijn 1&3. De resultaten hiervan zijn te vinden in dit hoofdstuk.

tabel 3: gemiddeld trilniveau per meetpunt. $V_{eff,max}$ [mm/s] / dB [ref. 1e-6 mm/s]

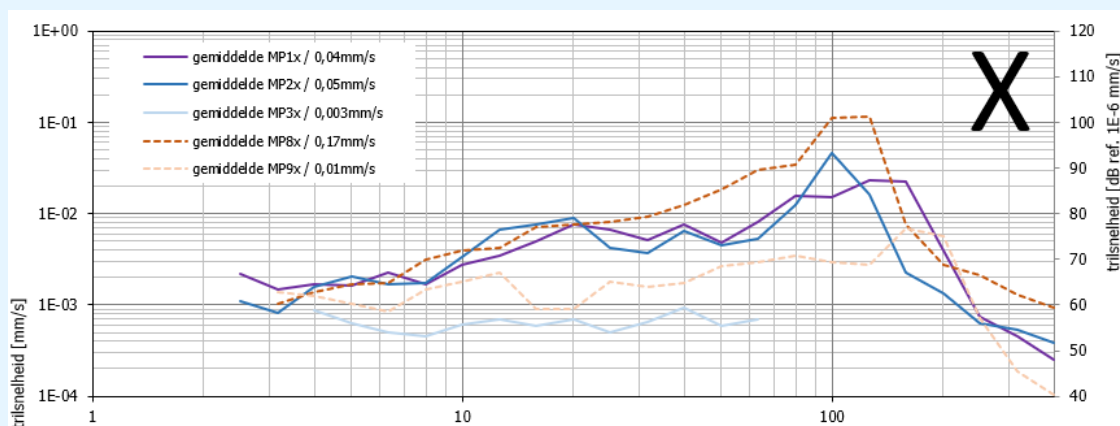
Meetpunt	Meetlijn	Locatie	X ($\perp$ trambaan)	Y ($//$ trambaan)	Z (verticaal)
1	1	Bodem nabij trambaan	0,06 / 96	0,04 / 92	0,05 / 94
2		Bodem nabij pand	0,07 / 97	0,05 / 94	0,04 / 92
3		Fundatie gebouw	<0,01 / 80	<0,01 / <80	<0,02 / <86
4	2	Bodem nabij trambaan	0,09 / 99	0,08 / 98	0,10 / 100
5		Bodem nabij pand	0,04 / 92	0,03 / 90	0,03 / 90
6		Fundatie gebouw	0,02 / 86	0,02 / 86	0,03 / 90
7	3	Bodem nabij trambaan	0,49 / 114	0,26 / 108	0,27 / 109
8		Bodem nabij pand	0,25 / 108	0,24 / 108	0,12 / 102
9		Fundatie gebouw	0,02 / 86	<0,02 / <86	0,02 / 86

Uit tabel 3 zijn de volgende conclusies te trekken:

- De X-richting (loodrecht op de trambaan) is de maatgevende richting. Daarnaast is te zien dat de trillingsniveaus op het meetpunt aan de gevel/fundatie bij alle drie de meetlocaties alweer gedaald zijn tot om en nabij het achtergrondniveau van 0,02 mm/s.
- De zeer lage trillingsniveaus bij meetlijn 2 (Mp 4, 5 en 6), waar de tram op hoge snelheid rijdt, geeft aan dat de spoorbaan en de wielen van voertuigen in goede conditie zijn. Bij de metingen is geconstateerd dat de tram over de baan heen ‘zoekt’. Doordat de baan behoorlijk nieuw is, er netjes bij ligt (onderhoud) en de onderstellen van de trams goed onderhouden zijn geeft dit een enorm voordeel qua productie van trillingen in de spoorstaaf en het wiel.
- De invloed van de brug (meetlijn 1) is niet zichtbaar in de meetdata. De trillingsniveaus liggen op hetzelfde niveau als bij meetlijn 2, waar geen bijzonderheden zijn in het spoor. Dit komt waarschijnlijk doordat het spoor in ballastbed ligt. De dwarsliggers zijn niet verbonden met de brug en de tram ervaart geen overgang van bodem naar brug. Geconcludeerd wordt dat een brug/duiker bij ballastspoor geen verhoging van de trillingsniveaus geeft.
- Mp 7 laat ten opzichte van Mp 4 (meetpunten nabij trambaan op meetlijn 2 en 3) een verhoging zien van 0,09 naar 0,49 mm/s (horizontaal). Dit komt doordat het spoor op meetlijn 3 in beton is gestort in plaats van dat het op een ballastbed ligt. Dat deze hoge niveaus in de bodem op meetlijn 3 niet overdragen naar het gebouw komt vooral doordat er geen directe koppeling tussen het in beton gegoten spoor en het gebouw aanwezig is.

Spectrale niveaus

In figuur 5 zijn de gemeten trillingsspectra in de bodem in verticale richting (Z) weergegeven. De overeenkomstige figuren voor de Y- en Z-richting zijn te vinden in bijlage 2. Figuur 5 laat zien dat de maatgevende frequentiebanden (tertsbanden) vrij hoog liggen, namelijk van 63 Hz t/m 160 Hz. Voor de omliggende bebouwing is dit gunstig omdat bij hogere frequenties een grotere overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw optreedt.

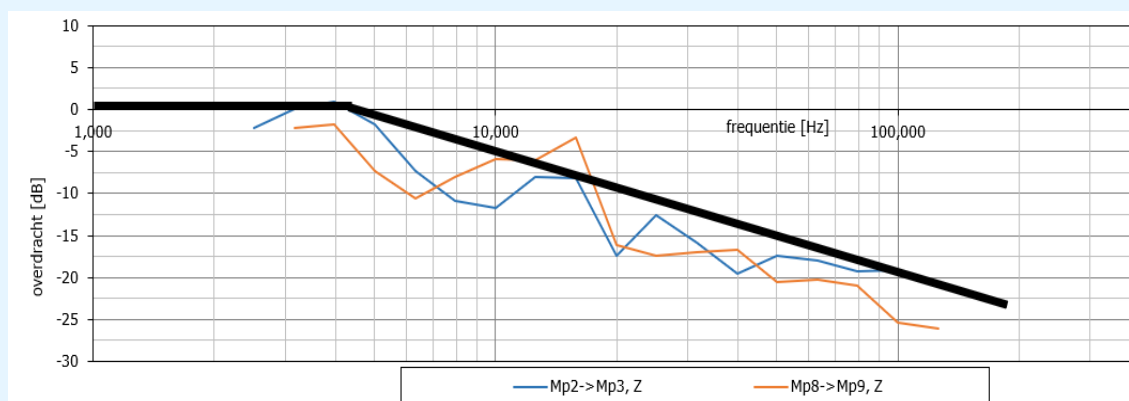


figuur 5: spectrale trillingsniveaus. Gemiddelde van circa 13 trams.

Van een aantal passages is geprobeerd de trillingsniveaus te achterhalen wanneer de tram door de boog/bocht gaat. De gemeten niveaus op het moment van rijden door de bocht zijn echter niet hoger dan het achtergrondniveau. Dit komt met name doordat de tram met lage snelheid door de bocht rijdt. De snelheidsbeperking komt doordat de trambestuurder voorrang moet verlenen aan het verkeer dat van links komt. De invloed van de bocht wordt verder als niet relevant beschouwd.

5.1 Overdracht bodem-gebouw

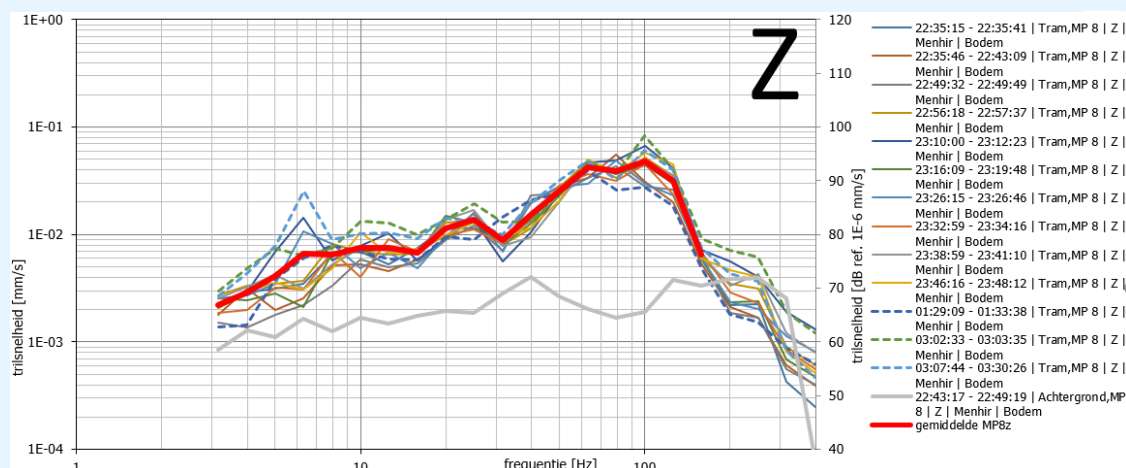
In figuur 6 is de overdracht van bodem naar gebouw te zien (zie bijlage 2 voor de horizontale richting). Deze is bepaald aan de hand van gemeten trampassages bij meetlijn 1 en 3. Te zien is dat bij maatgevende frequenties van 63 Hz t/m 160 Hz er al een demping optreedt van meer dan 15 dB (factor 5,5). Door deze forse verzwakking zakt het niveau op de gebouwfundatie tot nabij het achtergrondniveau.



figuur 6: overdracht bodem-gebouw, verticale richting

5.2 Gekoppelde voertuigen

In figuur 7 is te zien dat rijden met gekoppelde trams (bijna) geen verhoging van trillingsniveaus geeft, afgezet tegen de bundel van trillingsspectra gemeten tijdens de passages met enkele tramstellen. Wel is te zien dat er meer spreiding zit tussen de passages van de gekoppelde trams dan bij enkele trams. Incidenteel kan een gekoppelde tram iets hogere niveaus opwekken dan een enkele tram, maar er is geen duidelijk patroon.



figuur 7: verticale trillingsniveaus Mp8 (meetlijn 3) met in gestippelde lijn de gekoppelde trams

6. Prognose

6.1 Methode

Op basis van de gemeten trillingssterkten aan de fundatie en de spectrale verdeling van het trillingssignaal is een empirisch prognosemodel opgezet.

De wijk IJburg is een nieuwbouwwijk. Aangenomen wordt dat de funderingen van appartementen nabij de meetlijnen ongeveer hetzelfde zijn als in het wijkdeel waar de trambaan na verlenging doorheen gaat. Omdat ook de afstand van de bebouwing tot het spoor per locatie slechts een paar meter verschilt, kan in dat geval het gemeten trillingsniveau aan de fundatie genomen worden als basis voor de prognoseberekningen. Dit niveau op fundatie hoeft dan alleen marginaal gecorrigeerd te worden voor de ligging van de trambaan en eventuele invloeden van brug/duiker.

6.2 Vloerveldversterking

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 tramspectrum.

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

6.3 Invloed ligging van de trambaan

Hoofdstuk 5 laat zien dat als de trambaan is ingegoten in beton, dit leidt tot hogere trillingsniveaus in de bodem, maar dat door de hoge overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw dit nauwelijks tot uitdrukking komt in gemeten trillingssterkten aan de gevel/fundatie. De niveaus aan de gevel zijn op meetlijn 3 vergelijkbaar met die van meetlijn 1 en 2. De constructie van de trambaan wordt in de prognose daarom niet meegenomen, behalve bij duikers en bruggen. Uit de gegevens van bijlage 4 en op basis van ervaring wordt uitgegaan van een factor 2 verhoging (toename van 6dB) bij duikers/bruggen, wanneer het spoor daar is ingegoten in beton.

6.4 Prognose

Voor de drie tot tien bouwlagen hoge appartementencomplexen op de Pampuslaan is een prognoseberekening opgesteld. Het resultaat daarvan is opgenomen in bijlage 3 en weergegeven in tabel 4. Deze prognose geldt voor de eerstelijns bebouwing op 20 meter afstand tot het spoor.

Daarnaast zijn de volgende aannames gedaan:

- Er wordt uitgegaan van het gemeten voertuigtype Combino.
- Er wordt uitgegaan van de huidige onderhoudstoestand.
- Bij bruggen/duikers wordt het spoor opgenomen in beton. In paragraaf 6.3 is deze situatie besproken en hiervoor wordt een 6 dB (factor 2) toename meegenomen in de prognose.

tabel 4: trillingsprognose ($V_{\max}/V_{\text{per}}$) bestaande tramlijn

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$ (V_{per})
Appartementencomplex op palen <i>overdracht o.b.v. meting IJburg</i>	3-10	Horizontaal	0,03 (<0,01)
		Verticaal	0,05 (<0,01)
Appartementencomplex op palen Spoor ingegoten in beton over duiker/brug	3-10	Horizontaal	0,06 (<0,01)
		Verticaal	0,10 (<0,01)

7. Conclusies

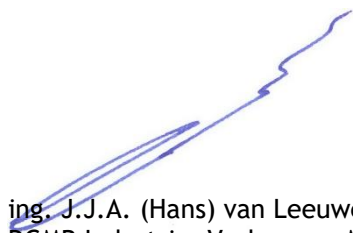
Trillingsmetingen aan de trambaan op drie locaties van de IJburglaan laten zien dat:

- Een spoorconstructie met groefrail in beton geeft een verhoging van ongeveer 18 dB (factor 8) in de bodem direct naast de trambaan, ten opzichte van vignoleraail in een ballastbed.
- Ter plaatse van bruggen/duikers geen noemenswaardige verhoging van trillingssterkten optreedt als het spoor is opgenomen in een ballastbed.
- Dubbele tramstellen ten opzichte van enkele trams geen noemenswaardige verhoging geven (op IJburg).
- Trams in de huidige situatie slechts een minimale verhoging van het trillingsniveau aan gebouwfundaties (IJburglaan) geven .

Op de Pampuslaan zijn de afstanden van de toekomstige trambaan tot gebouwgevels ongeveer gelijk als op de IJburglaan en ook bebouwingstype en funderingswijzen zijn vergelijkbaar.

Op basis hiervan is een prognosemodel opgesteld, dat uitgaat van gemeten trillingsniveaus (spectra) aan gebouwfundaties. Voor spoor opgenomen in beton, over bruggen/duikers, is een 6 dB toeslag toegepast.

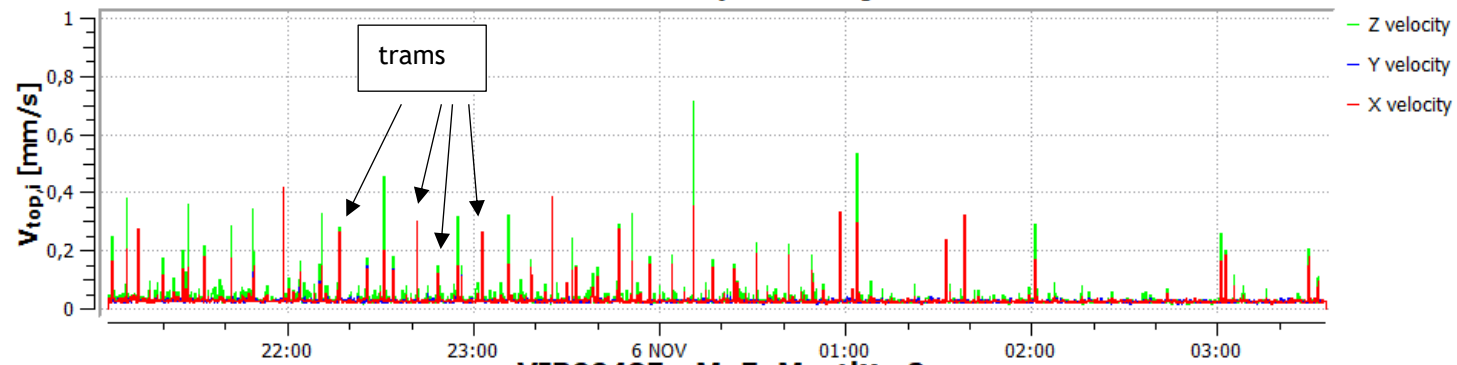
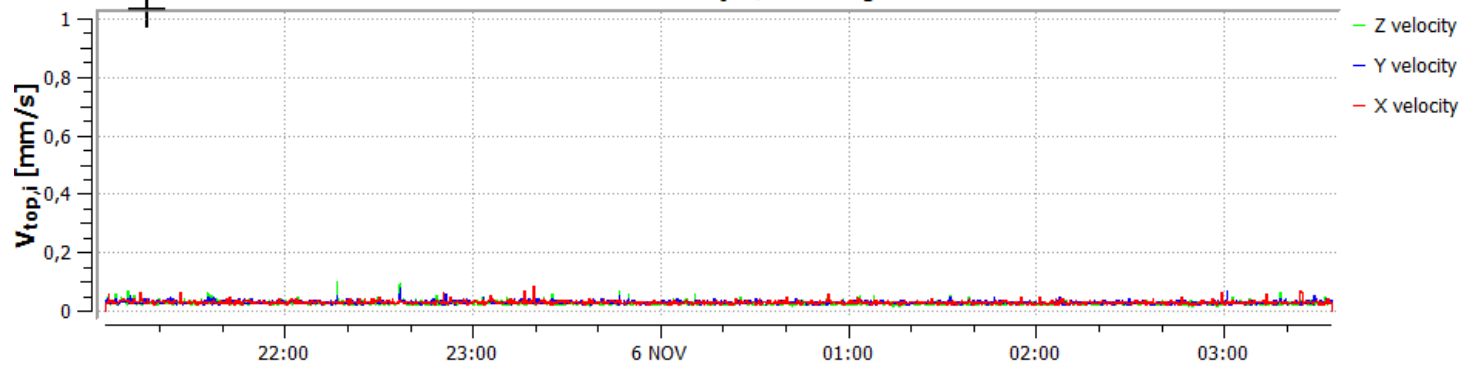
De prognose (tabel 4) laat zien dat er voldaan wordt aan streefwaarden uit de SBR-B en dat trillingen van trams geen belemmering vormen voor het doortrekken van de trambaan over de Pampuslaan. Randvoorwaarden hierbij zijn dat het spoor in goede conditie wordt gehouden, overeenkomstig de huidige situatie en voor de minimumafstand van spoor tot bestaande bebouwing een afstand van 20 meter wordt aangehouden.



ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

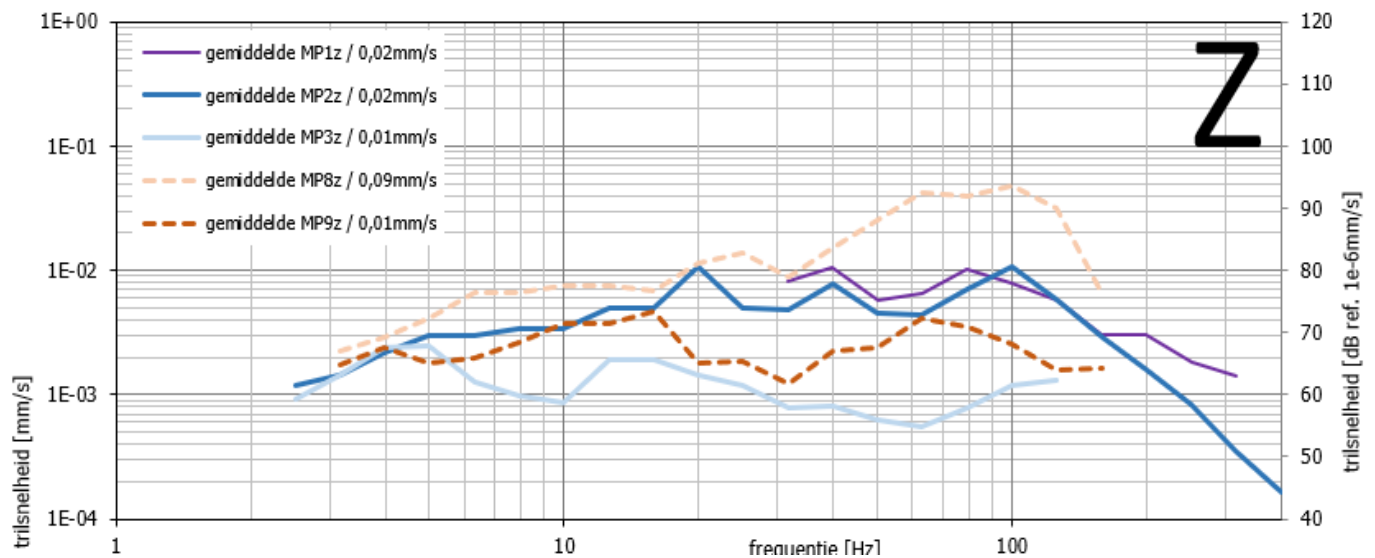
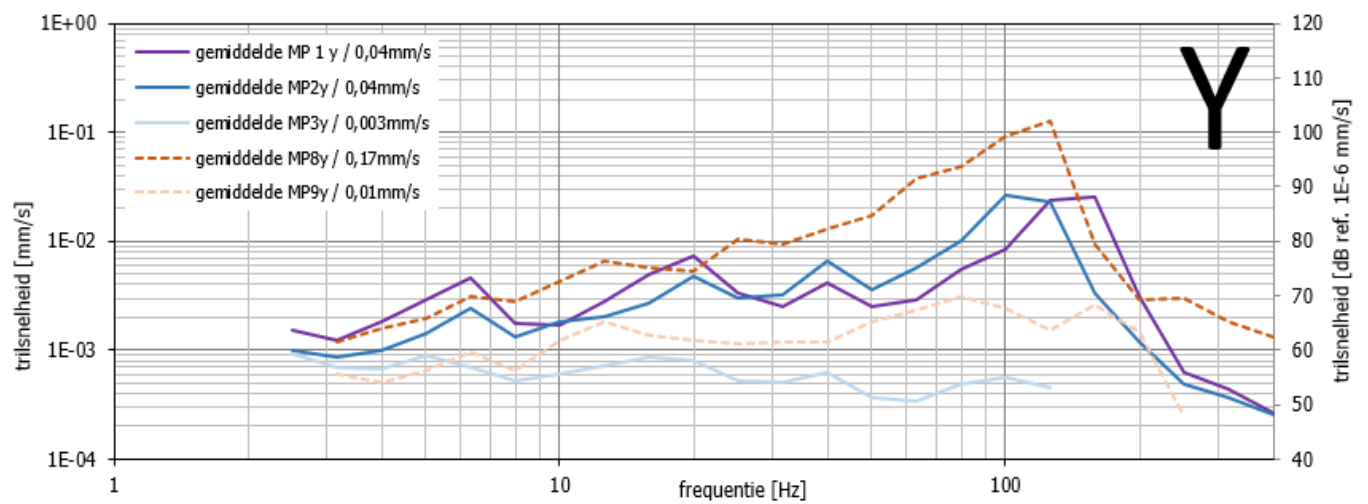
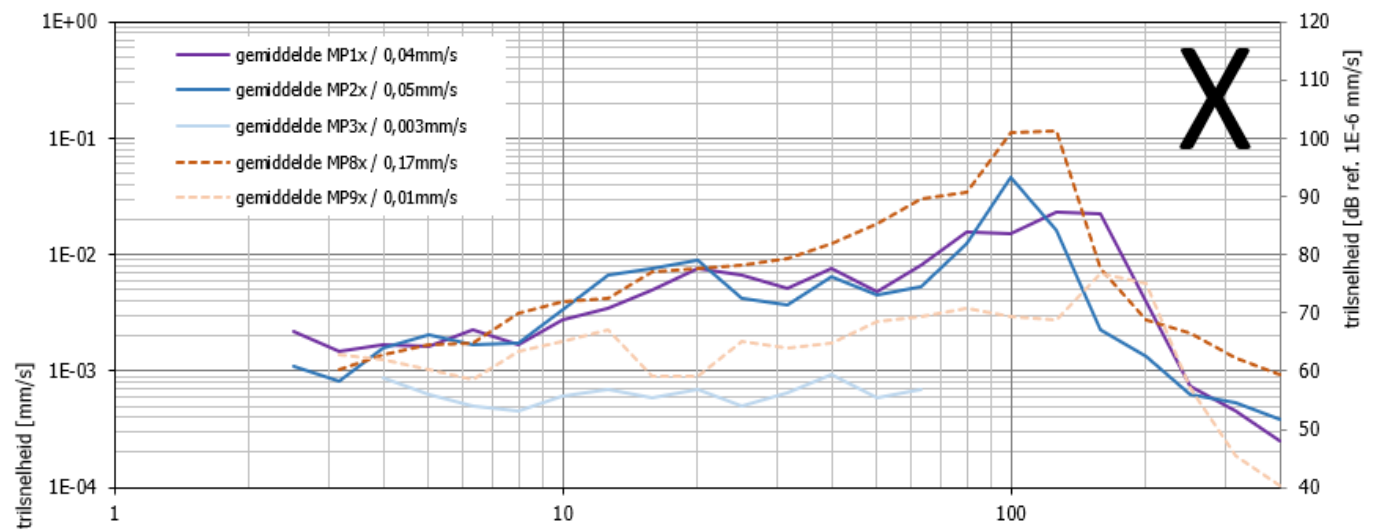
Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties meetlijn 2
Omvang	1
Toelichting	Trillingssterkte V_{top}

VIB00488 - Mp4, Meetlijn 2**VIB00485 - Mp5, Meetlijn 2****VIB00587 - Mp6, Meetlijn 2**

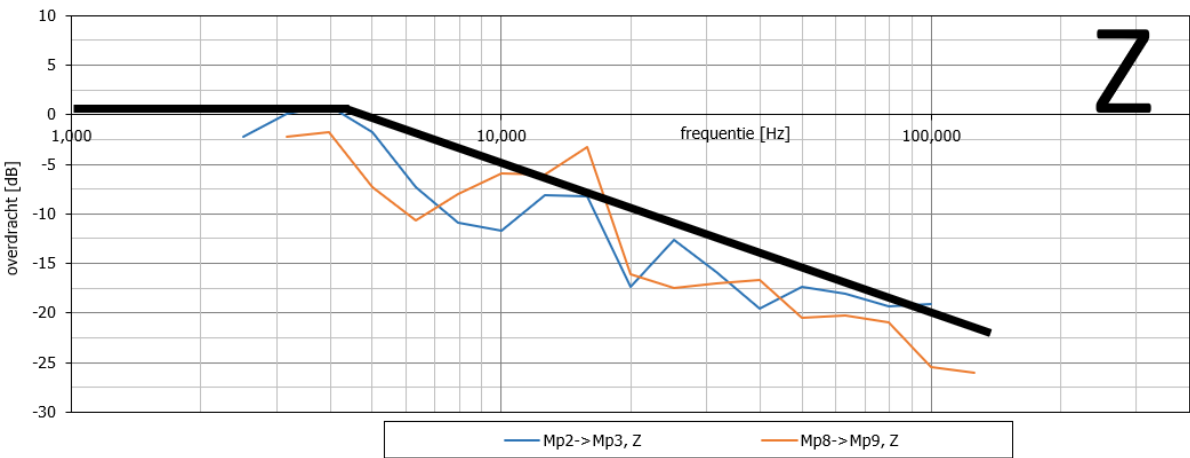
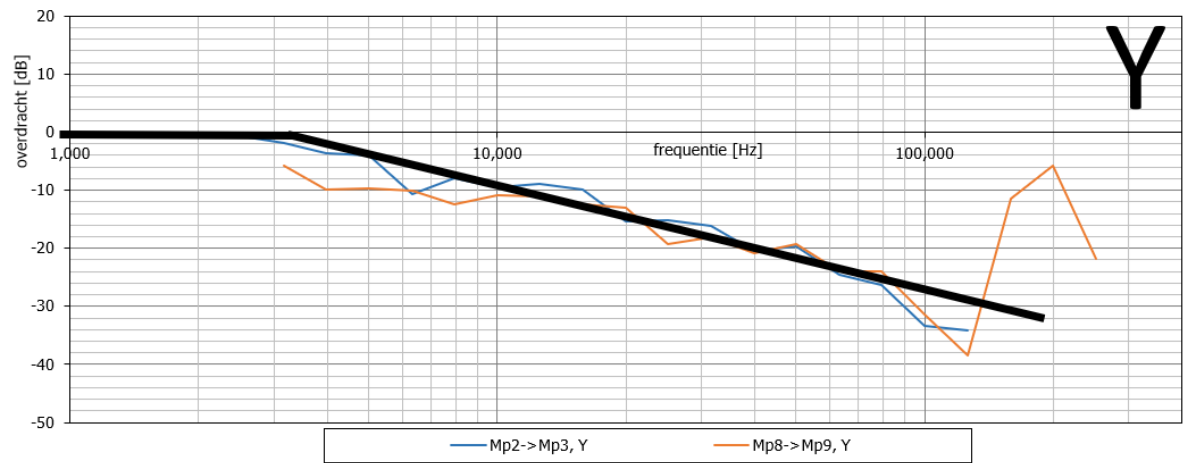
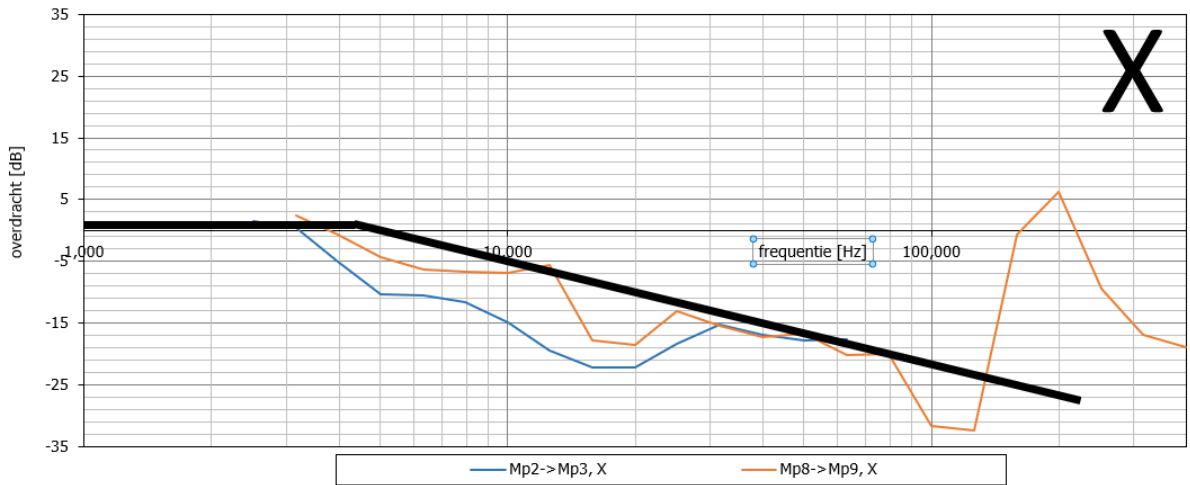
Bijlage 2

Titel	Gemeten trillingsspectra en overdrachten trampassages
Omvang	2
Toelichting	Gemiddelden over circa 13 passages



Spectrale trillingsniveaus. Gemiddelde van circa 13 trams

Overdracht van bodem naar fundatie voor meetlijn 1&3



Bijlage 3

Titel	Prognoseblad
Omvang	1
Toelichting	Omrekening gemeten niveaus aan de gevel naar trilniveau op vloer

Trillingsprognose tramverkeer

project	IJburg, Amsterdam
gebouwtipe	Appartementencomplex
gebouwafstand (tot spoor)	20 m

bronspectrum Mp9 - Gevel
vormfactor C_F 0,5 (verhouding v_{rms}/v_{top})
referentieafstand 20 m

passages per uur	15	(alleen $V_{eff} > 0,1$)
peiljaar	2019	
rijksnelheid	50	km/u
referentie snelheid	50	km/u

Z

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										
Stijf punt fundatie	bouwtype															bouwtype																			
L _v [dB]	73															76	73	74	76	80	79	81	73	73	70	75	76	80	79	76	72	72	77	89	
v _{rms} [mm/s]	0,00															0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03
																					V _{top}			0,06											

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

Begane grond	vloertype:	vloertype 4																									
		(f ₀ = 20-40 Hz)																									
H _{v, vloer}		0,6	0,8	1,2	1,6	2,6	3,5	4,6	5,6	6,8	7,6	8,0	7,6	6,6	5,6	4,7	4,1	3,0	2,0	1,0							
L _v [dB]		73	76	74	75	79	83	84	87	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78	94						
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05						
																V _{top}					0,10						

1e verdieping	vloer type:	vloer type 4 (f0 = 20-40 Hz)																		Vtop		0,28
Hv,3 [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Hv,vloer [dB]		0,6	0,8	1,2	1,6	2,6	3,5	4,6	5,6	6,8	7,6	8,0	7,6	6,6	5,6	4,7	4,1	3,0	2,0	1,0		
Lv [dB]		73	76	74	75	79	83	84	87	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78		
v rms [mm/s]		0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01		
																		Vtop		0,10		

10e verdieping	vloertype:	vloertype 4 (f0 = 20-40 Hz)															* top					7,25
Hv,3 [dB]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Hv,vloer [dB]		0,6	0,8	1,2	1,6	2,6	3,5	4,6	5,6	6,8	7,6	8,0	7,6	6,6	5,6	4,7	4,1	3,0	2,0	1,0		
Lv [dB]		73	76	74	75	79	83	84	87	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78		
v_rms [mm/s]		0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01		
																	V_top					0,10

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 _v [dB]						67	72	71	73	77	82	83	86	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78	94
v _{eff,max} [mm/s]						0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
																				V _{per} *					0,000

1e verdieping																	- per		0,00		
L _v [dB]																					
v _{eff,max} [mm/s]	67	72	71	73	77	82	83	86	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78	94	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	
															V _{per} *		0,000				

10e verdieping																							
L _v [dB]		67	72	71	73	77	82	83	86	80	81	78	83	82	86	84	80	75	74	78	94		
v _{eff,max} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05		
															v _{per}					0,000			

Trillingsprognose tramverkeer

passages per uur	15	(alleen $V_{eff} > 0,1$)
peiljaar	2019	
rijksnelheid	50	km/u
referentie snelheid	50	km/u

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})																			v_{top}		0,12	
Begane grond	vloer type: vloer type 4				(fo = 20-40 Hz)																	
$H_{v,vloer}$	0,6	0,8	1,2	1,6	2,6	3,5	4,6	5,6	6,8	7,6	8,0	7,6	6,6	5,6	4,7	4,1	3,0	2,0	1,0			
L_v [dB]	79	82	80	81	85	89	90	93	86	87	84	89	88	92	90	86	81	80	84	100		
v_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,10		
														v_{top}		0,20						

10e verdieping		vloertype:		vloertype 4		(f _o = 20-40 Hz)																V _{top}		0,20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
H _{v,z} [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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0</

Begane grond	
--------------	--

$v_{\text{eff,max}}$ [mm/s]	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,10
															V_{per}^*	0,000				
10e verdieping																				
L_v [dB]	73	78	77	79	83	88	89	92	86	87	84	89	88	92	90	86	81	80	84	100
$v_{\text{eff,max}}$ [mm/s]	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,10
															V_{per}^*	0,000				

Bijlage 4

Titel	Trillingsniveaus per passage
-------	------------------------------

Tabel 5: Gemeten trams meetlijn 1, dB [ref. 1e-6mm/s]

Van	tot	Mp1			Mp2			Mp3		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
5-11-2019 21:02:32	21:02:58	94	90	94	99	92	92	<80	<80	80
5-11-2019 21:10:49	21:11:02	102	94	97	103	99	92	80	<80	80
5-11-2019 21:18:59	21:19:11	96	90	97	98	96	92	<80	<80	80
5-11-2019 21:25:12	21:25:24	92	86	92	97	90	90	<80	<80	80
5-11-2019 21:32:20	21:32:43	99	96	96	103	101	92	80	<80	80
5-11-2019 22:32:56	22:33:09	94	86	94	96	92	90	<80	<80	80
5-11-2019 22:47:24	22:47:37	92	90	92	97	92	90	<80	<80	80
5-11-2019 22:55:08	22:55:21	92	86	96	96	92	90	<80	<80	80
6-11-2019 01:31:19	01:32:14	96	92	96	97	94	92	<80	<80	80
6-11-2019 01:38:54	01:39:54	90	90	90	90	90	90	<80	<80	<80
6-11-2019 03:01:44	03:02:39	96	94	96	97	97	92	<80	80	80
6-11-2019 03:05:34	03:06:29	94	96	90	92	92	86	<80	<80	80
6-11-2019 03:28:24	03:29:19	96	96	96	97	97	92	<80	<80	80
6-11-2019 03:32:39	03:33:34	92	94	94	92	90	92	<80	<80	80

Tabel 6: Gemeten trams meetlijn 2, dB [ref. 1e-6mm/s]

Van	tot	Mp4			Mp5			Mp6		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
5-11-2019 23:25:20	23:25:38	101	100	100	94	92	86	86	90	92
5-11-2019 21:41:50	21:42:03	100	100	100	90	90	90	90	86	86
5-11-2019 22:16:52	22:17:15	100	100	100	94	92	86	86	90	96
5-11-2019 23:47:01	23:47:13	100	100	100	90	92	90	86	90	92
5-11-2019 22:41:49	22:42:03	100	100	100	92	92	90	86	86	90
5-11-2019 23:02:54	23:03:15	100	100	100	90	92	86	86	86	90
6-11-2019 01:32:30	01:32:46	100	99	100	92	90	90	86	90	90
6-11-2019 03:29:28	03:29:44	100	99	100	96	92	92	86	90	86
5-11-2019 22:25:43	22:25:55	99	99	100	90	90	90	90	86	86
6-11-2019 03:02:42	03:02:58	100	98	100	92	92	94	86	86	90
6-11-2019 01:38:32	01:38:48	100	94	100	90	86	90	86	86	90
5-11-2019 22:04:21	22:04:34	98	94	100	86	86	90	86	86	90
6-11-2019 03:32:25	03:32:41	96	92	97	86	90	92	86	86	90
6-11-2019 03:05:18	03:05:33	94	92	97	90	90	90	86	86	86

Tabel 7: Gemeten trams meetlijn 3, dB [ref. 1e-6mm/s]

Van	tot	Mp7			Mp8			Mp9		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
5-11-2019 22:42:54	22:43:10	114	110	109	105	106	102	80	80	80
5-11-2019 22:49:35	22:49:51	112	107	106	105	106	100	80	80	80
5-11-2019 22:57:23	22:57:40	114	108	107	109	108	102	86	80	80
5-11-2019 23:12:10	23:12:31	116	111	112	109	109	102	90	86	94
5-11-2019 23:19:34	23:19:51	114	108	107	107	106	100	86	80	86
5-11-2019 23:26:28	23:26:46	114	109	108	105	105	102	80	80	80
5-11-2019 23:34:02	23:34:19	113	107	107	107	108	100	86	80	80
5-11-2019 23:40:55	23:41:10	114	109	110	109	110	102	80	80	86
5-11-2019 23:47:58	23:48:15	115	109	111	109	109	102	86	80	80
6-11-2019 01:33:15	01:33:39	114	104	106	104	104	99	80	80	80
6-11-2019 03:03:17	03:03:37	113	107	110	112	111	104	86	80	86
6-11-2019 03:30:08	03:30:29	114	108	109	110	108	102	86	80	86