

RAPPORT

(Ontwerp-) Tracébesluit Theemswegtracé

Deelrapport Trillingen

Klant: Havenbedrijf Rotterdam

Referentie: MD-AF20150603

Versie: 11/EindFinale versie

Datum: 18 mei 2016

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no 35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 T
+31 33 463 36 52 F
info@rhdhv.com E
royalhaskoningdhv.com W

Titel document: (Ontwerp-) Tracébesluit Theemswegtracé

Ondertitel:
Referentie: MD-AF20150603
Versie: 11/Finale versie
Datum: 18 mei 2016
Projectnaam: (O)TB Theemswegtracé
Projectnummer: BD8976
Auteur(s): Hans Schinck

Opgesteld door: Ir. J.J.M.P. Schinck



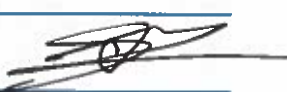
Gecontroleerd door: Ing. F.J.M. van Hout



Datum/Initialen: 18 mei 2016

Goedgekeurd door: Drs. Ing J. de Lange

Datum/Initialen: 18 mei 2016



Classificatie

Open



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Inhoud

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding en problematiek	1
1.2	Voorgenomen activiteit	1
1.3	Leeswijzer	2
2	SITUATIEBESCHRIJVING	3
2.1	Onderzoeksgebied	3
2.2	Projectsituatie	3
2.2.1	Te beschouwen gebied en inventarisatie objecten	6
2.2.2	Uitgangspunten	6
3	WETGEVING EN BELEID	8
4	BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSOPZET	11
4.1	Methodiek beoordelingskader	11
4.1.1	Trillinghinder bestaande situatie conform Bts	12
4.1.2	Achtergrondtrillingen	13
4.2	Onderzoeksopzet	14
4.2.1	Inventarisatie trillingsgevoelige apparatuur	15
4.2.2	Inventarisatie leidingen	16
4.2.3	Inventarisatie procesinstallaties	16
4.2.4	Inventarisatie bouwkundige objecten	17
4.2.5	Inventarisatie kantoren en kritische werkruimten	17
4.2.6	Relatie met andere deelrapporten	17
5	ONDERZOEKSRESULTATEN	18
5.1	Effecten van het project	18
5.1.1	Effecten Theemswegtracé in de gebruiksfase (Bts)	18
5.1.2	Beschouwing trillingen t.g.v. wegverkeer en stamlijn	20
5.1.3	Schade effecten van het project in de gebruiksfase	20
5.1.4	Effecten van het project in de aanlegfase	21
6	MAATREGELEN	23
6.1	Soorten maatregelen	23
6.2	Doelmatigheid	23
6.3	Onderzochte maatregelen	24
6.4	Afweging maatregelen	26
6.5	Conclusies	30

7	CONCLUSIE EN AANBEVELING	31
8	LITERATUURLIJST	32

Bijlagen

Bijlage 1:	Metingen referentieobjecten
Bijlage 2:	Kaart kantoren en trillingsgevoelige apparatuur Theemswegtracé
Bijlage 3:	Tabel inventarisatie kantoren Theemswegtracé
Bijlage 4:	Nulmetingen bestaande situatie Bts
Bijlage 5:	Achtergrondmetingen
Bijlage 6:	Pijlers Theemswegtracé
Bijlage 7:	Maaiveldcontouren $V_{\max}$ Theemswegtracé
Bijlage 8:	Maaiveldcontouren V_{top} Theemswegtracé

1 INLEIDING

Dit deelrapport Trillingen is een onderliggend rapport voor het (Ontwerp-) Tracébesluit (hierna (O)TB) Theemswegtracé. Het deelrapport geeft de basis voor de beschrijving van het aspect trillingen in het (O)TB en de beoordeling op de voor dit aspect vastgestelde criteria.

1.1 Aanleiding en problematiek

De Calandbrug is een stalen hefbrug uit 1969 die wordt gebruikt voor trein-, weg- en langzaam verkeer in het Rotterdamse havengebied. Zo wordt de brug gebruikt voor vervoer van gevaarlijke stoffen en door verkeer dat te hoog is voor de Thomassentunnel. Als spoorbrug is ze de verbindende schakel in de Havenspoorlijn, onderdeel van de Betuweroute en verbindt ze het westelijk havengebied met het achterland. Voor de zeescheepvaart vormt de hefbrug de toegang naar de Brittanniëhaven: de Calandbrug opent daarom meerdere malen per dag. De hefbrug bedient dus zowel het trein- en wegverkeer als de zeescheepvaart waarbij de zeescheepvaart voorrang heeft.

In 2020 is de Calandbrug aan het einde van haar technische levensduur en moet er een omvangrijke renovatie plaatsvinden. Tegelijkertijd wordt, door de verwachte groei van het spoorvervoer en ook van het zeescheepvaartverkeer van en naar de Brittanniëhaven, vanaf dezelfde periode een capaciteitsknelpunt voor het treinverkeer verwacht. Door het toenemend aantal brugopeningen zal er met enkel een gerenoveerde brug onvoldoende capaciteit zijn om al het treinverkeer te bedienen.

Als oplossing voor de geschetste problematiek heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in september 2015 in de Structuurvisie Project Calandbrug definitief gekozen voor een verlegging van de Havenspoorlijn. Dit houdt in dat de spoorweg vanaf de Merseyweg tot aan de Moezelweg wordt omgeleid via de Theemsweg, het zogenaamde 'Theemswegtracé'. Treinen rijden dan niet meer over de Calandbrug en worden niet meer gehinderd door brugopeningen vanwege de zeescheepvaart. Het capaciteitsknelpunt voor het spoorverkeer als gevolg van de brugopeningen is hiermee opgelost. De huidige Calandbrug wordt gerenoveerd en blijft beschikbaar voor het wegverkeer en langzaam verkeer.

Onderdeel van het (O)TB Theemswegtracé is een onderzoek naar de gevolgen van het project voor trillingen. Dit rapport is het onderzoek dat als onderbouwing van het (O)TB dient. Het doel van het trillingsonderzoek is de effecten voor het milieuthema trillingen voor het (O)TB te toetsen aan de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) en maatregelen te onderzoeken. Dit rapport vormt het verslag van dit onderzoek.

Voorafgaand aan dit (O)TB is een milieueffectrapport (MER) opgesteld. Hiervoor is een separaat trillingsonderzoek opgesteld waarmee de gevolgen voor de ondervonden hinder in een breder kader zijn onderzocht. Ook dit rapport wordt ter inzage gelegd.

1.2 Voorgenomen activiteit

De voorgenomen activiteit is de situatie in 2030 waarin alle benodigde maatregelen zijn uitgevoerd die nodig zijn om binnen de vigerende wet- en regelgeving het Theemswegtracé te realiseren. Met de keuze voor het Theemswegtracé wordt de spoorweg in het havengebied omgeleid via de route

langs de Theemsweg en Neckarweg. De verlegging van het spoor loopt van km 20.750 van de Havenspoorlijn ter hoogte van de Merseyweg in de Botlek, tot km 25.175 ten westen van de huidige Calandbrug in de Europoort. Treinen hoeven niet meer over de Calandbrug, waardoor treinverkeer en scheepvaart elkaar niet meer kruisen.

Het nieuwe tracé ligt op een verhoogde betonnen constructie, omdat kruisingen (met wegen, kabels, leidingenstrook en de Rozenburgsesluis) ongelijkvloers moeten worden uitgevoerd. Ook voor de borging van de bereikbaarheid van het gebied en de betreffende bedrijven is een verhoogde ligging noodzakelijk.

1.3 Leeswijzer

Voor u ligt het rapport trillingen. Dit rapport is onderdeel van het (O)TB Theemswegtracé (vanaf hier: TWT). Na deze inleiding is in hoofdstuk 2 de situatie beschreven. In hoofdstuk 3 is de wetgeving en beleid beschreven. Het beoordelingskader en de onderzoekopzet zijn in hoofdstuk 4 beschreven. De onderzoeksresultaten worden gepresenteerd en samengebracht in de beschouwing in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de mogelijk mitigerende maatregelen beschreven. In hoofdstuk 7 zijn de leemten in kennis beschreven. In hoofdstuk 8 is de literatuurlijst weergegeven.



2 SITUATIEBESCHRIJVING

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksmethode van het trillingsonderzoek dat gebaseerd is op de Bts en de SBR richtlijnen.

2.1 Onderzoeksgebied

Voor de kantoren is een studiegebied van 100 m tot het tracé gehanteerd. Binnen dit studiegebied zijn kantoorgebouwen geïnventariseerd. De raaimetingen in het maaiveld aan de Havenspoorlijn bij de Blindeweg geven aan dat de trillingssnelheid $V_{\text{eff,max}}$ op 70 m $< 0,1$ mm/s bedraagt. Hiermee bevestigen de metingen aan de Blindeweg dat voor een trogliggerconstructie op pijlers een aandachtgebied van 100 m tot het Theemswegtracé ruim afdoende is voor het inventariseren van objecten. We veronderstellen dat op grotere afstand de trillingssterkte geen overschrijdingen van de streefwaardes meer zal veroorzaken. Voor kritische werkruimtes en trillingsgevoelige apparatuur is een groter studiegebied (circa 200 m) gehanteerd in verband met het feit dat trillingsgevoelige apparatuur mogelijk lage grenswaarden hebben. De afstanden zijn gebaseerd op streefwaarden. Voor leidingen is een studiegebied van 10 m tot het tracé gehanteerd. In het voor trillingen relevante studiegebied (maximaal 200 meter aan weerszijde van het Theemswegtracé) zijn geen woningen aanwezig.

In de directe omgeving van het nieuwe tracé zijn de volgende potentiële trillingsgevoelige objecten geïnventariseerd:

- Kantoren of andere bedrijfsgebouwen waarin mensen werken. Hiervoor gelden grenswaarden zoals aangegeven in de Bts.
- Bedrijfsgebouwen waaraan mogelijk schade door trillingen zou kunnen ontstaan (SBR richtlijn deel A geldt hiervoor als beoordelingskader).
- Trillingsgevoelige apparatuur in gebouwen (SBR richtlijn deel C geldt hiervoor als beoordelingskader). Van deze apparatuur is een inventarisatie opgesteld.
- Schade aan procesinstallaties dicht bij het toekomstige spoor (het beoordelingskader is hiervoor ook SBR richtlijn deel A).
- Schade aan leidingen in leidingstroken dicht bij het toekomstige spoor (het beoordelingskader is hiervoor ook SBR richtlijn deel A).

2.2 Projectsituatie

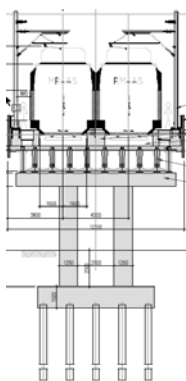
Toekomstige spoorconstructie

De nieuw aan te leggen spoorbaan bestaat uit betonnen liggers op betonnen kolommen en op enkele korte delen van het tracé door een gewapende grondconstructie ondersteund. De kolommen worden op palen op de zandlaag gefundeerd. In de trogliggerconstructie wordt het spoor met dwarsliggers op doorgaand ballast aangelegd. Tussen de trogliggerconstructie en de ballast wordt een ballastmat aangelegd die bedoeld is om vergruizing van de ballast en schade aan de trogliggerconstructie door de dynamische krachten van het spoor tegen te gaan. Eventuele trillingen zullen ontstaan tussen de wielen en de spoorstaaf. Deze trillingen worden via de dwarsligger en de ballast op de trogliggerconstructie overgedragen. Via de kolom poer en de paalfundering worden de trillingen op de omringende bodem overgedragen.

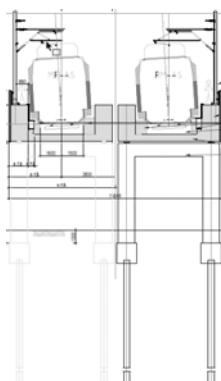
In het tracé komen vier type constructies voor:

- prefabbetonnenliggers in combinatie met pijlerbalk, constructie type 1;
- trogliggerconstructie (dubbel- en enkelsporig), constructie type 2;
- de pijlers van de stalenboogbrug met beton/staaldek, constructie type 3;
- een gewapende grondconstructie (Terre armee of geogrid), constructie type 4.

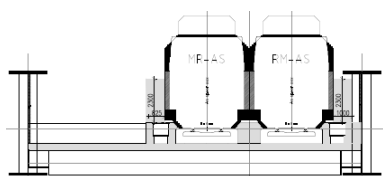
In figuur 2.1 t/m figuur 2.4 zijn van deze vier constructie types de dwarsdoorsneden van links naar rechts weergegeven. De meest voorkomende constructie in het tracé is de prefabbetonnenliggers in combinatie met pijlerbalk.



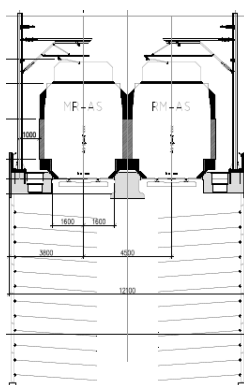
Figuur 2.1 Weergave constructie type 1



Figuur 2.2 Weergave constructie type 2



Figuur 2.3 Weergave constructie type 3



Figuur 2.4 Weergave constructie type 4

Ten behoeve voor het ontwerp is het tracé opgedeeld in 9 deeltracés. Figuur 2.2 toont de onderverdeling van deze deeltracés gezien van oost naar west.



Figuur 2.2 *Overzicht deeltracés*

In Tabel 2.1 is een overzicht gegeven van alle deeltracés met daarbij de gekozen constructies.

Tabel 2.1 *Overzicht van alle deeltracés*

Deeltracé	Van km tot km	Constructie
Deeltracé 1: Oostelijke aansluiting nieuw tracé op bestaand tracé	21.050 - 21.210	gewapende grondconstructie (Terre armee of geogrid)
Deeltracé 2: Kruising van tracé met Merseyweg	21.210 - 21.340	troglijgerconstructie
Deeltracé 3: Tracé langs de Theemsweg	21.340 - 23.160	prefabbetonnenliggers
Deeltracé 4: Tracé tussen de Theemsweg en Rozenburgsesluis	23.160 - 23.520	prefabbetonnenliggers
Deeltracé 5: Tracé over de Rozenburgsesluis	23.520 - 23.850	stalenboogbrug met beton/staaldek
Deeltracé 6: Tracé langs de Neckarweg	23.850 - 24.560	prefabbetonnenliggers
Deeltracé 7: Kruising van tracé met Neckarhaven	24.560 - 24.670	troglijgerconstructie
Deeltracé 8: Kruising van tracé met Thomassentunnel	24.670 - 24.950	stalenboogbrug met beton/staaldek
Deeltracé 9: Westelijke aansluiting nieuw tracé op bestaand tracé	24.950 - 25.130	gewapende grondconstructie (Terre armee of geogrid)

2.2.1 Te beschouwen gebied en inventarisatie objecten

In de directe nabijheid van het Theemswegtracé zijn 16 bedrijven aanwezig. In Tabel 2.2 zijn de bedrijven weergegeven.

Tabel 2.2 Bedrijven in de directe nabijheid Theemswegtracé

Nummer	Bedrijfsnaam	adres	Huisnr.
1	Lyondell	Theemsweg	14
2	Vopak	Neckarweg	999
3	Huntsman/ Invista	Theemsweg	999
4	Eqin / Stork	Theemsweg	2
5	Chem	Neckarweg	32
6	Climax	Theemsweg	20
7	Steinweg	Theemsweg	28
8	N.v.e.	Theemsweg	24
9	Almatis	Theemsweg	30
10	Reym	Theemsweg	32
11	Alconet	Theemsweg	54
12	Brandweer	Theemsweg	14
13	Havenpolitie	Theemsweg	50
14	Arbo	Theemsweg	5
15	onbekend	Neckarweg	999
16	Bertschi	Theemsweg	999
17	Bontrans	Theemsweg	52

Op basis van gegevens zoals aangereikt door het Havenbedrijf zijn de aanwezige bedrijfsgebonden kantoren in Bijlage 3 weergegeven. Er is geïnterviewd of deze objecten daadwerkelijk kantoren zijn en of er nog meer objecten aanwezig zijn welke als kantoor kunnen worden aangemerkt.

Op 10 en 13 juli zijn aan 6 bedrijven (1 t/m 6) locatiebezoeken gebracht. Doel van het bezoek was voor het aspect trillingen relevante informatie ten aanzien van de kantoren te verzamelen. Aan de bedrijven is tevens de vraag gesteld welke onderdelen van het bedrijf ze trillingsgevoelig achten en waarom. Op 10 en 13 juli is tevens van de kantoorobjecten van 9 bedrijven (7 t/m 16) op basis van een externe visuele waarneming vastgesteld of dit daadwerkelijk kantoren betreft.

In Bijlage 2 is in een kaart op objectniveau weergegeven welke objecten als bedrijfsgebonden kantoor worden beschouwd. Tevens is in deze kaart de objectlocatie aangegeven waar mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is.

2.2.2 Uitgangspunten

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Tekening Theemswegtracé T-CI-T-001-v2.4 met de locatie van de pijlers (Autocad tekening);
- De geometrie van de leidingen en leidingstroken in Tekening T-CI-T-001-v2.4 (Autocad tekening);
- Ontwerp – Kunstwerken en Constructies voorlopig ontwerp T-KW-R-VO-001-v1.0 31 maart 2016;
- Bedrijven rondom Theemsweg. (Autocad tekening en shape);
- Adressenbestand ACN_kantoren (shape);
- Panden kantoren (shape);
- sondering S37G02166 uit het dinoloket van de meetlocatie Blindeweg;
- sondering S37D01228 uit het dinoloket van meetlocatie Botlekweg / Clydeweg;

- het grondonderzoek voor het tracé zoals ontvangen op 6 juli 2015;
- opgave lengte, gewicht en aantallen bakken van de 'gemeten' treinen locatie Blindeweg mail Hbr d.d. 7-8-2015;
- opgave lengte, gewicht en aantallen bakken van de 'gemeten' treinen locatie Botlekweg / Clydeweg mail Hbr d.d. 11/11/2015;
- Tekeningen en opgave gegevens voor bepaling opslingereffecten vloeren ontvangen van diverse bedrijven;

Voor de berekening zijn de in Tabel 2.3 gepresenteerde intensiteiten en gemiddelde treinlengtes gehanteerd.

Tabel 2.3 prognose intensiteiten aantal treinen en treinlengtes

Trillingen Realisatie 2013 (referentiesituatie)		Treinen en losse locs per etmaal			
Calandbrug		(som der beide richtingen)			
Materieeltype	Traject	Dag	Avond	Nacht	Gem.lengte (m)
Losse Loc	Erp-Bot v.v.	11,2	3,9	6,6	20
Goederentrein	Erp-Bot v.v.	32,9	10,4	14,9	527
Trillingen prognoses 2030 (projectsituatie)		Treinen en losse locs per etmaal			
Projectalternatief Calandbrug		(som der beide richtingen)			
Materieeltype	Traject	Dag	Avond	Nacht	Gem.lengte (m)
Losse Loc	Erp-Bot v.v.	11,2	3,9	6,6	20
Goederentrein	Erp-Bot v.v.	104,6	38,0	47,5	593

Er is uitgegaan van een snelheid van 80 km/u. De passagetijd van een loc en goederentrein bedraagt hiermee respectievelijk 0,9 seconde en 23,7 seconde.

3 WETGEVING EN BELEID

Treinverkeer, maar ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder of schade. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR richtlijn is hierop gebaseerd. De SBR richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Daarnaast heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Voor het onderzoek naar trillinghinder ten behoeve van het (O)TB wordt gebruik gemaakt van de Bts, voor het onderzoek naar trillingsschade wordt de SBR A-richtlijn en SBR C-richtlijn gebruikt. In de volgende paragrafen staan deze beoordelingskaders achtereenvolgens beschreven.

Bts (Beleidsregel trillinghinder spoor) – beoordelingskader trillinghinder

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillinghinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Naar aanleiding van de uitspraken van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State op 2 oktober 2013 in zake de tracébesluiten *Sporen in Arnhem 2012* en *Sporen in Utrecht 2012 deeltracé Utrecht Centraal – Houten*, is de Bts aangevuld om tegemoet te komen aan de kritiekpunten. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de eerdere Bts komen tot uiting in:

- Een nadere invulling van het kosteneffectiviteitscriterium, met een normbedrag van € 47.000 per woning met overschrijdingen. Voor kantoren met een overschrijding geldt een normbedrag van € 500 per werkplek. Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA¹, uitgevoerd door Witteveen+Bos, Royal HaskoningDHV en TNO;
- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingssterkte wordt bepaald over een meetperiode van ten minste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingssterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde R. Gestreefd moet worden naar een reproduceerbaarheid (R) van de meting van maximaal 10%. Met andere woorden: wanneer de meting na een bepaalde tijd wederom wordt uitgevoerd liggen de resultaten van de beide metingen niet meer dan 10% uit elkaar. Indien niet aan de reproduceerbaarheid wordt voldaan, kan de meetduur (die standaard minimaal één week bedraagt) verlengd worden om zo een betere reproduceerbaarheid te verkrijgen of wordt de hogere onzekerheid verrekend met een correctiefactor in de uitkomst van de metingen.

In de Bts wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de grenswaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Dit project valt onder bestaande (gewijzigde) en nieuwe situaties. Bts artikel 1 spreekt van een 'bestaande situatie als een referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer'. De Bts maakt daarnaast onderscheid tussen de dag- en avondperiode en de nachtperiode. Hierbij geldt dat de grenswaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht lager

¹ MKBA = Maatschappelijke Kosten Baten Analyse, methodiek om de maatschappelijk gezien acceptabele kosten van een maatregel te bepalen. Zie Ruijgrok, dr. ir. E.C.M. e.a., *Kosteneffectiviteitstoetsing Trillingsreducerende Maatregelen Spoor*, Witteveen+Bos, juni 2013, projectcode ut702-1-1

zijn dan die gedurende de dag en avond. Om de trillingssterkte in een gebouw te bepalen dient de effectieve trillingssnelheid v_{eff} gemeten te worden in een gebouw gedurende een periode van minimaal een week. Deze effectieve trillingssnelheid wordt bepaald als voortschrijdend gemiddelde per 30 seconden. Vervolgens wordt per 30 seconden de maximale waarde van dit voortschrijdend gemiddelde genomen. Middels een statistische procedure wordt vervolgens een waarde bepaald voor V_{max} , B_{ts} . Deze waarde wordt gebruikt voor toetsing aan de streefwaarden.

V_{per} geeft een indicatie van de trillingsintensiteit. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0,1 valt. Trillingssnelheden onder de 0,1 zijn nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van de V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0,1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR richtlijn deel B.

Normstelling in de B_{ts}

De grenswaarden in de B_{ts} verschillen over de dag en avond (7.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur) en zijn verschillend per gebouwfunctie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen met een kritische werkruimte (gevoelige apparatuur e.d.), gezondheidszorg en wonen en kantoren en gebouwen ten behoeve van bijeenkomsten.

De B_{ts} kent de volgende begrippen:

- **bestaande situatie:** referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer;
 - **nieuwe situatie:** referentiesituatie waarin geen sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer.
- Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes, zie Tabel 3.1 voor de normstelling voor bestaande situaties, zie Tabel 3.2 voor de normstelling voor nieuwe situaties.

De B_{ts} kent drie waarden: A1, de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} , A2, de grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max} en A3, de grenswaarde voor de trillingsintensiteit V_{per} .

Tabel 3.1 Normstelling bestaande situatie volgens B_{ts}

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Onderwijs, kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Kritische werkruimte	0,1	0,1	--	0,1	0,1	--
A1=streefwaarde voor V_{max} A2=grenswaarde voor V_{max} A3=grenswaarde voor V_{per}						

Tabel 3.2 Normstelling nieuwe situatie volgens B_{ts}

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Onderwijs, kantoor	0,15	0,6	--	0,15	0,6	--
Kritische werkruimte	0,1	0,1	--	0,1	0,1	--
A1=streefwaarde voor V_{max} A2=grenswaarde voor V_{max} A3=grenswaarde voor V_{per}						

Beoordeling van trillingssituatie

bestaande situatie

In het kader van het Tracébesluit kunnen maatregelen achterwege blijven indien de V_{max} in de projectsituatie voldoet aan de in artikel 6 lid 1 onder a genoemde streefwaarde, of de toename van de trillingssterkte in de projectsituatie 30 procent of minder bedraagt (art. 6 lid 1 onder b). Indien de

$V_{\max}$ in de projectsituatie niet voldoet aan de streefwaarde A1 en de toename van de trillingssterkte bedraagt meer dan 30 procent, dan moeten maatregelen worden onderzocht waarmee de toename van de trillingssterkte wordt teruggebracht tot in ieder geval 30% of zoveel meer om overschrijding van de grenswaarde A2 te voorkomen (art. 6 lid 2 en lid 3).

Ten aanzien van de gemiddelde trillingssterkte geldt dat maatregelen moeten worden onderzocht indien de V_{per} niet aan de in artikel 7 lid 1 genoemde grenswaarde (A3) voldoet.

nieuwe situatie

Voor de nieuwe situatie geldt maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillinghinder met betrekking tot de waarde van $V_{\max}$ kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan de volgende conditie: de waarde van $V_{\max}$ in de projectsituatie is lager dan A1.

SBR richtlijn deel A – beoordelingskader trillingsschade

Schade als gevolg van bouwwerkzaamheden

Bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de werkzaamheden. Heien, het intrillen van damwanden en sloopwerkzaamheden kunnen hoge trillingssnelheden veroorzaken, die zeker op korte afstand van de trillingsbron tot schade in gebouwen kunnen leiden.

Schade ten gevolge van treinverkeer

De sterkte van trillingen ten gevolge van treinverkeer zijn voor vrijwel alle gebouwen te gering om schade aan gebouwen te veroorzaken. Op afstanden groter dan 10 meter vanaf de spoorbaan is de trillingssnelheid, gemeten aan de fundering, zonder uitzondering kleiner dan 2 mm/s. Voor de meeste objecten (categorie 2 conform de SBR A-richtlijn) wordt een ondergrens voor de trillingssnelheid van 5 mm/s aangehouden. Onder deze grens is de kans op schade kleiner dan 1 procent. Omdat dergelijke trillingssterktes niet optreden, wordt in het vervolg van dit rapport niet op mogelijke schade-effecten tijdens de exploitatiefase ingegaan. Toetsing aan de SBR A richtlijn heeft daarom niet plaats gevonden voor de exploitatiefase.

SBR richtlijn deel C verstoring van apparatuur

In de SBR richtlijn deel C zijn de grootheden en meetmethoden uitgewerkt. In de SBR richtlijn deel C zijn geen grenswaarden opgenomen. De grenswaarden worden bepaald door de specifieke trillingsspecificaties van fabrikanten van apparatuur. Hierbij is de trillingssterkte V_{top} gehanteerd. De trillingssterkte V_{top} is de grootste momentane piekwaarde van een meting.

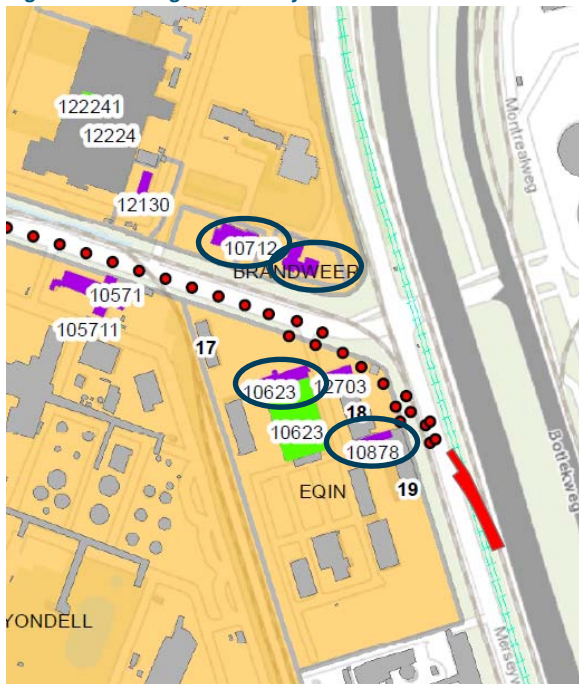
4 BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSOPZET

4.1 Methodiek beoordelingskader

De definitie van een bestaande situatie in de Bts luidt: *“referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer”*. We beschouwen hierbij *“trillingen als gevolg van railverkeer”* in deze definitie als de trillingen ten gevolge van de Havenspoorlijn. De trillingen van de stamlijnen worden gezien de frequentie en snelheid van de treinen over de stamlijn niet als *“trillingen als gevolg van railverkeer”* in deze definitie conform Bts geacht. Omdat de rijsnelheid van treinen over de stamlijnen stapvoets is, is de trillingssterkte ten gevolge van de stamlijn niet relevant.

De afbakening wat een bestaande situatie is voor het TWT wordt bepaald door het invloedsgebied van de bestaande Havenspoorlijn. De objecten buiten het invloedsgebied bestaande Havenspoorlijn zijn hiermee een nieuwe situatie conform de Bts. Op basis van metingen en waarnemingen in de inventarisatie en gezien de afstand van de bestaande Havenspoorlijn tot een groep van 4 objecten in het invloedsgebied van het TWT (kantoor Stork, kantoor Egin, kantoor Arbo, kantoor brandweer) is de verwachting dat deze objecten in de bestaande situatie bloot worden gesteld aan trillingen ten gevolge van de bestaande Havenspoorlijn. Hiermee worden de genoemde 4 objecten als bestaande situatie aangemerkt conform de Bts.

Figuur 4.1: weergave vier objecten bestaande situatie conform Bts



De Bts stelt verder in een Tracébesluit, kunnen maatregelen ter voorkoming van de trillinghinder achterwege blijven indien: *“de toename van de trillingssterkte in de projectsituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30 procent of minder bedraagt.”* Om deze toets voor het project te kunnen uitvoeren dient de nulsituatie conform de Bts te worden vastgesteld. De metingen conform Bts zijn noodzakelijk omdat zonder deze metingen deze wettelijke toets niet kan worden uitgevoerd.

In een meting conform Bts worden uitsluitend passages treinen gemeten volgens een memo opgesteld door Level Acoustics met kenmerk LA.131001a.M04, d.d. 26 februari 2014. Een achtergrondmeting is een meting van overige bronnen dan treinen, zoals wegverkeer e.d. In een nieuwe situatie zijn immers geen trillingen van passages van treinen. De objecten brandweer, kantoor Stork en kantoor Arbo worden vergelijkbaar geacht wat betreft overdracht via fundatie, hoofddraagconstructie naar vloervelden. In het eerstelijnsobject brandweer van deze cluster is een meting verricht conform de Bts. Het objecten brandweer staat representatief voor de overige objecten. Het object kantoor Eqin wordt bijzonder geacht wat betreft overdracht via fundatie, hoofddraagconstructie naar zeer lichte vloervelden. In het object kantoor Eqin zijn ook metingen conform de Bts uitgevoerd.

4.1.1 Trillinghinder bestaande situatie conform Bts

In Bijlage 4 is de volledige rapportage van de nulmetingen conform de Bts weergegeven. In tabel 4.1 worden de $V_{\max}$ en V_{per} volgens Bts voor brugkantoor EQIN gepresenteerd. In tabel 4.2 worden de $V_{\max}$ en V_{per} volgens Bts voor kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg gepresenteerd. Alleen alle treinpassages zijn in de meting zijn meegenomen, er is een filtering toegepast voor de bepaling van de $V_{\max}$ en V_{per} volgens Bts. Stoortrillingen zoals lopen, dichtslaande deuren zijn niet meegenomen in de in waarden zoals gepresenteerd in tabel 4,1 en 4.2.

Tabel 4.1: $v_{\max}$ en v_{per} in nachtperiode brugkantoor EQIN

	$V_{\max}$			V_{per}	dag/avond/nacht		
	X	Y	Z		A1	A2	A3
Brugkantoor EQIN 1 ^e verdieping	0,41	0,32	0,59	0,05	0,3	1,2	0,15
	R [%]				R [%]		
	6,7%	5,3%	6,5%		<10%	<10%	<10%

Tabel 4.2: $v_{\max}$ en v_{per} in nachtperiode kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg

	$V_{\max}$			V_{per}	dag/avond/nacht		
	X	Y	Z		A1	A2	A3
Kazerne gezamenlijke brandweer 1 ^e verdieping	0,20	0,22	0,17	0,02	0,3	1,2	0,15
	R [%]				R [%]		
	4,2%	6,0%	5,5%		<10%	<10%	<10%

Uit de meet- en rekenresultaten in tabel 4.1 blijkt, voor de bestaande situatie brugkantoor Eqin, te worden voldaan aan de grenswaarden uit de Bts. De maximale trillingssterkte $V_{\max}$ ten gevolge van treinpassages bedraagt ten hoogste 0,59 [--] dit is lager dan de grenswaarde A2, maar overschrijdt wel A1 (0,3). De trillingssterkte V_{per} ten gevolge van treinpassages bedraagt ten hoogste 0,05 [--] dit is lager dan de grenswaarde A3.

Uit de meet- en rekenresultaten in tabel 4.2 blijkt, voor de bestaande situatie kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg, te worden voldaan aan de grenswaarden uit Bts. De maximale trillingssterkte $V_{\max}$ ten gevolge van treinpassages bedraagt ten hoogste 0,22 [--] dit is lager dan de streefwaarde A1.

In tabel 4.1 en tabel 4.2 is de reproduceerbaarheidsfactor (R waarde) voor de metingen weergegeven. De berekening is in bijlage 4 weergegeven. De reproduceerbaarheidsfactor (R waarde) voor de metingen in brugkantoor Eqin en kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg is na 4 weken meten lager dan 10%. Hiermee hoeft er geen correctie te worden toegepast op de meetwaarde.

4.1.2 Achtergrondtrillingen

In een aantal objecten zijn achtergrondmetingen verricht. Deze achtergrondmetingen hebben tot doel de trillingen ten gevolge van de al aanwezige trillingsbronnen in beeld te krijgen.

In paragraaf 4.1.1 zijn de trillingen in de objecten kantoor Eqin en Brandweer ten gevolge van de treinen weergegeven. Dezelfde ongefilterde meetdata zijn gebruikt om een beeld te vormen van de achtergrondtrillingen. Van de overige kantoren is in een tweetal kantoren de nulsituatie (bestaande situatie op basis van metingen) vastgelegd. Het gaat hier niet om de nulsituatie ten gevolge van treinen op de Havenspoorlijn maar om de trillingen ten gevolge van andersoortige trillingsbronnen in de omgeving van de kantoren. Het gaat hierbij om het kantoor van Lyondell en Chem. Het betreft allemaal objecten met een betonnen vloeren. In Bijlage 5 is de rapportage van de achtergrondmetingen weergegeven. In tabel 4.3 zijn de metingen samengevat weergegeven.

Tabel 4.3: Meetdata onbemande meting achtergrondtrillingen

Grootheid		Maximalen $V_{\max}$ [--]			Gemiddelden V_{per} [--]		
Adres	Datum	Dag	avond	Nacht	dag	avond	nacht
Lyondell Theemsweg 14	2 oktober 2015*	0,53	0,14	0,10	0,06	0,05	0,01
	3 oktober 2015	0,17	0,19	0,11	0,02	0,02	0,01
	4 oktober 2015	0,14	0,14	0,17	0,02	0,03	0,01
	5 oktober 2015*	0,31	0,12	0,17	0,06	0,01	0,01
	6 oktober 2015	0,22	0,13	0,14	0,03	0,01	0,01
	7 oktober 2015*	0,57	0,11	0,26	0,07	0,01	0,01
	8 oktober 2015	0,13	--	--	0,02	--	--
	Hoogste waarde	0,57	0,19	0,26	0,07	0,05	0,01
Chem Neckarweg 32	2 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	3 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	4 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	5 oktober 2015	<0,1	0,13	<0,1	0,00	0,01	0,00
	6 oktober 2015	0,16	<0,1	<0,1	0,01	0,00	0,00
	7 oktober 2015	0,17	<0,1	<0,1	0,01	0,00	0,00
	8 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	Hoogste waarde	0,17	0,13	<0,1	0,01	0,01	<0,01

* op deze dagen is meerdere malen tegen de sensor gestoten (meetwaarde 100 mm/s bovengrens meetbereik), deze meetwaarde zijn niet opgenomen in tabel 4.3

In het object kantoor Chem komen trillingssterktes tot 0,2 [--] voor. De nulmetingen geven aan dat het object kantoor Chem in de bestaande situatie als een relatief trillingsarme omgeving kan worden gekwalificeerd. In het object kantoor Lyondell komen wat hogere trillingsniveaus tot maximaal 0,6 [--] voor.

Uit de waarnemingen tijdens nulmetingen in het kantoor van Lyondell blijkt dat de trillingen ten gevolge van passages van het zwaar vrachtverkeer relevant zijn. Dit is met name gerelateerd aan de zeer slechte langsvlakheid van de weg in een kruising. Het zwaar verkeer en de interne trillingbronnen geeft een maximale trillingssterkte van $V_{\text{eff,max}}$ van 0,3 tot 0,5 [--]. De trillingen ten gevolge van passages van een stapvoets rijdende trein op de stamlijn zijn minder relevant.

Uit de nulmetingen in het kantoor van Chem blijkt dat de trillingen ten gevolge van passages van het zwaar vrachtverkeer over de Neckarweg beperkt waarneembaar zijn ($V_{\text{eff,max}} < 0,1-0,2$).

Beschouwing achtergrondtrillingen Eqin en Brandweer

De ongefilterde maximale trillingssterkte V_{max} ten gevolge van lopen van personen door het kantoor Eqin is significant hoger (factor 10) dan het maximale trillingssterkte V_{max} van passages van treinen en bedraagt tot circa 6 [–]. Duidelijk is dat de bijzondere constructie met zeer lichte vloerpanelen van kantoor Eqin een relevante rol speelt bij de hoogte van de trillingsniveaus in het kantoor ten gevolge van interne trillingsbronnen. Ook voor het object kantoor brandweer geldt dat de ongefilterde maximale trillingssterkte V_{max} ten gevolge van lopen van personen door het kantoor hoger is.

4.2 Onderzoeksopzet

Voor het onderzoek zijn bij bestaande vergelijkbare constructies aan de Havenspoorlijn met een vergelijkbare samenstelling van het spoorverkeer metingen uitgevoerd. Deze metingen zijn bedoeld om tegelijkertijd twee parameters vast te stellen. Het gaat hierbij om de bronsterkte van deze spoorconstructie (hoeveel trillingsenergie wordt er door deze spoorconstructie in de bodem overgedragen) en de damping/versterking van de trillingen op steeds groter wordende afstanden vanaf het spoor. Een geschikte referentieconstructie trog op pijlers en de pijlers van de stalen boogbrug is gevonden in de Havenspoorlijn, nabij de Waalhaven (omgeving Blindeweg). Een geschikte referentieconstructie aarden baan is gevonden in de Havenspoorlijn bij de Botlekweg / Clydeweg (omgeving Theemswegtracé). Er wordt gebruik gemaakt van raaimetingen aan de twee referentieconstructies. In Bijlage 1 zijn de situaties van de referentieconstructies weergegeven.

Afstandsdamping

De overdrachtsverzwakking van de trillingen door de bodem wordt door verschillende factoren beïnvloed. De belangrijkste daarvan zijn de afstand tussen bron en ontvanger en de opbouw van de bodem (vooral de diepte van de minder elastische laag, meestal de zandlaag). Ook de frequentie van de trillingen speelt een rol. Het is bij praktisch trillingsonderzoek voor spoorprojecten gebruikelijk om de afstandsverzwakking door meting op een of meer “meetraaien” te bepalen. Er is voor gekozen een dergelijke meetraai op dezelfde plaats als waar de bronmetingen plaatsvinden uit te voeren. Op deze meetraai zijn enkele grondpennen in de bodem bevestigd en op deze grondpennen is de trillingssterkte tijdens treinpassages bepaald. De keuze voor deze dwarsdoorsnede waarop de meetraai wordt aangebracht is gebaseerd op de wens om minimale invloed van stoortrillingen te hebben. Op de meetraai zijn de trillingssterktes tijdens treinpassages gemeten.

Vergelijking sonderingen

De sondering van Blindeweg is niet beschikbaar, derhalve is gebruik gemaakt van gegevens in het Dinoloket. Op basis van sondering S37G02166 uit het dinoloket is op de locatie Blindeweg vanaf -20 m diepte t.o.v. maaiveld een matig vast zandpakket aanwezig. Op basis van sondering S09 van het grondonderzoek voor het tracé is vanaf -18 m N.A.P. een vergelijkbaar zandpakket aanwezig. Voor de Theemsweg geldt dat de conusweerstand van de lagen boven het zandpakket groter is dan voor de locatie Blindeweg. Hiermee zijn de lagen voor de Theemsweg boven het zandpakket stijver dan voor de locatie Blindeweg.

De sondering van Botlekweg / Clydeweg is niet beschikbaar, derhalve is gebruik gemaakt van gegevens in het Dinoloket. Op basis van sondering S37D01228 uit het dinoloket is op de locatie Botlekweg / Clydeweg vanaf -18 m diepte t.o.v. maaiveld een matig vast zandpakket aanwezig. Op

basis van sondering S09 van het grondonderzoek voor het tracé is vanaf -18 m N.A.P. een vergelijkbaar zandpakket aanwezig. Aangezien de sondering van de locatie Botlekweg / Clydeweg de meeste overeenkomst vertoont met sondering S09 van het grondonderzoek voor het tracé wordt ervoor gekozen om de bodemdemping op basis van de trillingsmetingen op locatie Botlekweg / Clydeweg te hanteren.

De raaimetingen aan de twee referentieobjecten zijn in Bijlage 1 weergegeven. De relatie tussen afstand en trillingsniveau in de bodem is gegeven op basis van de meetdata met de empirische formule van Barkan [1] voor trillingen in het verre veld bepaald. De Barkan parameters gebaseerd op de meetdata zijn in Bijlage 1 weergegeven. Voor de prognose van trillingen $V_{\max}$ en V_{per} wordt gebruik gemaakt van het trillingsmodel zoals in Bijlage 1 beschreven. Er bestaat geen wettelijke of algemeen geaccepteerde rekenmethode voor het aspect trillingen. De prognose is gebaseerd op een bovengrensbekijking van een empirische aanpak met worst case aannames. De rekenkundige uitkomsten zijn een indicatie voor de toekomstige trillingsniveaus. Een exacte rekensystematiek is niet voorhanden.

In een deel van het trace liggen de posities van de pijlers vast (dwangpunten), in het resterende deel van het trace kunnen de posities van de pijlers nog wijzigen. In bijlage 6 zijn de vaste pijlers (dwangpunten) weergegeven. De prognose is gebaseerd op de afstand tussen object en dichtstbijzijnde pijler (dwangpunt) danwel de dichtstbijzijnde afstand tussen object en hartlijn van het tracé. Dit houdt in dat de prognose voor het deel waar de posities van de pijler nog kunnen wijzigen op de korste (worst case) afstand gebaseerd.

4.2.1 Inventarisatie trillingsgevoelige apparatuur

Van alle bedrijven in de nabijheid van het tracé is een selectie gemaakt. Alleen bedrijven waar het vermoeden bestaat dat er mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig kan zijn gezien de aard van het bedrijf zijn op locatie bezocht. In Bijlage 3 is een verslag van een inventarisatie van trillingsgevoelige apparatuur bij bedrijven weergegeven. Hierin is een onderbouwing van de te hanteren grenswaarden voor de trillingsgevoelige apparatuur gegeven. Onderstaand zijn per bedrijf op hoofdlijnen de trillingsgevoelig te achten apparatuur omschreven.

Lyondell

Bij het bedrijf Lyondell zijn meteringstations aanwezig. In deze meteringstations zijn flowcomputers aanwezig. In de meetstraten zijn flowmeters aanwezig. De flowmeters worden op basis van de trillingsspecificaties niet trillingsgevoelig geacht. Op het terrein van Lyondell is een 25 kV station aanwezig, dit object dat eigendom is van Stedin wordt trillingsgevoelig geacht vanwege de aanwezigheid van relais in dit station.

Vopak

Op het terrein van Vopak zijn bij elke aanlegsteiger flowmeters aanwezig. De flowmeters worden op basis van de trillingsspecificaties niet trillingsgevoelig geacht. In het kantoor/bedieningsgebouw zijn op begane grond PMSX besturingssystemen aanwezig. Dit zijn regelkasten met harde schijven. In gebouw OS-06-1 van Vopak zijn PLC regelkasten aanwezig. Deze objecten worden trillingsgevoelig geacht.

Invista/Huntsman

Op het terrein van Invista/Huntsman zijn twee chemische laboratoria aanwezig. Een productielaboratorium in gebouw 12224 en een R&D laboratorium in gebouw 11075/12223. Deze laboratoria worden in eerste aanleg als kritische werkruimte conform de Bts beschouwd.

De locatie van deze laboratoria is in Bijlage 2 weergegeven. Op het terrein van Invista en Huntsman zijn in deze laboratoria achtergrondmeting gedurende een week uitgevoerd. De resultaten van deze achtergrondmeting zijn in hoofdstuk 4 gerapporteerd. Op het terrein van Huntsman is een York koelunit aanwezig. In stilstand wordt deze unit vanwege de dunne olielaag tussen de glijlageroppervlaktes trillingsgevoelig geacht. In bedrijf wordt deze unit niet trillingsgevoelig geacht.

Stork/Eqin

Op het terrein van Stork/Eqin is geen apparatuur aanwezig die trillingsgevoelig wordt geacht.

Climax

Op het terrein van Climax is een chemisch laboratorium en een serverruimte aanwezig. Dit laboratorium wordt in eerste aanleg als kritische werkruimte conform de Bts beschouwd. De locatie van dit laboratorium is in Bijlage 2 weergegeven.

In Tabel 4.4 is samenvattend de uitkomst van de inventarisatie van alle bedrijven weergegeven. Hierin is weergegeven welke objecten en welke toetswaarden voor trillingsgevoelige apparatuur worden gehanteerd. Voor de onderbouwing van de toetswaarde zie Bijlage 3.

Tabel 4.4 Trillingsgevoelige objecten en toetswaarden trillingsgevoelige apparatuur

Object	Pand id*	toets waarde
controlroom Lyondell	11124	2,1
metering Lyondell	105712	2,1
25 kV station Stedin (terrein Lyondell)	105713	2.2
ruimte met regelkasten met harde schijven Vopak	11424	2,1
ruimte met PLC kasten Vopak	21675	2,1
koelunit Huntsman	26619	1,0
serverruimte Climax	12419	2,1

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

4.2.2 Inventarisatie leidingen

De relevante invloedssfeer voor het aspect trillingen bedraagt voor leidingen slechts enkele meters. Naast de leidingstroken in de openbare ruimte zijn de leidingen op de bedrijfsterreinen relevant. Voor de leidingen op bedrijfsterreinen is een studiegebied van 10 m gehanteerd. Op het terrein van Vopak en Lyondell zijn relevante leidingen aanwezig op zeer korte afstand van het tracé. In Bijlage 3 is de situatie van Vopak en Lyondell beschreven. Van de overige bedrijven is de afstand van leidingen tot het tracé groter dan 10 m en derhalve niet relevant. In Bijlage 3 is een onderbouwing van de te hanteren grenswaarde gegeven. Voor de leidingen in de leidingstrook en op de bedrijventerreinen wordt op basis van SBR richtlijn deel A een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd.

4.2.3 Inventarisatie procesinstallaties

Procesinstallaties bestaan uit een stelsel van leidingen en procesvaten met centrale controlrooms. Voor de leidingen en procesvaten op bedrijfsterreinen is een studiegebied van 10 m gehanteerd. Binnen 10 m afstand van het tracé zijn geen leidingen en procesvaten van procesinstallaties

aanwezig. Voor de controlrooms is een studiegebied van 200 m gehanteerd. Alleen bij Lyondell is een controlroom binnen deze afstand aanwezig. De controlroom van Lyondell is in Bijlage 3 bij de inventarisatie trillingsgevoelige apparatuur van Lyondell besproken.

4.2.4 Inventarisatie bouwkundige objecten

In verband met trillingen tijdens de aanlegfase zijn per bedrijf de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten geïnventariseerd. Op 10 en 13 juli zijn de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten op basis van een externe visuele waarneming vastgesteld. Deze zijn in de tabel 3.4 in Bijlage 3 weergegeven en gecategoriseerd conform de classificatie uit de SBR richtlijn deel A. Indien de hoofd draagconstructie van de bouwkundige constructie een categorie 1 object betreft en er zitten categorie 2 elementen, dan is het object veiligheidshalve als een categorie 2 object gewaarmerkt.

4.2.5 Inventarisatie kantoren en kritische werkruimten

Op basis van gegevens zoals aangereikt door het Havenbedrijf zijn de aanwezige bedrijfsgebonden kantoren in Bijlage 3 weergegeven. Er is middels locatiebezoeken geïnventariseerd of deze objecten daadwerkelijk kantoren zijn en of er nog meer objecten aanwezig zijn welke als kantoor en kritische werkruimte kunnen worden aangemerkt. In Bijlage 2 is in een kaart op objectniveau weergegeven welke objecten als bedrijfsgebonden kantoor en kritische werkruimte worden beschouwd. Deze objecten zijn tevens in de tabel 3.4 in Bijlage 3 weergegeven.

4.2.6 Relatie met andere deelrapporten

Er is geen specifieke relatie met andere deelrapporten in de zin dat resultaten uit deze rapportage niet in andere deelrapporten worden gebruikt.

5 ONDERZOEKSRESULTATEN

5.1 Effecten van het project

In dit hoofdstuk worden de effecten van het project TWT voor het effect trillingen in de projectsituatie weergegeven.

Het onderzoek richt zich op de trillingssterkte en de toename die ten gevolge van deze wijzigingen zouden kunnen ontstaan. Het effect van het project TWT is gebaseerd op een empirisch model. De parameters van de werkwijze zijn in paragraaf 2.3 toegelicht.

5.1.1 Effecten Theemswegtracé in de gebruiksfase (Bts)

In Tabel 5.1 zijn de verwachtingen in de kantoren en kritische werkruimtes voor de projectsituatie van het Theemswegtracé in relatie tot de streefwaarden Bts weergegeven.

Tabel 5.1 Resultaten Theemswegtracé

Object	Afstand tot tracé* [m]	Bestaande situatie V_{max}	Project situatie V_{max}	Toename [%]	Streef waarde A1	Projectsituatie V_{per} dag / avond / nacht 2030			Grens-waarde A3	Maatregel overweging
kantoor Stork	30,4	0,22***	0,64	191	0.3	0,12	0,13	0,10	0,15	ja
kantoor Egin	22,5	0,59 **	0,68	16	0.3	0,12	0,13	0,10	0,15	nee
kantoor Brandweer	52,2	0,22***	0,13	0	0.3	0,03	0,03	0,02	0,15	nee
kantoor Arbo	52,7	0,22***	0,40	80	0.3	0,08	0,08	0,06	0,15	ja
kantoor Lyondell	14,8	--	0,82	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Huntsman (pandid 11718)****	65,6	--	0,27	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)****	62,2	--	0,28	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Climax	29,8	--	0,21	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Steinweg	40,8	--	0,46	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Almatiss	20,5	--	0,68	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Reym (pandid 20963)	35,5	--	0,50	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Alconet (pandid 10691)	53,0	--	0,39	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Bontrans	64,0	--	0,35	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Bertschi	58,2	--	0,37	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Chem	33,8	--	0,51	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Vopak	70,0	--	0,28	nvt	0.15	--			nvt	ja
kantoor Havenpolitie	92,0	--	0,28	nvt	0.15	--			nvt	ja
kritische werkruimte Invista	125,0	--	0,21	nvt	0.1	--			nvt	ja
kritische werkruimte Huntsman	175,4	--	0,16	nvt	0.1	--			nvt	ja
kritische werkruimte Climax	29,8	--	0,21	nvt	0.1	--			nvt	ja

* afstand tot hart dichtstbijzijnde pijler

** nulmeting conform Bts van passages bestaande Havenspoorlijn

*** nulmeting voor cluster conform Bts van passages bestaande Havenspoorlijn

**** zie Bijlage 2 en Bijlage 3

legenda

	Voldoet aan streefwaarde Bts
	Voldoet niet aan streefwaarde Bts

Uit Tabel 5.1 blijkt dat in de Theemswegtracé de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ naar verwachting de streefwaarde in 19 objecten overschrijdt. Het betreft 16 kantoren en 3 kritische werkruimten.

Toetsing maximale trillingssterkte $V_{\max}$ bestaande situatie conform de Bts

Ten aanzien van de objecten met een bestaande situatie conform de Bts (kantoor Eqin, kantoor Stork, kantoor brandweer en kantoor Arbo), geldt dat de objecten kantoor Eqin en kantoor Brandweer het toenamecriterium van 30 % niet wordt overschreden (artikel 6 lid 1 sub b). Ten aanzien van de objecten kantoor Stork en kantoor Arbo geldt dat de streefwaarde wordt overschreden en het toenamecriterium van 30 % wordt overschreden (artikel 6 lid 2).

Dit houdt in dat op basis van artikel 6 lid 2 mitigerende maatregelen ten aanzien van de beperking van $V_{\max}$ in de objecten kantoor Stork en kantoor Arbo onderzocht dienen te worden.

Toetsing maximale trillingssterkte $V_{\max}$ nieuwe situatie conform de Bts

De streefwaarde wordt in alle 16 objecten overschreden. Het betreft 13 kantoren en 3 kritische werkruimten. Dit houdt in dat op basis van artikel 5 lid 2 mitigerende maatregelen ten aanzien van de beperking van $V_{\max}$ in deze 16 objecten (kantoor Lyondell, 2 kantoren van Huntsman, Climax, Steinweg, Alconet, Reym, Bontrans, Bertschi, Havenpolitie, Chem, Vopak en de drie kritische werkruimten), onderzocht dienen te worden.

Toetsing gemiddelde trillingssterkte V_{per} bestaande situatie conform de Bts

Uit tabel 5.5 blijkt dat naar verwachting de trillingssterkte V_{per} in 2030 de grenswaarde A3 niet wordt overschreden (artikel 7 lid 1).

Toetsing per deeltracé conform de Bts

In Tabel 5.2 zijn de aantallen objecten met overschrijdingen van de Bts systematiek per deeltracé weergegeven. In totaal dienen voor 18 objecten maatregelen te worden onderzocht.

Tabel 5.2 Overzicht van objecten met overschrijdingen in de deeltracés

Deeltracé	Constructie	Aantal objecten waar maatregelen voor onderzocht moeten worden
Deeltracé 1: Oostelijke aansluiting nieuw tracé op bestaand tracé	gewapende grondconstructie (Terre armee of geogrid)	0
Deeltracé 2: Kruising van tracé met Merseyweg	Troglijgerconstructie	2
Deeltracé 3: Tracé langs de Theemsweg	Prefabbetonnenliggers	12
Deeltracé 4: Tracé tussen de Theemsweg en Rozenburgesluis	Prefabbetonnenliggers	1
Deeltracé 5: Tracé over de Rozenburgesluis	stalenboogbrug met beton/staaldek	1
Deeltracé 6: Tracé langs de Neckarweg	Prefabbetonnenliggers	2
Deeltracé 7: Kruising van tracé met Neckarhaven	Troglijgerconstructie	0
Deeltracé 8: Kruising van tracé met Thomassentunnel	stalenboogbrug met beton/staaldek	0
Deeltracé 9: Westelijke aansluiting nieuw tracé op bestaand tracé	gewapende grondconstructie (Terre armee of geogrid)	0

In Bijlage 7 en Bijlage 8 zijn de maaiveldcontouren van de projectsituatie Theemswegtracé weergegeven. De maaiveldcontouren geven de verwachte maximale trillingssterkte $V_{\max}$ of V_{top} in de bodem weer. In deze contouren is zichtbaar dat de prefabbetonnenliggers in combinatie met pijlerbalk een relatief trillingsarme constructie is ten opzichte van de gewapende grond constructie.

5.1.2 Beschouwing trillingen t.g.v. wegverkeer en stamlijn

De afstanden van de rijbanen van de Theemsweg tot de kantoren en de afstanden van enkele delen van de stamlijnen tot de kantoren verandert in de projectsituatie ten opzichte van de afstanden in de bestaande situatie.

De relatieve afstandsverandering ten opzichte van de bestaande situatie voor de rijbanen van de Theemsweg tot de kantoren bedraagt enkele meters. De afstand ten opzichte van de objecten aan de noordzijde neemt hierdoor af met enkele meters. De afstand ten opzichte van de objecten aan de zuidzijde neemt hierdoor toe met enkele meters.

De stamlijn langs het Theemswegtracé wordt aangepast. Het bestaande “derde spoor” richting Huntsman wordt vernieuwd en aan de oostzijde aangesloten op het bestaande opstel-omloop spoor. Het tweede gedeelte betreft het oostelijke gedeelte. Er wordt een nieuw spoor noordelijk van het bestaande spoor gerealiseerd.

Omdat de rijnsnelheid van treinen over de stamlijnen stapvoets is, is de trillingssterkte ten gevolge van de stamlijn (zoals vastgesteld op basis van de metingen) minder relevant. De relatieve afstandsverandering bedraagt voor het oostelijk deel van de stamlijn tot de kantoren bedraagt enkele meters. De afstand ten opzichte van de objecten aan de noordzijde neemt hierdoor af met enkele meters. De afstand ten opzichte van de objecten aan de zuidzijde neemt hierdoor toe met enkele meters.

Op basis van de bovenstaande gegevens zullen de wijzigingen van de afstanden van wegverkeer en stamlijn tot de kantoren niet relevant zijn voor het aspect trillingen ten opzichte van de toekomstige trillingssterkte ten gevolge van de Havenspoorlijn over het TWT.

Ten gevolge van het project Theemswegtracé zullen de aansluiting van het onderliggend wegennet en de A15 nabij de Calandbrug wijzigen. Er is geen substantiële verlegging of toename van de intensiteit ten gevolge van het project te verwachten. Er liggen geen trillingsgevoelige objecten in de nabijheid van de wijzigingen. Op basis van de bovenstaande gegevens zullen de wijzigingen van de aansluiting van het onderliggend wegennet en de A15 nabij de Calandbrug niet relevant zijn voor het aspect trillingen.

5.1.3 Schade effecten van het project in de gebruiksfase

In Tabel 5.3 zijn de verwachtingen van de trillingssterkte V_{top} trillingsgevoelige apparatuur voor de projectsituatie van het Theemswegtracé weergegeven.

Tabel 5.3 Resultaten Theemswegtracé

Object	Pand id*	Afstand tot tracé* [m]	Project situatie V_{top}	toets waarde
controlroom Lyondell	11124	112,4	0,52	2,1
metering Lyondell	105712	61,6	0,48	2,1
25 kV station Stedin (terrein Lyondell)	105713	14,5	1,53	2,2
ruimte met regelkasten met harde schijven Vopak	11424	70,1	0,52	2,1
ruimte met PLC kasten Vopak	21675	17,1	1,39	2,1
koelunit Huntsman	26619	104,0	0,16	1,0
serverruimte Climax	12419	166,4	0,34	2,1

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Op basis van de in Tabel 5.3 gepresenteerde verwachtingen voor de trillingssterkte V_{top} trillingsgevoelige apparatuur zijn er in de Theemswegtracé geen objecten met een verhoogde kans op schade voor trillingsgevoelige apparatuur.

Er is een viertal raakvlakken voor het aspect trillingen met de leidingen in de omgeving van het TWT.

- Raakvlak 1 kruisende leidingen leidingstroken
- Raakvlak 2 pijlers in de leidingstroken
- Raakvlak 3 leidingen bedrijfsterrein Vopak
- Raakvlak 4 leidingen bedrijfsterrein Lyondell

In bijlage 3 is een beschouwing van de raakvlakken weergegeven. Samenvattend wordt geconcludeerd dat de trillingen voor alle trillingsgevoelige apparatuur en de raakvlakken met leidingen als veilig aangemerkt worden in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

5.1.4 Effecten van het project in de aanlegfase

In SBR richtlijn deel A zijn grenswaarden opgenomen om een verhoogde kans op schade aan gebouwen te voorkomen.

Voor de realisatie van de onderbouw wordt gebruik gemaakt van de deeltracés. Het betreft de bouw van kunstwerken, gewapende grondconstructie en de aanpassing van de aardenbaan bij de aansluiting op het bestaand spoortraject. Dit inclusief de hiervoor benodigde herinrichting wegen, verlegging van kabels en leidingen, aanleg voorzieningen t.b.v. de bescherming van de bestaande kabel- & leidingstroken en voor deeltracé 3 de herinrichting van de bestaande stamlijn.

Voor de aanleg is een centraal gelegen terrein dat als bouw- en werkterrein wordt ingericht nodig, tevens zijn lokaal bouw- en werkterreinen nodig. Het gebruik van (bouw)wegen hangt met de ligging van deze terreinen samen. De exacte locaties zijn op dit moment nog onbekend. In de hoek Theemsweg en Neckarweg bevindt zich een groot terrein met bos en een parkeerplaats voor vrachtwagens. Het is vrijwel het enige, voor het project TWT, centraal gelegen terrein dat als bouw- en werkterrein kan worden ingericht. De centrale bouwkeet kan op het genoemde dit terrein worden gehuisvest. Tevens is in de nabijheid van de projectlocatie een openbare loswal gesitueerd aan het

eind van de Humberweg voor de aanvoer van (een deel van) de benodigde materialen per schip. T.b.v. de diverse bouwlocaties zullen er lokaal bouw- en werkterreinen gevonden moeten worden. De exacte locaties zijn op dit moment nog onbekend. Gezien de doorlooptijd van de uitvoering zal er op vrijwel alle deeltracés gestart moeten worden met de uitvoeringswerkzaamheden.

In de aanlegfase bij de realisatie van de onderbouw zijn voor het aspect trillingen de volgende werkzaamheden relevant:

- Realisatie paalfunderingen;
- Realisatie bouwkuipen;
- Grondverzet met vrachtwagens en kranen;
- Handling van prefab elementen en bouwmaterialen.

Bij de realisatie van de paalfunderingen van de kunstwerken zal gebruik worden gemaakt van trillingsarme technieken (schroefpalen of vergelijkbaar). Hiermee is er geen verhoogde kans op schade ten gevolge van de aanleg van paalfunderingen te verwachten.

Bij het realiseren van de bouwkuipen wordt gebruik gemaakt van het drukken en trekken van damwanden met een silent piler. Het drukken met silent piler is een trillingsarme en geluidarme werkwijze. Hiermee is er geen verhoogde kans op schade ten gevolge van de aanleg van bouwkuipen te verwachten.

Bij de realisatie kan het bouwverkeer herhaald kortdurende trillingen voortbrengen. Dit is afhankelijk van de ligging van de werkterreinen en de bouwwegen tot de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten. In verband met trillingen tijdens de aanlegfase zijn per bedrijf de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten geïnventariseerd. Op 10 en 13 juli 2015 zijn de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten op basis van een externe visuele waarneming vastgesteld. Deze zijn in de tabel in Bijlage 3 weergegeven en gecategoriseerd conform de classificatie uit de SBR richtlijn deel A richtlijn. Indien de hoofddraagconstructie van de bouwkundige constructie een categorie 1 object betreft en er zitten categorie 2 elementen, dan is het object veiligheidshalve als een categorie 2 object gewaarmerkt. De exacte ligging van de diverse werkterreinen en de bouwwegen is op dit moment nog niet bekend. De exacte afstanden van werkterreinen en de bouwwegen tot de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten kan derhalve nog niet bepaald worden. De verwachting is dat de werkterreinen en de bouwwegen op korte afstand van het tracé worden geprojecteerd. Gezien de afstanden van het tracé tot de maatgevende eerstelijns bouwkundige objecten is hiermee geen verhoogde kans op schade ten gevolge van trillingen door bouwverkeer te verwachten.

Bij de realisatie van de kunstwerken en de gewapende grondconstructie bij de aansluiting op het bestaand tracé kan de handling van prefabelementen en andere bouwmaterialen door kranen kortdurende trillingen met zich meebrengen. Indien de handling van prefabelementen en andere bouwmaterialen door kranen gecontroleerd en zorgvuldig wordt uitgevoerd is geen verhoogde kans op schade ten gevolge van bouwverkeer te verwachten.

Samenvattend wordt ten aanzien van de effecten in de aanlegfase geconcludeerd: op basis van de beschikbare informatie en gezien de inzet van trillingsarme technieken in de aanlegfase is er naar verwachting geen sprake is van een verhoogde kans op schade aan gebouwen door trillingen conform de SBR richtlijn deel A.

6 MAATREGELEN

In dit hoofdstuk worden de mitigerende en compenserende maatregelen voor het (O)TB uitgewerkt. We beperken ons tot maatregelen die gerelateerd zijn aan het huidige besluit en binnen de reikwijdte van de initiatiefnemer ligt. Bij de Theemswegtracé dienen aan 18 objecten maatregelen te worden overwogen.

6.1 Soorten maatregelen

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen drie soorten maatregelen, die overigens ook in combinatie getroffen kunnen worden:

- Maatregelen aan de bron
- Maatregelen in de overdracht
- Maatregelen bij de ontvanger

Een voorbeeld van maatregelen aan de bron is het verbeteren van afvering van de trog bij de bron of het funderen van de baan in de ondergrond.

Een voorbeeld van maatregelen in de overdracht is het aanbrengen van een ondergrondse trillingsreducerende constructie of een (diepe) sloot. Deze maatregelen worden ook wel transmissie maatregelen genoemd.

Een voorbeeld van maatregelen bij de ontvanger is het verstijven van de vloer van het gebouw of het afveren van het gebouw of het aanpassen van de fundering.

6.2 Doelmatigheid

De keuze van eventuele maatregelen hangt af van de doelmatigheid daarvan. In de Bts is voor de beoordeling op doelmatigheid de MKBA-systematiek² voorgeschreven. Als gebruik wordt gemaakt van een doelmatigheidsafweging, dient in de toelichting bij het Tracébesluit in te worden gegaan op de geraamde kosten van een maatregel, de geraamde opbrengsten van de maatregel in termen van trillinghinderreductie en het aantal woningen, het gehanteerde normbedrag per woning en de gemaakte doelmatigheidsafweging. De afwegingscriteria van doelmatigheid die in de toelichting bij de Bts worden genoemd omvatten naast de kosten per woning en de kosten per werkplek en de duurzaamheid van de maatregel ook eventuele neveneffecten van de maatregel.

In de Bts is de verplichting opgenomen om een opleveringstoets uit te voeren. Deze toets voorziet in onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen en de omvang van de trillingssterkte binnen 1 jaar na ingebruikname van het project. Dit onderzoek kan aanleiding geven tot het treffen van (nadere) maatregelen.

In 2014 heeft ProRail in overleg met het ministerie afgesproken, naar analogie van het doelmatigheidscriterium voor geluidmaatregelen, een bedrag van € 47.000,- per woning te nemen als acceptabele kosten voor een maatregel. Op basis van de Acceptabele Kosten-methodiek (AK-methodiek) die Witteveen+Bos in het rapport beschrijft, is dan een doelmatigheidsafweging te

² MKBA staat voor maatschappelijke kosten en baten analyse.

maken. Voor kantoren is afgesproken een normbedrag van € 500,- te hanteren per werkplek. Dit bedrag wijkt sterk af van het normbedrag voor woningen omdat een belangrijk gezondheidsaspect slaapverstoring bij kantoren niet meeweegt en omdat de blootstellingsduur korter is dan bij bewoners langs het spoor. Er is door ProRail in overleg met het ministerie geen normbedrag voor een kritische werkruimte afgesproken. We gaan uit van een normbedrag voor een maatregel voor een kritische werkruimte van € 500,- per werkplek.

6.3 Onderzochte maatregelen

De volgende maatregelen kunnen worden getroffen aan de bron:

- Aan de bovenbouw van het spoor, namelijk door toepassing van dwarsliggersloffen,
- Tussen de bovenbouw en de onderbouw van het spoor, namelijk door toepassing van – verbeterde – ballastmatten tussen de ballast en de betonconstructie
- Tussen de kolommen en de onderbouw, namelijk door toepassing van stalen veren tussen de prefabbetonnen liggers en de kolommen waarop deze rusten,

De volgende maatregelen kunnen worden toegepast in het overdrachtspad:

- Toepassing van een zachte laag tussen de fundering van de belangrijke kolommen en de omringende grond
- Toepassing van een diepe sleuf of een trillingsscherm in de bodem tussen de belangrijke kolommen en het te beschermen gebouw

De volgende maatregel kan worden toegepast bij de ontvanger:

- Toepassing van verstijvende constructies zoals stalen vloerbalken, in de kantoren

Uit de metingen aan de Blindeweg is gebleken dat de bodemtrillingen op korte afstand (10 m van de kolommen) een laagfrequent karakter hebben. De maatgevende frequenties zijn 1 en 6 Hz. Op grotere afstanden vanaf de kolommen zullen vooral de hogere frequenties uitdempen waardoor dit laagfrequente karakter alleen nog maar versterkt zal worden. Bij een treinsnelheid van ca. 60 km/u komen de genoemde frequenties overeen met afstanden van ca. 17 respectievelijk ca. 2,90 m. Hieruit wordt geconcludeerd dat de bijdrage van de zogenaamde pin-pin frequentie, die veroorzaakt wordt door het passeren van de vaste railoplegpunten boven de dwarsliggers (60 cm) hier niet relevant is. De genoemde afstanden van 17 en 2,9 m zouden overeen kunnen komen met vaste afstanden in de constructie; aan de Blindeweg bedraagt de afstand tussen de kolommen 25 m, wat in dezelfde orde van grootte is om een frequentie van ongeveer 1 Hz te kunnen genereren.

De toepassing van dwarsliggersloffen of ballastmatten berust op het principe van een massaveersysteem. In beginsel heeft een massaveersysteem een transferfunctie die bij zeer lage frequenties de amplitude ongedempt doorgeeft, bij de resonantiefrequentie een versterking van de optredende trillingen veroorzaakt, en bij frequenties ruim boven die resonantiefrequentie een verzwakking opleveren. Voor de genoemde oplossingen, te weten dwarsliggersloffen resp. ballastmatten geldt, dat deze een resonantiefrequentie vertonen die aanzienlijk boven de genoemde frequenties ligt. Voor een geoptimaliseerde ballastmat ligt de resonantiefrequentie rond 15 Hz. Dit is te hoog voor de voorliggende situatie, dwarsliggersloffen of ballastmatten zijn hiermee niet effectieve maatregelen.

Ruimtelijke randvoorwaarden

In de leidingstroken kan niet worden gebouwd omdat deze ruimtelijk zijn gereserveerd voor kabels en leidingen.

Als mogelijk effectieve trillingsmaatregelen blijven over:

Maatregelen bij de bron

- Plaatsen van een stalen verenpakket tussen de kolom en de prefabbetonnen liggers, zie figuur 6.1.
- Bekleden van de fundering van de kolommen (in de grond) met een zachte verende laag, zie figuur 6.2.

Maatregelen in de overdracht

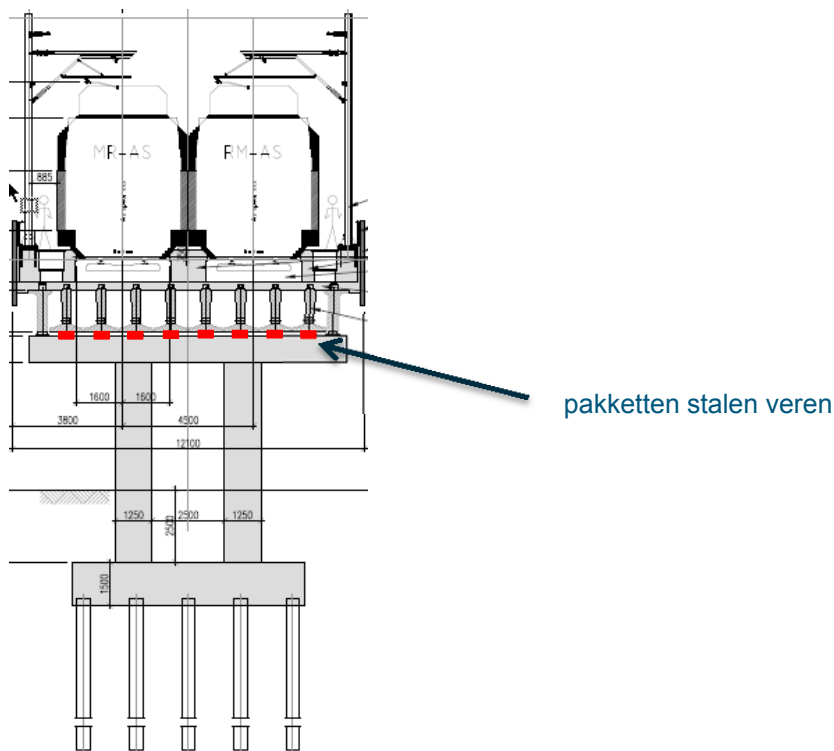
- Niet mogelijk

Tussen het toekomstige spoor en de kantoren langs de Theemsweg is onvoldoende ruimte voor een sleuf of een trillingsscherm. Dit wordt veroorzaakt door de leidingstroken voor leidingen en kabels die daar ter plekke in de grond liggen.

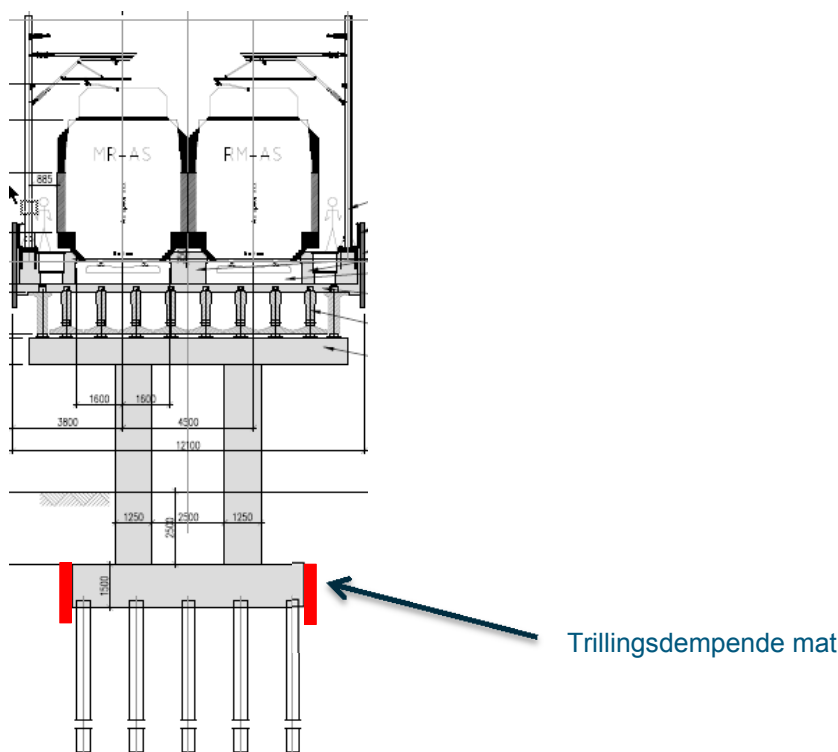
Maatregelen bij de ontvanger

- Maatregelen aan de kantoorvloeren.

De prinsipschets is in figuur 6.1 en 6.2 weergegeven.



Figuur 6.1 prinsipschets voorgespannen pakketten stalen veren



Figuur 6.2 principeschets bekleden fundering pijler

6.4 Afweging maatregelen

Met elk van deze maatregelen kan in beginsel de overschrijding van de streefwaarde voor de trillingen in kantoren en werkruimtes worden tenietgedaan. Voorwaarde is wel dat de maatregelen een werking hebben tot het zeer laagfrequente gebied rond 1 Hz.

In hoofdstuk 3 is het doelmatigheidscriterium geïntroduceerd. Effectieve maatregelen worden afgewogen op de maximale bedragen € 500,- per kantoorwerkplek en € 500,- per werkplek in een kritische werkruimte. Per object wordt hiermee het budget conform het doelmatigheidscriterium berekend.

Stalen verenpakketten

Voor de kosten van maatregelen hebben we informatie ingewonnen bij verschillende leveranciers. Het idee van deze maatregel is dat er een ont koppeling plaatsvindt tussen de rijvloer resp. bodem van de trog enerzijds en de kop van de kolom anderzijds. Uit onderzoek ter plaatse is gebleken dat zonder maatregelen in de bodem trillingen worden veroorzaakt met een zeer lage frequentie (rond 1 Hz).

Om dergelijke lage frequenties te isoleren, is een isolatie nodig die bij deze lage frequenties effectief is. Dat kan alleen met stalen veren bereikt worden. Rekening gehouden moet worden met een flinke statische inverting onder belasting. Nader verkregen informatie geeft aan dat de trog/rijvloer wordt ondersteund door dwarsbalken. Al naar gelang van welk spoor de trein gebruikmaakt, zullen de statische krachten op de ene zijde of de ander zijde van de dwarsbalk terecht komen.

In totaal is er op de belaste zijde van de dwarsbalk een statische massa op te vangen van
 217 ton voor de passerende trein
 812 ton voor de helft van de betonnen trog
 108 ton voor de helft van het ballastbed

De totale statische belasting aan één zijde van de dwarsbalk is 1137 ton. Eén verenpakket dat geschikt is om frequenties rond 4 Hz te isoleren (en dat ook nog enige isolatie zal hebben bij 1 Hz) kan maximaal 1300 kN dagen. Voor de totale belasting van 1137 ton zijn dan 9 verenpakketten nodig. In totaal zijn dan per kolom 18 pakketten nodig. Per kolom moet dan rekening worden gehouden met een extra bedrag van ca. 36.000 euro, alleen voor de verenpakketten.

Bij passage van een trein zal de helft van de verenpakketten op druk worden belast, de andere helft op trek. Met de leverancier moet worden afgestemd of dit mogelijk en verantwoord is.

De kolommen die de spoorbaan dragen hebben een onderlinge afstand van 25 of 45 meter. De dichtst bij de spoorbaan gelegen kantoren hebben een afstand van 15 tot 20 meter van het tracé. Per object zijn er een aantal relevant bijdragende kolommen. De kosten van de maatregel zijn gebaseerd op uitvoeren van de maatregel aan de relevant bijdragende kolommen.

Tabel 6.1 afweging stalen verenpakketten

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheids-criterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor Lyondell	80	500	40.000	5	180.000
kantoor Huntsman (pandid 11718)*	30	500	15.000	3	108.000
kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)*	50	500	25.000	5	180.000
Kantoor Climax	35	500	17.500	5	180.000
Kantoor Steinweg	84	500	42.000	5	180.000
kantoor Almatiss	60	500	30.000	5	180.000
kantoor Reym (pandid 20963)*	63	500	31.500	5	180.000
kantoor Alconet (pandid 10691)*	19	500	9.500	4	144.000
kantoor Bontrans	8	500	4.000	4	144.000
kantoor Bertschi	24	500	12.000	4	144.000
kantoor Chem	12	500	6.000	4	144.000
kantoor Vopak	1	500	500	3	108.000
kantoor Havenpolitie	63	500	31.500	6	216.000
Kantoor Arbo	89	500	44.500	4	144.000

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Voor de kantoren met de meeste werkplekken bedragen de normkosten maximaal 44.500 euro. In tabel 6.2 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In alle gevallen liggen de kosten voor maatregelen ruim boven deze normbedragen per object.

Voor de kritische werkruimtes bedragen de normkosten 2000 tot 2.500 euro. De kritische werkruimtes liggen verder weg van het tracé dan de kantoren. Hierdoor moeten een significant groter aantal kolommen worden aangepast. Ook deze maatregelen zijn niet doelmatig. Ook als voor

kritische werkruimtes een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Hierbij wordt aangetekend dat dit een doelmatigheidsafweging is per object. Hierna wordt weergegeven of deze maatregel geprofileerd kan worden door meerdere objecten. (clustering).

Cluster overweging stalen veren pakketten

Voor objecten die door dezelfde pijlers worden belast kan een clustering in de doelmatigheidsafweging zinvol zijn. Dit houdt in dat meerdere objecten profiteren van een maatregel. Clustering leidt ertoe dat stalen veren pakketten eerder doelmatig worden bevonden in vergelijking met een doelmatigheidsafweging per object. Het zijn clusters van objecten waarbij deze objecten in de nabijheid van elkaar liggen, elk aan een ander zijde van het tracé. Vanuit dit oogpunt zijn er twee clusters zinvol in het Theemswegtracé. In tabel 6.6 zijn de beide clusters weergegeven.

Tabel 6.2 afweging stalen verenpakketten per cluster

Cluster	Budget cluster conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor Lyondell, kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)*	40.000+25.000	5	180.000
kantoor Climax, kantoor Huntsman (pandid 11718)*	17.500+15.000	7	210.000

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Voor de clusters bedragen de normkosten maximaal 65.000 euro. In tabel 6.1 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In beide gevallen liggen de kosten voor maatregelen ruim boven deze normbedragen per cluster. Ook als voor de kritische werkruimte in kantoor Climax een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Trillingsisolerende laag

De oplossing is het aanbrengen van een trillingsisolerende laag rondom de poer in de grond, die de kolom draagt. Deze laag wordt, vanwege het verticale karakter van de maatgevende trillingen, vooral op afschuiving belast. Het meest geschikte materiaal zal in een latere fase moeten worden geselecteerd. Hier wordt uitgegaan van een materiaal op basis van gerecycled rubber, met een dikte van ca. 10 cm,. Het materiaal moet bestand zijn tegen de gronddruk en tegen water. Per poer moet worden gerekend op ca. 50 m².

De kosten worden op ca. € 200 per m² geschat zodat de kosten per poer, inclusief aanleg, op ca. 15.000 euro komen.

In tabel 6.3 zijn de kosten en de budgetten doelmatigheidscriterium per object weergegeven.

Tabel 6.3 afweging trillingsisolerende laag

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor Lyondell	80	500	40.000	5	75.000
kantoor Huntsman (pandid 11718)*	30	500	15.000	3	45.000
kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)*	50	500	25.000	5	75.000
Kantoor Climax	35	500	17.500	5	75.000

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor Steinweg	84	500	42.000	5	75.000
kantoor Almatiss	60	500	30.000	5	75.000
kantoor Reym (pandid 20963)*	63	500	31.500	5	75.000
kantoor Alconet (pandid 10691)*	19	500	9.500	4	60.000
kantoor Bontrans	8*	500	4.000	4	60.000
kantoor Bertschi	24	500	12.000	4	60.000
kantoor Chem	12	500	6.000	4	60.000
kantoor Vopak	1	500	500	3	45.000
kantoor Havenpolitie	63	500	31.500	6	90.000
Kantoor Arbo	89	500	44.500	4	60.000

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Ook deze oplossing is voor de kantoren in alle gevallen niet doelmatig.

Voor de kritische werkruimtes bedragen de normkosten 2000 tot 2.500 euro. Voor de kritische werkruimtes die verder weg gelegen zijn van het tracé dan de kantoren, moeten een significant groter aantal kolommen worden aangepast. Ook hiervoor is deze oplossing niet doelmatig. Ook als voor kritische werkruimtes een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Hierbij wordt aangetekend dat dit een afweging is per object conform de doelmatigheidsafweging uit de Bts.

Cluster overweging trillingsisolerende laag

Voor objecten die door dezelfde pijlers worden belast kan een clustering in de doelmatigheidsafweging zinvol zijn. Clustering leidt ertoe dat de maatregel trillingsisolerende laag eerder doelmatig worden bevonden in vergelijking met een doelmatigheidsafweging per object. Het zijn clusters van objecten waarbij deze objecten in de nabijheid van elkaar liggen, elk aan een ander zijde van het tracé. Vanuit dit oogpunt zijn er twee clusters zinvol in het Theemswegtracé. In tabel 6.4 zijn de beide clusters weergegeven.

Tabel 6.4 afweging trillingsisolerende laag per cluster

Cluster	Budget cluster conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende kolommen	Kosten maatregel
Kantoor Lyondell, kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)*	40.000+25.000	5	75.000
kantoor Climax, kantoor Huntsman (pandid 11718)*	17.500+15.000	7	105.000

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Voor de clusters bedragen de normkosten maximaal 65.000 euro. In tabel 6.5 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In beide gevallen liggen de kosten voor maatregelen boven deze normbedragen per cluster. Ook als voor de kritische werkruimte in kantoor Climax een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Afweging vloerversteviging

De kantoren met een overschrijding bestaan uit 1 tot 3 verdiepingen. Inclusief verkeersruimte wordt gerekend met een vloeroppervlak van 23 m² per persoon. Het verstijven van de vloer gebeurt door het aanbrengen van extra stalen liggers onder de vloer. In een kantooromgeving is vaak sprake van een verlaagd (systeem)plafond. Daarom kan deze ingreep vaak zonder zeer grote aanpassingen worden gerealiseerd. Bij objecten met een bouwlaag kan deze maatregel niet worden uitgevoerd. Voor een vloeroppervlak van 50 m² een kostenpost van ca. 25.000 euro gerekend. Hierbij wordt aangetekend dat het kantoor Bontrans en Bertschi bestaat uit unitbouw. Een vloerverstijving is voor unitbouw technisch vrijwel niet uitvoerbaar.

In tabel 6.5 zijn de kosten van vloerversteviging en de budgetten doelmatigheidscriterium per object weergegeven.

Tabel 6.5 Afweging vloerversteviging en budget doelmatige maatregelen Theemswegtracé

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheidscriterium	Vloeroppervlakte [m ²]	Kosten maatregel
Kantoor Arbo	89	500	44.500	1.365	682.333
Kantoor Stork	52	500	26.000	1.196	598.000
Kantoor Lyondell	80	500	40.000	1.840	920.000
kantoor Huntsman (pandid 11718)*	30	500	15.000	1.840	920.000
kantoor Huntsman (Invista pandid 12130)*	50	500	25.000	840	420.000
Kantoor Steinweg	84	500	42.000	128.800	644.000
kantoor Almatiss	60	500	30.000	1.380	690.000
kantoor Reym (pandid 20963)*	63	500	31.500	1.449	724.500
kantoor Alconet (pandid 10691)*	19	500	9.500	1.365	109,250
kantoor Bontrans	8	500	4.000	184	92.000
kantoor Bertschi	24	500	12.000	552	276.000
kantoor Vopak	1	500	500	31	15.795

* zie Bijlage 2 en Bijlage 3

Vloerversteviging is op objectniveau veruit de duurste oplossing. Ook deze oplossing gaat bij alle kantoren het maximale bedrag voor doelmatige maatregelen ver te boven.

In de tabel komen geen kritische werkruimtes voor omdat de maatregel vloerversteviging alleen voor objecten met 2 verdiepingen of meer, dit zijn uitsluitend kantoren.

6.5 Conclusies

Omdat er op basis van het doelmatigheidscriterium in artikel 9 lid 1 van de Bts geen doelmatige maatregelen bestaan om de trillingen terug te dringen tot de gewenste waarden zoals in hoofdstuk 3 aangegeven, blijven maatregelen achterwege. De maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in objecten ten gevolge het Theemswegtracé bedraagt ten hoogste 0,82. Hiermee ligt de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in alle objecten ten gevolge het Theemswegtracé significant lager dan het plafond in de Bts, de grenswaarde van 3.2 waarboven maatregelen moeten worden genomen. Hiermee worden de trillingen ten gevolge van het Theemswegtracé aanvaardbaar geacht.

7 CONCLUSIE EN AANBEVELING

In het voorliggende trillingsonderzoek zijn de trillingseffecten voor de Theemswegtracé van het project Theemswegtracé bepaald. Het onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het (O)TB. Het doel van dit onderzoek is drieledig:

1. Het vaststellen en beoordelen van de trillinghinder tijdens de gebruiksfase, na realisatie van het project;
2. Het beoordelen van de trillingsschade voor apparatuur en leidingen tijdens de gebruiksfase;
3. Het beoordelen van de trillingen tijdens de aanlegfase.

Vaststellingen en beoordelen van trillingshinder tijdens de gebruiksfase

Met betrekking tot de trillinghinder tijdens de gebruiksfase is na realisatie van het project in 18 objecten sprake van overschrijdingen van de toetswaarden in de Bts toetsingssysteem. De overschrijdingen maken dat in totaal voor 18 objecten maatregelen dienen te worden onderzocht. De maatregelen zijn onderzocht en de afwegingen op doelmatigheid zijn uitgevoerd. Omdat er op basis van artikel 9 lid 1 van de Bts geen doelmatige maatregelen bestaan om de trillingen terug te dringen tot de gewenste waarden, blijven maatregelen achterwege.

Beoordelen van de trillingsschade voor apparatuur en leidingen tijdens de gebruiksfase

Met betrekking tot de trillingsschade voor apparatuur en leidingen tijdens de gebruiksfase wordt geconcludeerd dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

Beoordelen van de trillingen tijdens de aanlegfase

Op basis van de beschikbare informatie en gezien de inzet van trillingsarme technieken in de aanlegfase is er naar verwachting geen sprake van een verhoogde kans op schade aan gebouwen door trillingen conform de SBR richtlijn deel A.

8 LITERATUURLIJST

- [1] Vibration of soils and foundations Richart, Hall en Woods Prentice Hall 1970
- [2] Gedrag van constructies en funderingen dr. Ir. P.H. Waarts Trillinghinder en contactgeluid
Stichting Postacademisch Onderwijs november 2001

Bijlage 1 Metingen referentieobjecten

De gewapende grondconstructie bestaat uit betonnen panelen met gewapende grond. Vanwege de hogere stijfheid van een gewapende grondconstructie ten opzichte van de aarden baan wordt de gewapende grond constructie in deeltracé 1 en 9, ten minste vergelijkbaar geacht met de referentieconstructie aardenbaan aan de Botlekweg / Clydeweg. Hiermee wordt voor de gewapende grondconstructie een worst case benadering gevolgd.

De pijlers van de stalenboogbrug met beton/staaldek, in deeltracé 5 en 8 wordt op basis van de gegevens van de referentieconstructie aan de Blindeweg beschouwd. De overspanning van de stalenboogbrug (173 m) is groter dan van de referentieconstructie (25-45 m). Hiermee zal er naar verwachting meer laag frequente trillingen in de trillingsemissie van de brugpijlers aanwezig zijn omdat de eigenfrequentie van de brug lager is dan van de referentieconstructie. Anderzijds zijn de funderingen van de brugpijlers significant zwaarder uitgevoerd dan van de pijlers van de trolliggerconstructie waardoor de brugpijlers minder makkelijk in trilling worden gebracht. Per saldo is het resultaat van de meting aan de bestaande constructie te beschouwen als een conservatieve schatting.

Op hoofdlijn is de principe opbouw van de trogliggerconstructie in het Theemswegtracé:

- Spoorstaaf op dwarsligger;
- Ballastbed;
- Ballastmat;
- Trogliggerconstructie (overspanning circa 10 tot 45 m);
- Oplegging met een rubber oplegblok;
- Kolom 2 stuks (dikte 1,25 m);
- Poer (dikte circa 1,5 m afmeting 11*8 m afmetingen variëren over tracé);
- Paalfundering (5*7 palen) met paalpunt op -26 m N.A.P.

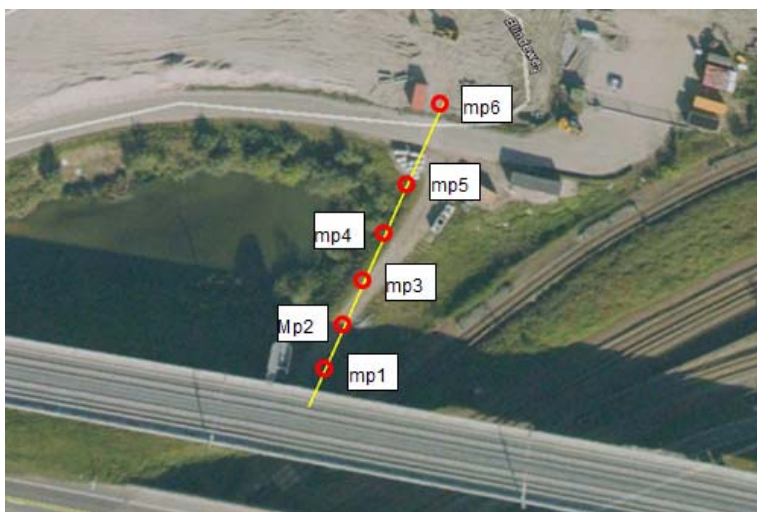
Op hoofdlijn is de principe opbouw van de trog referentieconstructie aan de Blindeweg:

- Spoorstaaf op dwarsligger;
- Ballastbed;
- Ballastmat;
- Trogliggerconstructie met kokervloer (overspanning westzijde 25 m oostzijde 45 m);
- Oplegging met een rubber oplegblok;
- Kolom (doorsnede 1,9 m);
- Poer (dikte 2 m afmeting 5,7*7,2 m);
- Paalfundering met paalpunt op -23,5 m N.A.P.

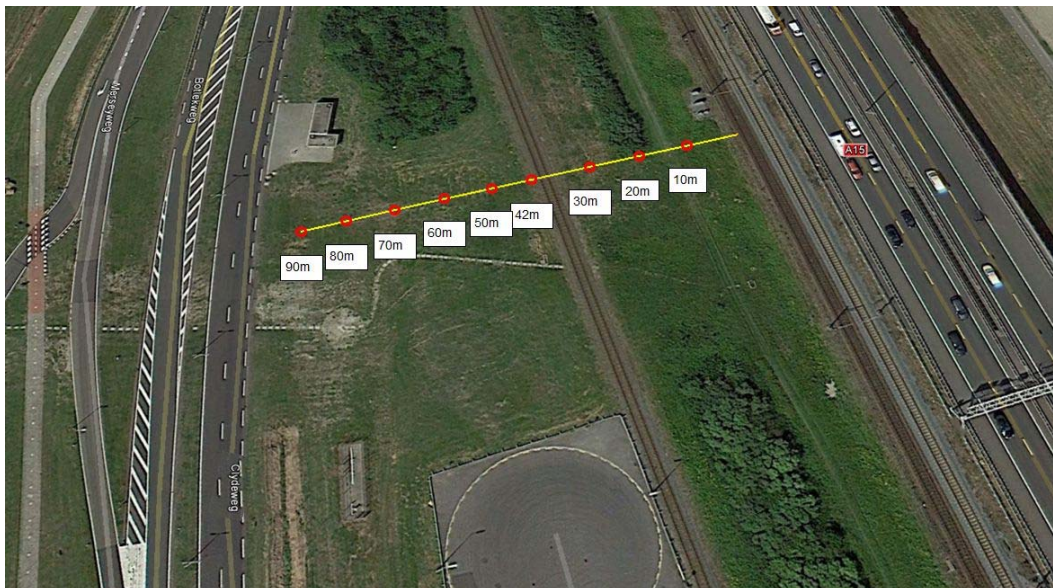
De trogliggerconstructie, prefabbetonnenliggers in combinatie met pijlerbalk, deeltracé 2, 3, 4, 6 en 7, worden vergelijkbaar geacht met de referentieconstructie trog op pijlers aan de Blindeweg.

De trillingen worden in het maaiveld door de poer en paalfundering ingeleid. De fundering van de referentieconstructie heeft orde van grootte een vergelijkbare afmeting als het ontwerp. Het ontwerp van het Theemswegtracé heeft twee kolommen en de referentieconstructie heeft een kolom. De trillingen worden op identieke wijze ingeleid in het maaiveld door de geometrisch vergelijkbare poer en palen. De enkelvoudige dan wel meervoudige kolom draagt de statische en dynamische krachten van de dwarsbalk over op de poer. De statische en dynamische krachten van de dwarsbalk op de pijlerconstructie bij een passage van een trein zijn gelijk. De overdracht van statische en dynamische krachten van de dwarsbalk naar de poer wordt bepaald door stijfheid (en massa) van de enkelvoudige en meervoudige kolom. Het verschil in massa van de kolom is beperkt in vergelijking tot de massa van de gehele constructie. Ervan uitgaande dat de stijfheid van de enkelvoudige en meervoudige kolom vergelijkbaar zijn is de constructie vergelijkbaar te achten met de referentieconstructie.

Er zijn trillingsmetingen uitgevoerd naast het havenspoor tracé op een locatie waar het spoor in een betonnen trogconstructie op palen ligt. Naast een kolom van de betonnen trogconstructie is een meetraai aangebracht waarbij om de 10 meter op het maaiveld een trillingmeetpunt is aangebracht. Het laatste meetpunt (mp6) heeft een tussenruimte van 20 m ten opzichte van mp5 in verband met het asfalt van de Blindeweg. Ter hoogte van mp2 is een relevante basalt split in het maaiveld aanwezig in verband met een niet verharde onderhoudsweg.



Figuur 1.1 meetraai referentieobject trog op pijlers



Figuur 1.2 meetraai referentieobject aarden baan

Het doel van de metingen is het vastleggen van trillingen in de bodem ten gevolge van passages van goederentreinen over het havenspoortracé ter hoogte van de Blindeweg te Rotterdam. De meetresultaten worden gepresenteerd in de grootte V_{top} conform de SBR richtlijn deel A “Schade aan gebouwen” en in de grootte $V_{eff,max}$ conform de SBR richtlijn deel B “Hinder voor personen in gebouwen”.

Op donderdag 2 juli 2015 zijn metingen aan de trog op pijlers uitgevoerd. Op vrijdag 9 oktober 2015 zijn metingen aan de aarden baan uitgevoerd. Tijdens alle trillingsmetingen zijn de trillingniveaus in de meetapparatuur opgeslagen.





Figuur 1.2 Weergave passages goederentrein op 2 juli

In tabel 1.1 en tabel 1.2 zijn alle passages weergegeven. In figuur 1.2 is een aantal foto's van de passages weergegeven. Met een radarpistool is de rijsnelheid gemeten. Aangezien vanuit de meetpositie het schootsveld van het radarpistool en de rijlijn van de trein een hoek van circa 10 tot 25 graden met elkaar maken is de gepresenteerde snelheid een benadering van de werkelijke momentane rijsnelheid.

Tabel 1.1 Passages referentieobject trog op pijlers

Nummer passage	tijd	Snelheid [km/u]	Rijrichting van-naar	Gewicht*	Lengte*	Omschrijving*
1	9:07	55	oost-west	506	181	1 loc + 11 tankwagens
2	9:18	71	west-oost	1120	538	1 loc + 20 containers
3	9:23	79	oost-west	1294	496	1 loc + 23 containers
4	9:30	72	oost-west	992	461	1 locs + 34 ertswagens
5	9:57	71	oost-west	1579	676	1 loc + 25 containers
6	11:17	72	west-oost	1209	566	1 loc + 22 containers
7	12:00	62	west-oost	476	235	1 loc + 16 tankwagens
8	12:10	71	west-oost	1365	655	1 loc + 30 containers
9	12:12	61	oost-west	1208	662	1 loc + 28 containers
10	12:29	62	oost-west	1527	606	2 locs + 38 ertswagens
11	12:36	69	west-oost	86	9	1 loc
12	13:01	61	west-oost	3600	583	1 locs + 39 ertswagens
13	13:07	67	west-oost	5298	605	2 locs + 37 ertswagens
14	13:28	73	oost-west	1245	594	2 locs + 43 ertswagens
15	13:31	67	west-oost	203	95	1 loc + 5 tankwagens
16	14:07	64	oost-west	339	172	1 loc + 10 tankwagens
17	14:14	68	oost-west	--	--	1 loc**
18	14:15	67	west-oost	--	--	1 loc + 48 containers**
19	14:50	67	west-oost	--	--	1 loc + 3 wagens**
20	15:02	66	west-oost	--	--	1 loc + 21 tankwagens**

* opgave Hbr

** visuele waarneming

Tabel 1.2 Passages referentieobject aarden baan

Nummer passage	tijd	Snelheid [km/u]	Rijrichting van-naar	Gewicht*	Lengte*	Omschrijving*
1	10:55	62	zuid-noord	2102	664	1 loc + 25 containerwagens
2	11:06	50	zuid-noord	1219	596	1 loc + 17 containerwagens
3	11:21	80	noord-zuid	--	--	1 loc**
4	11:28	70	noord-zuid	--	--	1 loc + 38 ertswagens**
5	11:48	70	noord-zuid	5351	605	1 loc + 37 ertswagens
6	11:54	70	noord-zuid	--	--	1 loc**
7	12:05	70	noord-zuid	3654	584	1 loc + 39 containerwagens
8	12:59	70>60	zuid-noord	--	--	1 loc + 48 containerwagens**
9	13:21	70>60	zuid-noord	1418	585	1 locs + 38 ertswagens
10	13:41	70>60	zuid-noord	855	561	1 loc + 21

Nummer passage	tijd	Snelheid [km/u]	Rijrichting van-naar	Gewicht*	Lengte*	Omschrijving*
						containerwagens
11	13:48	76	noord-zuid	994	500	1 loc + 38 containerwagens
12	13:53	77	noord-zuid	87	13	1 loc
13	13:56	81	zuid-noord	--	--	1 loc**
14	14:04	74	noord-zuid	879	346	1 loc + 19 containerwagens
15	14:12	78	noord-zuid	--	--	1 loc + 43 containerwagens**
16	14:31	40	zuid-noord	1390	663	1 loc + 28 wagens
17	14:38	72	noord-zuid	4753	545	2 locs + 34 ertswagens
18	14:52	66	noord-zuid	--	--	1 loc + 44 containerwagens**

* opgave Hbr

** visuele waarneming

Trog op pijlers

De meetwaarden zijn onderstaand in tabel 1.3 t/m 1.5 numeriek gepresenteerd. De maatgevende trillingsrichting is verticaal. De hoogste verticale trillingssnelheid in mp1 op 10 m afstand bedroeg $V_{top} = 0,60$ mm/s en $V_{eff,max} = 0,31$ [--]. De hoogste meetwaarde is door een passage van een ertstrein bepaald. De maatgevende frequentie ligt overwegend tussen 1 en 20 Hz. Van een FFT analyse met een lijnbreedte van 1 Hz van de passage met de hoogste meetwaarde zijn de maatgevende frequenties 1 en 6 Hz. In totaal zijn 5 passages van ertstreinen gemeten. Twee passages van west naar oost en drie passages van oost naar west. De meetwaardes op 10 m afstand variëren van $V_{eff,max}$ 0,11 tot 0,31 [--]. Naast de ertstreinen geven ook de treinen met containers en tankwagens relevante waarden tot $V_{eff,max} = 0,22$ [--].

Tabel 1.3 Meetwaarden $V_{eff,max}$ referentieobject trog op pijlers

meetpunt	afstand tot hart pijler [m]	$V_{eff,max}$	
		hoogste waarde	hoogste waarden
		Z [--]	Y [--]
1	10	0,31	0,07
2	20	0,22	0,07
3	30	0,19	0,11
4	40	0,18	0,11
5	50	0,14	0,15
6	70	0,18	0,19

Tabel 1.4 Meetwaarden $V_{per,meet}$ referentieobject trog op pijlers

meetpunt	afstand tot hart pijler [m]	$V_{per,meet}$	
		20 passages	20 passages
		Z [–]	Y [–]
1	10	0,16	0,04
2	20	0,11	0,03
3	30	0,10	0,04
4	40	0,08	0,06
5	50	0,07	0,09
6	70	0,05	0,05

Tabel 1.5 Meetwaarden V_{top} referentieobject trog op pijlers

meetpunt	afstand tot hart pijler [m]	V_{top}	
		hoogste waarde	hoogste waarden
		Z [mm/s]	Y [mm/s]
1	10	0,60	0,26
2	20	0,41	0,18
3	30	0,37	0,18
4	40	0,35	0,26
5	50	0,20	0,22
6	70	0,26	0,27

Aarden baan

De meetwaarden zijn onderstaand in tabel 1.6 t/m 1.8 numeriek gepresenteerd. De maatgevende trillingsrichting is verticaal. Meetpunt mp1 ligt op 10 m afstand rand dichtstbijzijnde spoor en op 12,75 m afstand van het midden van de twee sporen. De hoogste verticale trillingssnelheid in mp1 op 10 m afstand rand dichtstbijzijnde spoor bedroeg $V_{top} = 1,48$ mm/s en $V_{eff,max} = 0,86$ [–]. De hoogste meetwaarde is door een passage van een ertstrein bepaald. De maatgevende frequentie ligt overwegend tussen 1 en 20 Hz. In totaal zijn 4 passages van ertstreinen gemeten. Drie passages van noord naar zuid en een passages van zuid naar noord. De meetwaardes op 10 m afstand variëren van $V_{eff,max}$ 0,22 tot 0,86 [–]. Naast de ertstreinen geven ook de treinen met containers en tankwagens relevante waardes tot $V_{eff,max} = 0,59$ [–]. Vanaf 40 m afstand zijn de meetwaarden door passages van zwaar vrachtverkeer over de Clydeweg beïnvloed. De meetwaardes vanaf 70 m afstand zijn vanwege verstoring niet gepresenteerd.

Tabel 1.6 Meetwaarden $V_{eff,max}$ referentieobject aarden baan

meetpunt	afstand tot hart aarden baan [m]	$V_{eff,max}$	
		hoogste waarde	hoogste waarden
		Z [–]	Y [–]
1	12,75	0,86	0,79
2	22,75	0,70	0,35
3	32,75	0,43	0,32
4	42,75	0,49	0,15
5	52,75	0,41	0,31
6	62,75	0,45	0,32

Tabel 1.7 Meetwaarden $V_{per,meet}$ referentieobject aarden baan

		$V_{per,meet}$	
meetpunt	afstand tot hart pijler [m]	20 passages	20 passages
		Z [–]	Y [–]
1	12,75	0,41	0,32
2	22,75	0,25	0,13
3	32,75	0,20	0,15
4	42,75	0,20	0,09
5	52,75	0,19	0,15
6	62,75	0,19	0,17

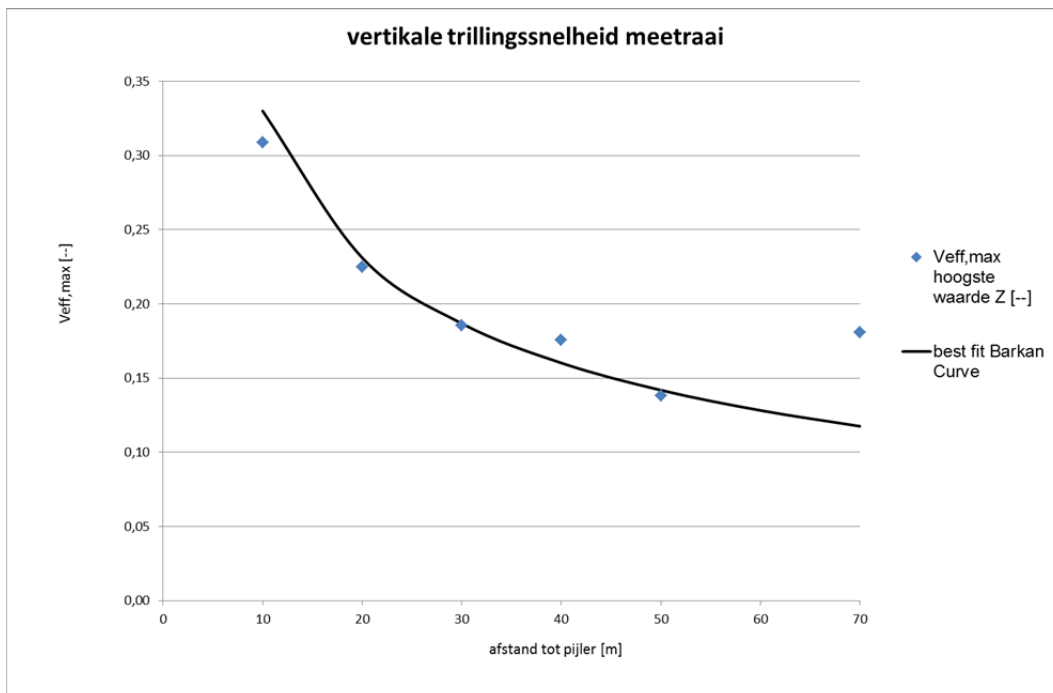
Tabel 1.8 Meetwaarden V_{top} referentieobject aarden baan

		V_{top}	
meetpunt	afstand tot hart pijler [m]	hoogste waarde	hoogste waarden
		Z [mm/s]	Y [mm/s]
1	12,75	1,48	1,36
2	22,75	1,21	0,60
3	32,75	0,77	0,55
4	42,75	0,90	0,27
5	52,75	0,75	0,58
6	62,75	0,84	0,55

Voor het aspect hinder worden de meetwaardes gepresenteerd in de grootheid $V_{eff,max}$. Voor het aspect schade worden de meetwaardes gepresenteerd in de grootheid V_{top} . In de Figuren 1.3 t/m 1.8 is voor de grootheid $V_{eff,max}$ de passage met de hoogste meetwaarde en het gemiddelde meetwaarde van alle passages weergegeven. Voor de grootheid V_{top} is de passage met de hoogste meetwaarde weergegeven.

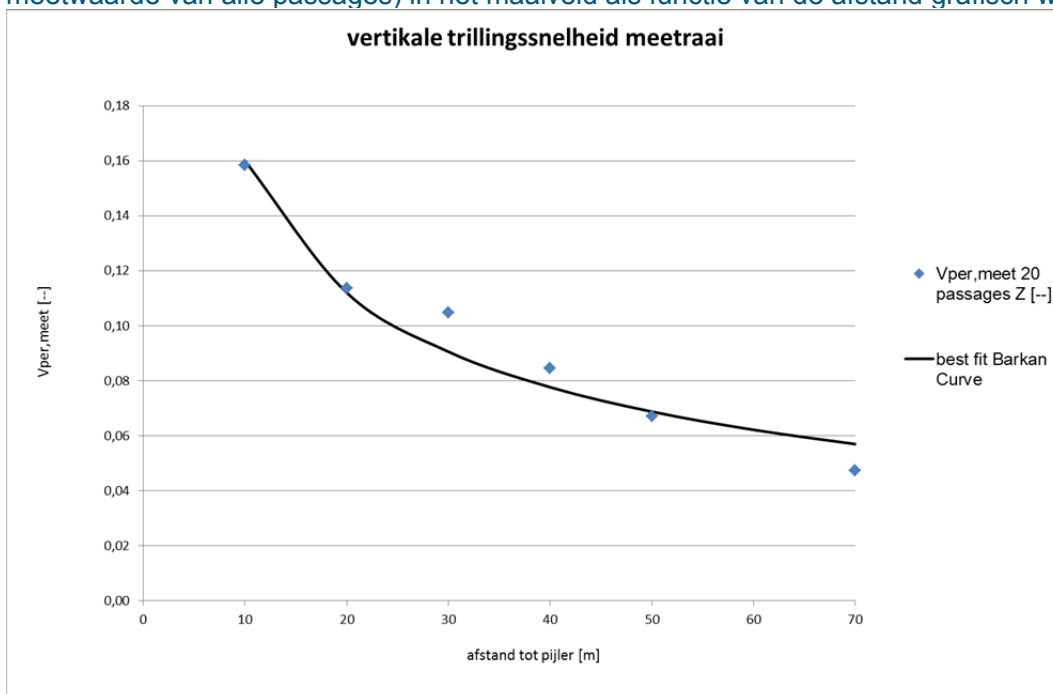
In grafiek 1.3 t/m 1.8 zijn naast de meetwaarden lijnen van de best fit Barkanparameters weergegeven, deze best fit Barkanparameters worden op pagina 14 onder de grafieken toegelicht.

In figuur 1.3 is het verloop van de verticale trillingsnelheden $V_{eff,max}$ (passage met hoogste meetwaarde) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



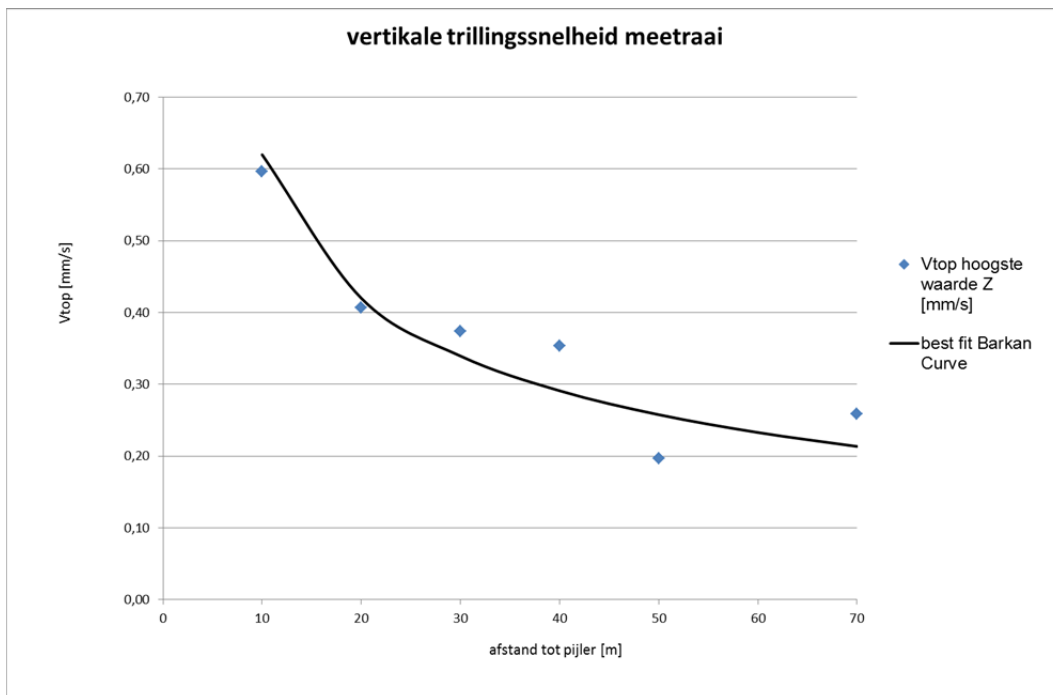
Figuur 1.3 Grafische weergave verticale trillingssnelheden $V_{eff,max}$ (passage met hoogste waarde) referentieobject trog op pijlers

In figuur 1.4 is het verloop van de verticale trillingsnelheden $V_{per,meet}$ (kwadratisch gemiddelde meetwaarde van alle passages) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



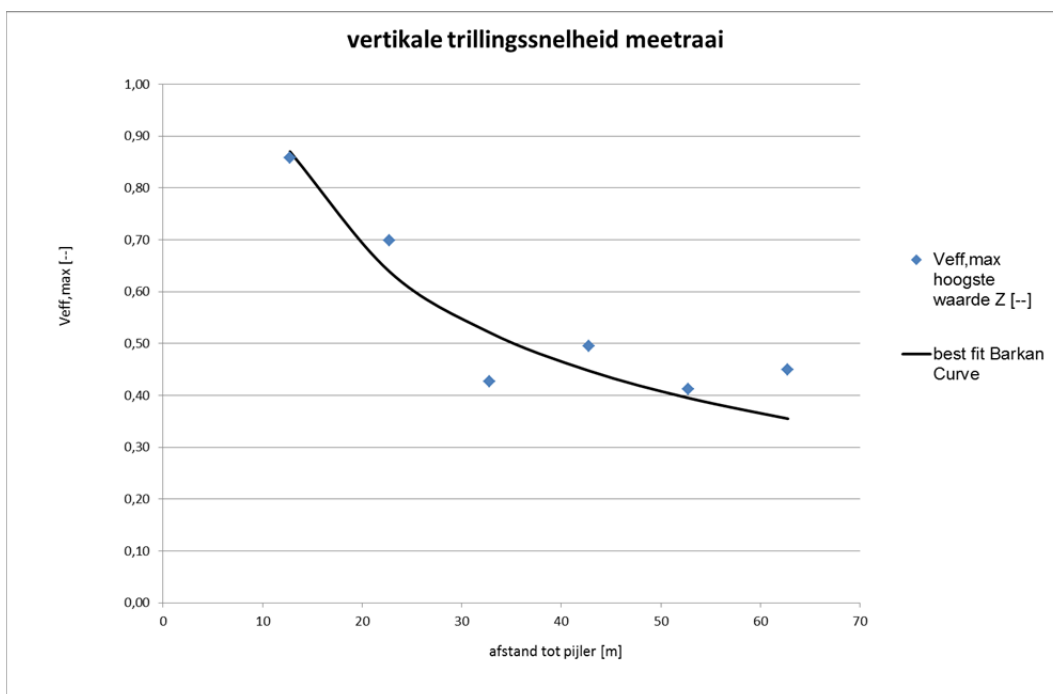
Figuur 1.4 Grafische weergave gemiddelde verticale trillingsnelheden $V_{per,meet}$ referentieobject trog op pijlers

In figuur 1.5 is het verloop van de verticale trillingsnelheden V_{top} (passage met hoogste meetwaarde) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



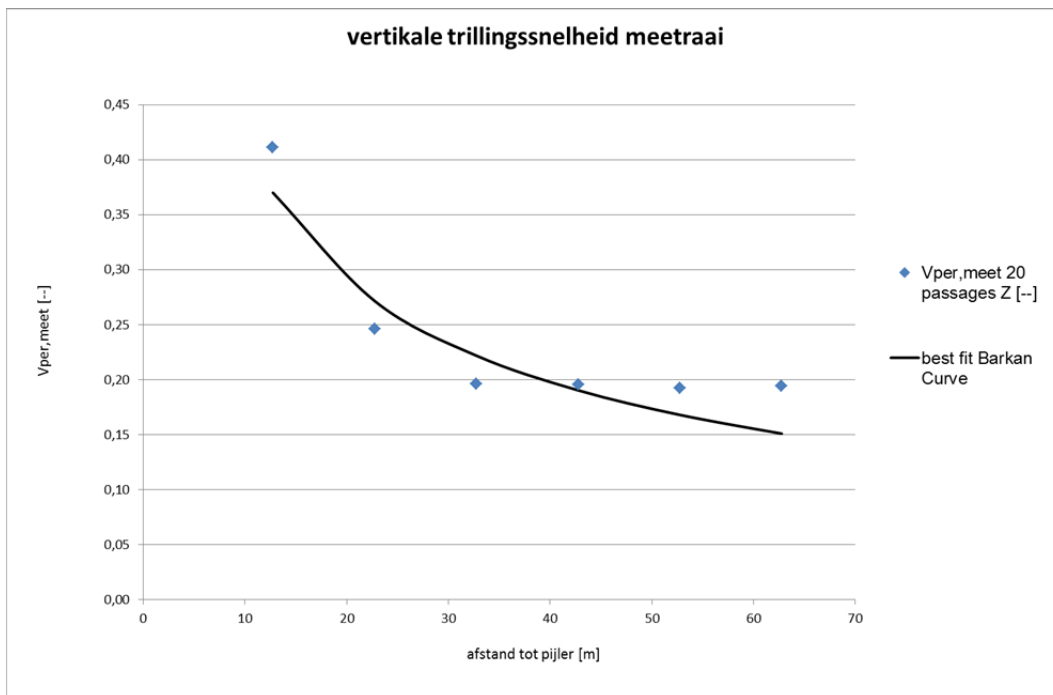
Figuur 1.5 Grafische weergave verticale trillingssnelheden V_{top} referentieobject trog op pijlers

In figuur 1.6 is het verloop van de verticale trillingsnelheden $V_{eff,max}$ (passage met hoogste meetwaarde) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



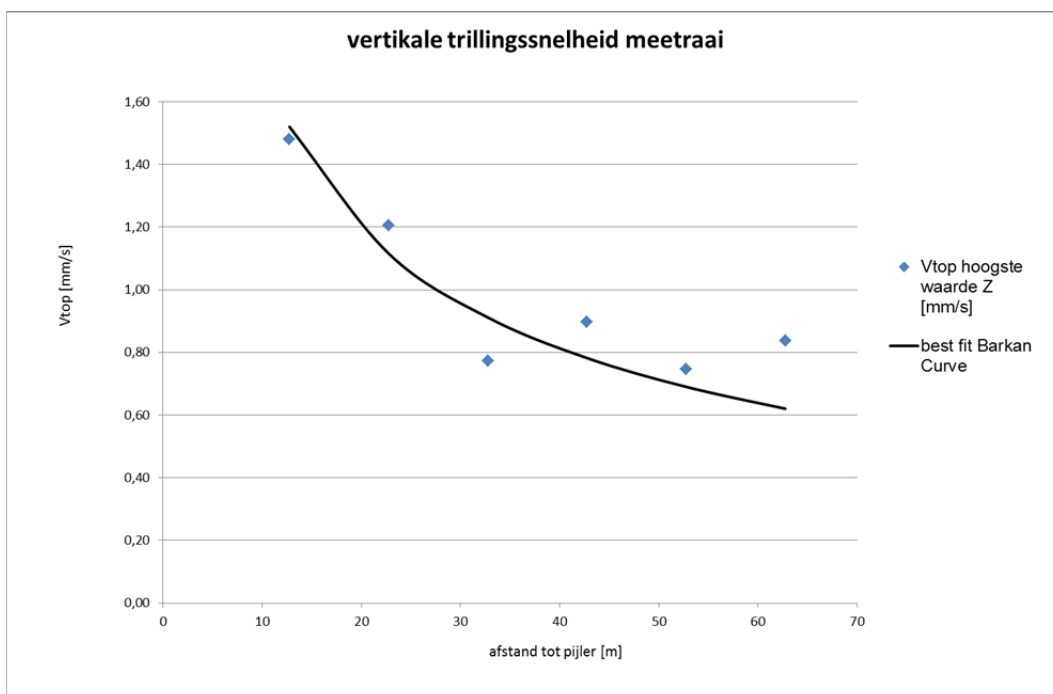
Figuur 1.6 Grafische weergave verticale trillingssnelheden $V_{eff,max}$ referentieobject aarden baan

In figuur 1.7 is het verloop van de verticale trillingsnelheden $V_{per,meet}$ (gemiddelde meetwaarde van alle passages) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



Figuur 1.7 Grafische weergave verticale trillingssnelheden $V_{per,meet}$ referentieobject aarden baan

In figuur 1.8 is het verloop van de verticale trillingsnelheden V_{top} (passage met hoogste meetwaarde) in het maaiveld als functie van de afstand grafisch weergegeven.



Figuur 1.8 Grafische weergave verticale trillingssnelheden V_{top} referentieobject aarden baan

De meetwaardes zijn in de grafieken met punten weergegeven. De relatie tussen afstand en trillingsniveau in de bodem is gegeven op basis van de meetdata met de empirische formule van Barkan [1] voor trillingen in het verre veld van een homogene isotrope halfruimte bepaald.

Prognose model trillingen

Berekening gemiddelde trillingssterkte V_{per}

Voor de prognose van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan.

$$V_{\text{eff,max},R} = V_{\text{eff,max},R_0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

$V_{\text{eff,max},R}$	trillingssterkte op een afstand R van het hart van de pijler;
$V_{\text{eff,max},R_0}$	trillingssterkte op een referentieafstand R_0 van het hart van de pijler;
R	afstand tot hart van de pijler van het tracé;
R_0	referentieafstand tussen meetpunt en de bron 10 m;
α	materiaaldemping in de bodem (1/m);
n	n = 0.5 voor R-golven.

De geometrische demping is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven (n = 0.5) is de geometrische demping kleiner dan voor de P-(pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P- en S-golf de grootste energie (>67%).

Omdat de sondering van de Theemsweg boven het zandpakket de meeste gelijkenis vertoont met de sondering van meetlocatie Clydeweg/Botlekweg is ervoor gekozen de materiaal demping α 0,002 aan te nemen op basis van meetwaardes op locatie Clydeweg/Botlekweg.

Onderstaand zijn in tabel 1.9. de best fit Barkanparameters op basis van de meetwaarden numeriek weergegeven welke de basis voor de prognoseberekeningen vormen. Best fit houdt in dat de som van de verschillen tussen meetwaarde en de lijn van de Barkan curve het kleinst is. Bij de vaststelling van de Barkan parameters voor de hoogste meetwaarde van $V_{\text{eff,max}}$ zijn bij referentieobject aarden baan de meetwaardes op 70 m afstand en bij referentieobject aarden baan de meetwaardes vanaf 52,75 m afstand in verband met verstoring niet meegewogen. Het gemiddelde van de meetwaarde $V_{\text{per,meet}}$ vormt de basis voor de berekening van V_{per} .

Tabel 1.9 Barkanparameters voor trillingsprognose

		$V_{\text{eff,max}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	α [--]
Trog op pijlers	Hoogste meetwaarde passage goederentreinen	0,33	10	0,5	0,002
		$V_{\text{per,meet}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	α [--]
	gemiddelde meetwaarde passage goederentreinen	0,16	10	0,5	0,002
		$V_{\text{top}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	A [--]
	Hoogste meetwaarde passage goederentreinen	0,62	10	0,5	0,002
		$V_{\text{eff,max}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	α [--]
Aarden baan	Hoogste meetwaarde passage goederentreinen	0,87	12,75	0,5	0,002
		$V_{\text{per,meet}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	α [--]
	gemiddelde meetwaarde passage goederentreinen	0,37	12,75	0,5	0,002
		$V_{\text{top}}(r_0)$ [--]	r_0 [m]	N	A [--]
	Hoogste meetwaarde passage goederentreinen	1,52	12,75	0,5	0,002

Voor de berekening van de trillingsniveaus op basis van de in tabel 1.9 weergegeven parameters is de afstand tussen hart pijler en de dichtstbijzijnde gevel van een object gebruikt. Voor de berekening van het trillingsniveau op basis van de referentieconstructie aarden baan is de afstand tussen hart tracé en de dichtstbijzijnde gevel van een object gebruikt. De eventueel optredende sommatie tussen verschillende pijlers zit al in de empirische best fit barkan curve verwerkt. Aangenomen is dat de overdrachtverhouding van maaiveld naar fundering kantoor 1 [--] bedraagt. Bij de bepaling van de trillingsniveaus in objecten is in de overgang tussen gewapende grondconstructie en trog op pijlers de hoogste van beide als maatgevend genomen. De V_{max} is de hoogst voorkomende $V_{\text{eff,max}}$ in een periode.

Opslingering vloeren

De bodemtrillingen bereiken de fundering van gebouwen langs het spoor. Via de funderingen worden ook de vloeren in zo'n gebouw in trilling gebracht. Bij voldoende energie zijn die trillingen voelbaar voor mensen die in het gebouw (op de vloer) verblijven. De trillingen in de hoofddragconstructie worden in de vloervelden versterkt. Dit wordt uitgedrukt in een opslingerfactor [--]. Op basis van publicatie [2] bedraagt de opslingerfactor in verticale richting voor een vloerveld met overspanning L.

$$Hvf = 0,4 + \sqrt{\frac{f_e}{76\zeta}}$$

waarin voor massief beton:

$$f_e = 130 / L$$

waarin voor broodjesvloer van beton:

$$f_e = 300 / L^2$$

Dempingsmaat $\zeta=0,047$ [--] voor een breedplaat betonvloer. Dempingsmaat $\zeta=0,049$ [--] voor een broodjesvloer van beton.

De bovenstaande formules gelden voor stationaire trillingen. Gezien de duur van een enkele passage van een goederentrein zijn de trillingen in de vloeren als stationair te beschouwen. De opslingering van vloeren is op beschikbare tekeningen en informatie gebaseerd. Indien geen informatie beschikbaar is, is als worst case een opslingerfactor van 3 [--] gehanteerd. Bij de berekening voor de objecten kantoor Egin en Brandweer is gebruik gemaakt van de gemeten gehele overdracht van spoor naar vloerveld en de verhouding tussen signaal maaiveld en signaal vloerveld.

Bij gebouwen met een bouwlaag wordt een worst case benadering gevolgd door een opslingerfactor van 3 [--] te hanteren. Het betreft allemaal gebouwen met een hoofd draagconstructie op palen. In de loop der jaren kan ruimte tussen vloer en onderliggend zandbed ontstaan. Dat houdt in dat ook op beganegrond in principe een vloerveld met een vrije overspanning kan ontstaan en dus ook opslingering kan optreden. Als dit verschijnsel niet is ontstaan dan is de werkelijke opslingerfactor 1 [--].

Berekening gemiddelde trillingssterkte V_{per}

De V_{per} is de gemiddelde trillingssterkte die de treinen gezamenlijk veroorzaken. De V_{per} is dus afhankelijk van de intensiteit van het aantal passerende treinen. Hoe meer treinen er passeren, des te hoger de V_{per} zal zijn. Voor dit project is op basis van worst case een V_{per} berekend om te toetsen aan de normen. Hieronder wordt de berekening V_{per} toegelicht:

Eerst is de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima over de meetperiode berekend:

$$V_{per,meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{eff,max,30,i}^2 \right]}$$

waarin:

$V_{per,meet}$ = de kwadratisch gemiddelde waarde van de maxima over de meetperiode;

n = aantal gehele tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van een meting;

$v_{eff,max,30,i}$ = de grootste waarde van $v_{eff}(t)$ in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos;

i = de variabele welke het interval van 30 seconden aangeeft waarin $v_{eff,max,30,i}$ is gemeten.

Vervolgens wordt de effectieve waarde over de beoordelingsperiode berekend. Hierbij wordt de verhouding tussen de bedrijfsduur van de trillingsbron en de duur van de beoordelingsperiode in de berekening betrokken:

$$V_{\text{per}} = V_{\text{per,meet}} \cdot \sqrt{\frac{T_b}{T_0}},$$

waarin:

V_{per} = de effectieve waarde van de maxima $V_{\text{eff,max},30,i}$ bepaald per beoordelingsperiode over N aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden, dimensieloos;

T_b = de totale tijdsduur van de trilling in desbetreffende beoordelingsperiode, in seconden;

T_0 = duur van de beoordelingsperiode, in seconden (dag: 43.200 seconden).

Voor de berekening van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is de gemiddelde meetwaarde $V_{\text{per,meet}}$ gehanteerd. Dit houdt in dat de berekening van V_{per} gebaseerd is op de mix van samenstelling van treinen zoals deze zich tijdens de metingen aan de referentieobjecten voordeed (zie tabel 2.2 en 2.3). Deze mix wordt beschouwd als representatief voor de gebruiksfase van het Theemswegtracé.

Voor de berekening zijn de in Tabel 2.1.10 gepresenteerde intensiteiten en gemiddelde treinlengtes gehanteerd.

Tabel 1.10 prognose intensiteiten aantal treinen en treinlengtes

Trillingen Realisatie 2013		Treinen en losse locs per etmaal			
Calandbrug		(som der beide richtingen)			
Materieeltype	Traject	Dag	Avond	Nacht	Gem.lengte (m)
Losse Loc	Erp-Bot v.v.	11,2	3,9	6,6	20
Goederentrein	Erp-Bot v.v.	32,9	10,4	14,9	527
Trillingen prognoses 2030		Treinen en losse locs per etmaal			
Projectalternatief Theemswegtracé		(som der beide richtingen)			
Materieeltype	Traject	Dag	Avond	Nacht	Gem.lengte (m)
Losse Loc	Erp-Bot v.v.	11,2	3,9	6,6	20
Goederentrein	Erp-Bot v.v.	104,6	38,0	47,5	593

Er is uitgegaan van een snelheid van 80 km/u. De passagetijd van een loc en goederentrein bedraagt hiermee respectievelijk 0,9 seconde en 23,7 seconde.

De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is een kwadratisch gemiddelde van alle periodes van 30 seconde dat de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ groter is dan 0,1 [--]. Een passage van een trein kan derhalve twee periodes van 30 seconde de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ bepalen. Er wordt bij de berekening van V_{per} verondersteld dat elke goederentrein twee periodes van 30 seconde de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ bepaalt en dat een passage van een loc één periode van 30 seconde de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ bepaalt.

De berekening van V_{per} is in enige mate een overschatting omdat deze veronderstelt dat elke goederentrein twee periodes van 30 seconde de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ bepaalt. In werkelijkheid kan het voorkomen dat een passage van een goederentrein slechts één periode de waarde van $V_{\text{eff,max}}$ bepaalt.

Meting referentieobject trog op pijlers voor leidingen

Aan het referentieobject trog op pijlers zijn op 26-11-2015 aanvullend metingen verricht in verband met het raakvlak tussen leidingen en tracé. Doel van de metingen is aanvullend gegevens verzamelen om de belasting van leidingen in de directe nabijheid van de referentieconstructie inzichtelijk te maken.

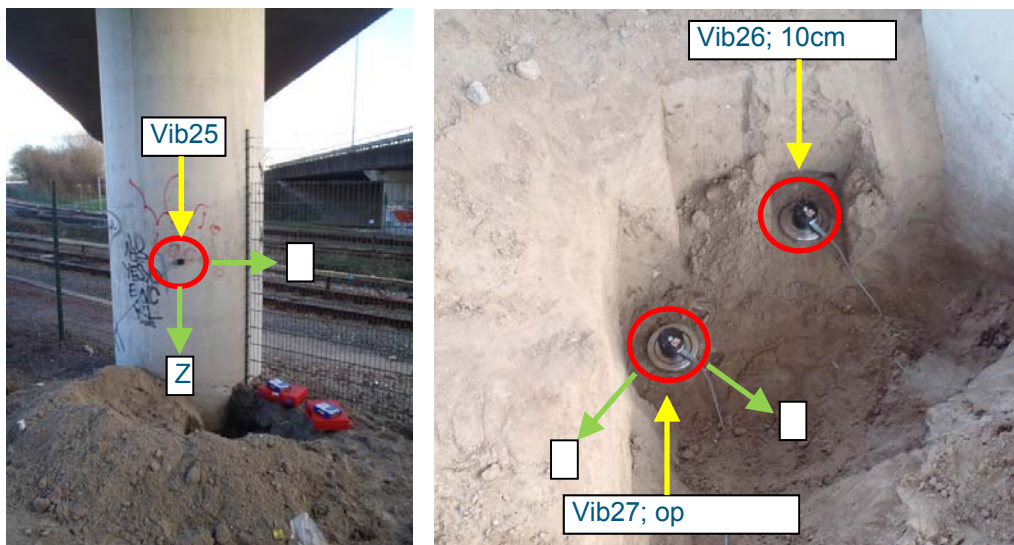
Op de kolom en poer van de kolom van de betonnen trogconstructie is een meetpunt aangebracht. Tevens is op 10 cm boven de poer een meetpunt in de bodem aangebracht. Onderstaand zijn enkele foto's weergegeven.



Figuur 1.9: situatie Blindeweg te Rotterdam met locatie kolom 18 rode cirkel



Figuur 1.10: meetlocatie gezien van af Blindeweg



Figuur 1.11 en 1.12: meetpunten kolom 18 en meetrichting groen

De meetwaarden zijn onderstaand in tabel 1.11 numeriek gepresenteerd. De maatgevende trillingsrichting is verticaal. De hoogste verticale trillingssnelheid in het meetpunt op de poer bedroeg $V_{top} = 2,80$ mm/s. De hoogste verticale trillingssnelheid in het meetpunt op de kolom bedroeg $V_{top} = 1,24$ mm/s. De hoogste verticale trillingssnelheid in het meetpunt in de bodem bedroeg $V_{top} = 1,24$ mm/s. De hoogste meetwaarde is door een passage van een ertstrein bepaald. De maatgevende frequentie ligt overwegend tussen 1 en 20 Hz.

Tabel 1.11 Passages referentieobject trog op pijler

Nummer passage	tijd	Snelheid [km/u]	Rijrichting van-naar	V_{top} [mm/s] meetpunt Vib25 kolom	V_{top} [mm/s] meetpunt Vib27 Poer	V_{top} [mm/s] meetpunt Vib26 10 cm boven poer	Omschrijving*
1	9:40	56	oost-west	0,72	1,66	0,34	1 loc + 38 ertswagens
2	9:44	63	west-oost	0,52	0,79	0,35	1 loc + 40 containers
3	10:09	55	west-oost	0,19	0,28	0,11	1 loc
4	10:26	74	west-oost	0,68	1,53	0,62	1 loc + 44 containers
5	10:38	66	west-oost	0,65	1,60	0,63	2 loc + 36 ertswagens
6	11:01	61	oost-west	0,33	1,42	0,25	1 loc + 38 containers
7	11:20	71	west-oost	1,05	1,70	1,15	2 locs + 39 ertswagens
8	11:26	66	oost-west	0,29	0,40	1,05	1 loc
9	11:27	64	west-oost	1,24	1,81	1,24	1 loc + 27 ketelwagens
10	11:51	60	west-oost	1,18	2,57	1,09	1 loc + 38 ertswagens
11	12:15	63	oost-west	0,43	1,25	0,33	2 locs + 38 ertswagens
12	12:22	58	oost-west	0,69	0,94	0,66	1 loc + 36 containers
13	12:44	73	oost-west	0,35	0,48	0,08	1 loc
14	12:52	64	west-oost	0,94	2,70	0,48	2 locs + 43 ertswagens
15	13:03	80	oost-west	0,57	0,72	0,37	2 locs
16	13:15	76	west-oost	0,08	0,42	0,21	1 loc
17	13:27	59	oost-west	1,24	1,59	1,20	1 loc + 28 containers
18	13:27	64	west-oost	1,24	1,59	1,20	1 loc + 21 Ketel + 6 huifwagens
19	14:14	69	west-oost	0,37	0,49	0,32	1 loc
20	14:36	66	oost-west	0,58	1,35	0,39	1 loc + 13 Ketelwagens
21	14:43	74	oost-west	0,61	1,04	0,48	2 loc + 44 ertswagens
22	14:48	73	west-oost	0,99	2,80	0,93	2 loc + 44 ertswagens

* visuele waarneming

Bijlage 2 Kaart kantoren en trillingsgevoelige apparatuur Theemswegtracé

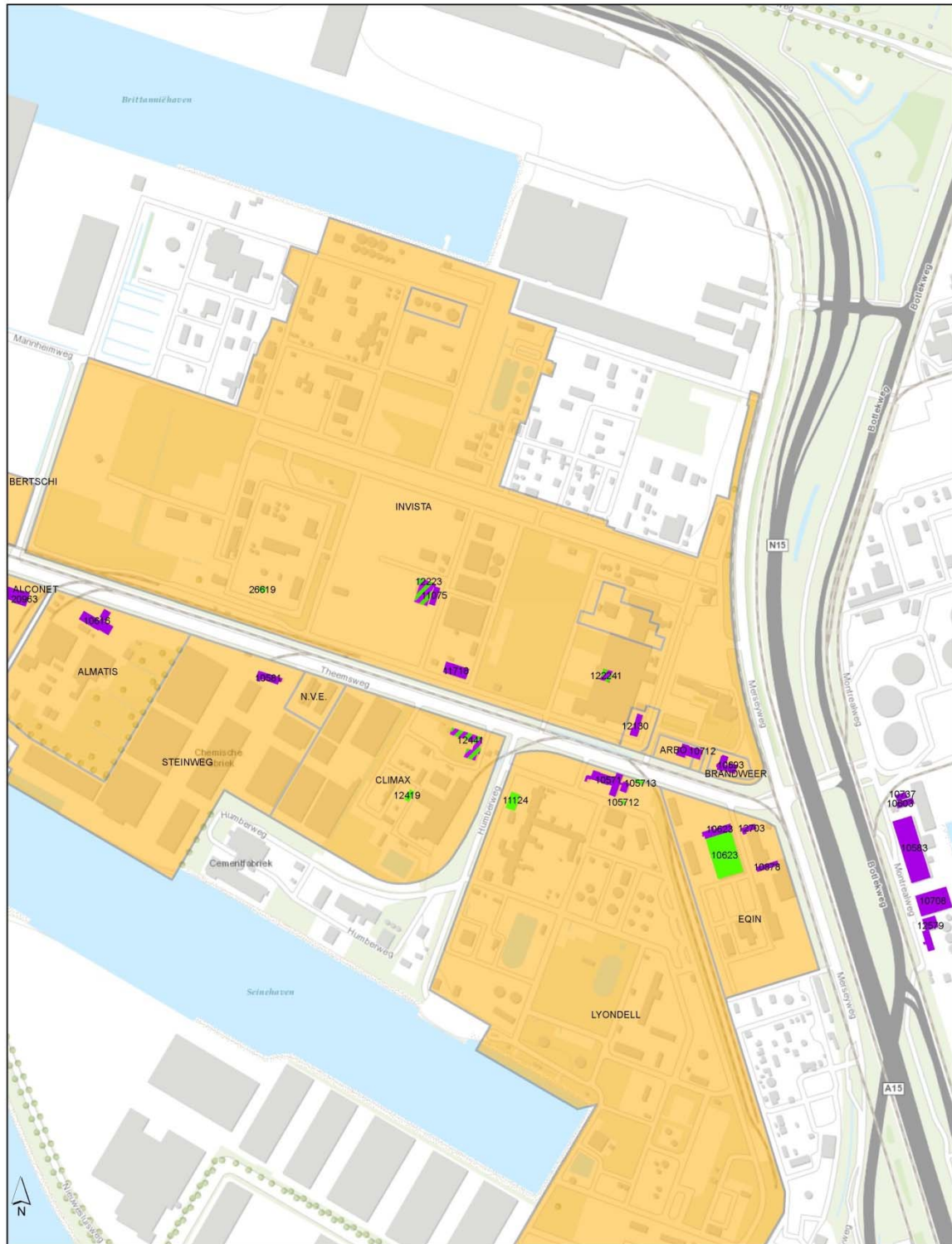
Kantoren, mogelijk trillingsgevoelige apparatuur en kritische werkruimte TWT



Legenda

- Kantoren
- Mogelijk trillingsgevoelige apparatuur
- Kantoren/Kritische werkruimte

Kantoren, mogelijk trillingsgevoelige apparatuur en kritische werkruimte TWT



Legenda

-  Kantoren
-  Mogelijk trillingsgevoelige apparatuur
-  Kantoren/Kritische werkruimte

Bijlage 3 Inventarisatie bedrijven Theemswegtracé

Lyondell

Bij het bedrijf Lyondell zijn direct achter het kantoor meteringstations aanwezig. In deze meteringstations zijn flowcomputers aanwezig. In de meetstraten zijn flowmeters aanwezig. Lyondell geeft desgevraagd aan dat deze meteringstations mogelijk trillingsgevoelig zijn.

In Tabel 3.1 is een overzicht van de flowmeters bij Lyondell gegeven.

Tabel 3.1 overzicht van de flowmeters bij Lyondell

Product	3 ^e partij	Tagnummer	Fabricaat	Meetprincipe	Type
PO	Huntsman	FT053	Emerson	Coriolis	CMF200
Propyleen (2x)	Shell	C3M04FT01/02	Emerson	Coriolis	CMF200
GTBA	TTR	FT280	Emerson	Coriolis	CMF300
Propyleen (2x)	DOW	FT226/M320	Endress Hauser	Coriolis	Promass 83F
Butaan	Koch	FT208	Emerson	Coriolis	CMF200

Op basis van deze gegevens van Lyondell zijn de trillingsspecificaties van de betreffende flowmeters geïnventariseerd.

Flowmeter Endress Hauser Promass 83F

Vibration resistance Acceleration up to 1 g, 10 to 150 Hz, following IEC 68-2-6

Toelaatbaar 1g versnelling dit komt overeen met:

- 10 Hz 156 mm/s
- 30 Hz 52 mm/s

Flowmeter Emerson CMF200 en CMF300

Meets IEC 68.2.6, endurance sweep, 5 to 2000 Hz, 50 sweep cycles at 1.0 g.

Toelaatbaar 1g versnelling dit komt overeen met:

- 5 Hz 312 mm/s
- 30 Hz 52 mm/s

Dit houdt in dat alle flowmeters van Lyondell tegen relatief hoge trillingsniveaus bestand zijn en relatief trillingsongevoelig zijn.

Op het terrein van Lyondell is naast de metering houses met flowcomputers een controlroom aanwezig. In deze omgeving zijn computers met harde schijven aanwezig. Daarom wordt in eerste aanleg gebruik gemaakt van de best practices opgave in Appendix D van standard ASHRAE TC 9.9. Dit is als een algemene trillingsspecificatie voor datacentres en serverruimtes te beschouwen. In de volgende figuur is deze algemene trillingsspecificatie weergegeven.

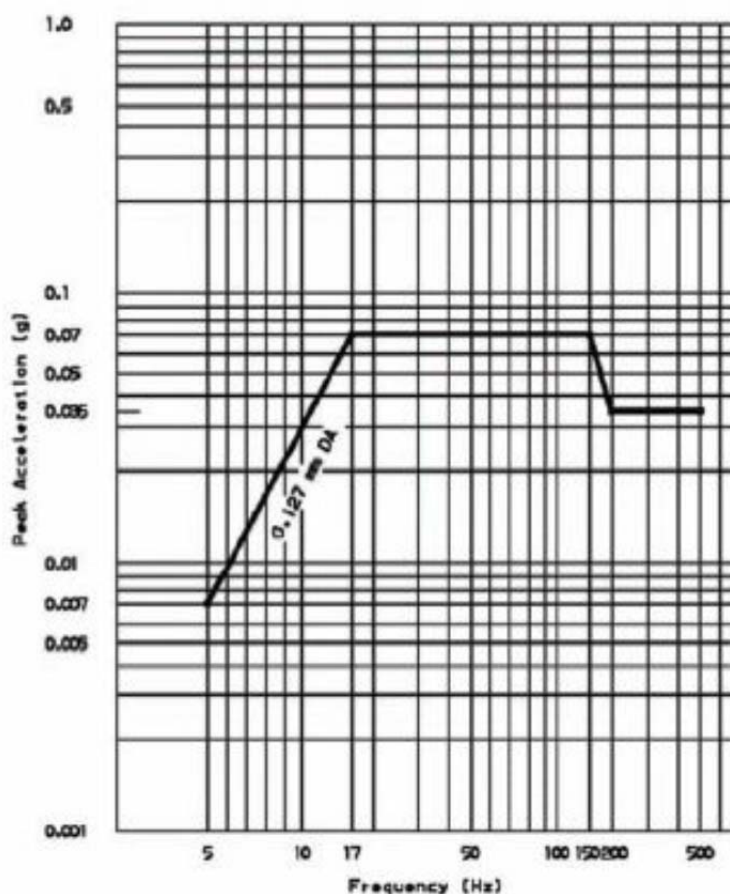


Figure D.2 Typical operational vibration encountered in a data center. Reproduced with permission from IBM (1990).

De opgave van de toelaatbare versnelling is frequentieafhankelijk. De toelaatbare versnelling kan door integratie worden vertaald naar een trillingssnelheid. De toelaatbare trillingssnelheid bedraagt in het voor spoor relevante frequentiegebied 1-30 Hz ten minste 2,1 mm/s. In de verschillende frequenties bedraagt de toelaatbare trillingssnelheid 2,1 mm/s (5Hz), 6,4 mm/s (17 Hz), 5,5 en 3,6 mm/s (30 Hz). Daarnaast is uit achtergrondmetingen in datacentres en serverruimtes bekend dat als empirische grenswaarde 1-2 mm/s veilig gehanteerd kan worden zonder dat er enige vorm van storingen danwel schade aan apparatuur optreedt.

Op het terrein van Lyondell is een 25 kV station aanwezig. Dit 25 kV station wordt door Stedin beheerd. In Bijlage 2 is het 25 kV station met pandid. 105713 weergegeven. Het 25 kV station van Stedin op het terrein van Lyondell bevat geen transformatoren, er is alleen analoge schakel apparatuur aanwezig. In het station is geen digitale apparatuur zoals computers aanwezig. In deze schakel apparatuur is alleen analoge schakeltechniek met relais aanwezig. De relais zijn volgens Stedin trillingsgevoelig in de zin dat circuits vanaf een zeker trillingsniveau onbedoeld geschakeld kunnen worden. Een relais bestaat uit een elektromagneet, de spoel met hierin een (U-vormige) kern, het anker, een plaatje "weerkijzer" dat aangetrokken wordt door de elektromagneet met hieraan bevestigd één of meerdere contacten, één of meerdere vaste contacten en een

veermechanisme. Dit principe van trillingsgevoeligheid wordt onderschreven en bepaald door de kracht die door het veermechanisme wordt opgewekt. De relais in het 25 kV station bevatten enigszins gedateerde relais. Het is een Sekundäre Maximalstrom-Relais relais type S van het Zwitserse bedrijf Brown, Boveri & Cie Baden de rechtsopvolger van dit bedrijf is ABB. Stedin kan geen trillingsspecificatie leveren. Navraag bij ABB nu in 2015 leert dat er geen trillingsspecificatie hiervan kan worden geleverd. Voor de trillingsgevoeligheid van relais is in 1988 een norm opgesteld onder de naam IEC 60255-21-1:1988 en;fr deze norm is nog steeds actueel anno 2015 onder de naam NEN 10255-21-1. Veel relais worden anno 2015 geleverd met trillingsspecificaties verwijzend naar de NEN 10255-21-1. RHDHV beschikt over de norm voor trillingsgevoeligheid van relais de NEN 10255-21-1.

In overleg met Stedin classificeren we (RHDHV en Stedin) op basis van de omschrijving het relais als een type 1 relais volgens de NEN 10255-21-1. De omschrijving van deze klasse luidt: *“Measuring relays and protection equipment for normal use in powerplants, substations and industrialplants and for normal transportation conditions”*

De huidige moderne relais worden geleverd met trillingsspecificaties conform de NEN 10255-21-1. Hierbij geeft Stedin aan dat de oudere relais minder trillingsgevoelig worden geacht dan de huidige generatie moderne compacte relais omdat ze fysiek groter zijn gebouwd. Hiermee wordt een worst case benadering gevolgd. Hiervan uitgaande zijn voor 10-150 Hz een versnelling niet hoger dan 0,5 g en een verplaatsing niet hoger dan 0,035 mm conform de NEN 10255-21-1 te hanteren. In tabel 3.2 is de vertaling van versnelling en verplaatsing in trillingssnelheid in het voor TWT relevante frequentiebereik weergegeven.

Tabel 3.2 overzicht toelaatbare trillingen 25 kV station

grootheid	Frequentie	maatgevend frequentie	versnelling	Trillingssnelheid (10 Hz)	Verplaatsing
eenheid	[Hz]	f [Hz]	G	mm/s	Mm
grenswaarde	10-150Hz	10	0,5	78,1	
grenswaarde	10-150Hz	10		2,2	0,035

De maatgevende toelaatbare trillingssnelheid voor het TWT bedraagt voor het object 25 kV station hiermee 2,2 mm/s.

In zijn algemeenheid geldt voor schakelstations van bedrijven met relais dat als de afstand tot het Theemswegtracé groter is dan 10 m voldaan wordt aan trillingsspecificaties conform de NEN 10255-21-1.

Vopak

Op het terrein van Vopak zijn bij elke aanlegsteiger flowmeters aanwezig. De flowmeters zijn type Promas 84F DN250. Dit zijn flowmeters gebaseerd op het zogenaamde Coriolis effect. De leverancier van de flowmeters heeft aangegeven dat deze niet trillingsgevoelig zijn. De toelaatbare trilling bedraagt 1 g in versnelling van 10-250 Hz conform IEC 68-2-6. Dit houdt in dat de flowmeters maximaal aan 156 mm/s (10 Hz) en 10 mm/s (150 Hz) blootgesteld mogen worden.

In het kantoor/bedieningsgebouw zijn op begane grond PMSX besturingssystemen aanwezig. Dit zijn regelkasten met harde schijven. Daarom wordt in eerste aanleg gebruik gemaakt van de best

practices opgave in Appendix D van standard ASHRAE TC 9.9. De toelaatbare trillingssnelheid bedraagt in het voor spoor relevante frequentiegebied 1-30 Hz ten minste 2,1 mm/s.

Op het terrein van Vopak is een kortdurende achtergrondmeting verricht bij de PLC regelkasten in gebouw OS-06-1. Deze metingen zijn verricht op een dag dat er een schip moet werd gelost aan een steiger, de leiding vanuit de steiger loopt direct naast gebouw OS-06-1.

De maximale trillingssterkte V_{top} in de vloer van gebouw OS-06-1 bedraagt:

- tot 0,26 mm/s ten gevolge van passages van vrachtwagens over Neckarweg en Neckarkade
- < 0,1 mm/s ten gevolge van lossen schip
- tot 0,5 mm/s ten gevolge van lopen in gebouw OS-06-1
- tot 0,4 mm/s ten gevolge van het dicht maken van de deur van gebouw OS-06-1
- < 0,1 mm/s ten gevolge van een trein over de Callandbrug

In gebouw OS-06-1 van Vopak zijn PLC regelkasten aanwezig. Gebouw OS-06-1 is als object 21675 in Bijlage 2 en Bijlage 3 weergegeven. Vopak geeft aan dat deze mogelijk trillingsgevoelig zijn. Een programmable logic controller (PLC, programmeerbare logische eenheid) is een elektronisch apparaat met een microprocessor die op basis van de informatie op zijn diverse ingangen, zijn uitgangen aanstuurt. Van oorsprong bevatte een PLC geen volledige microprocessor, maar in de jaren 90 is het verschil tussen een computer en een PLC vervaagd. Navraag door Vopak bij de leverancier heeft niet geleid tot relevante trillingsspecificaties. Daarom wordt veiligheidshalve voor gebouw OS-06-1 van Vopak een normstelling voor computerapparatuur met harde schijven gehanteerd. Er wordt gebruik gemaakt van de best practices opgave in Appendix D van standard ASHRAE TC 9.9. De toelaatbare trillingssnelheid bedraagt in het voor spoor relevante frequentiegebied 1-30 Hz ten minste 2,1 mm/s.

Invista/Huntsman

Op het terrein van Invista/Huntsman zijn twee chemische laboratoria aanwezig. Een productielaboratorium in gebouw 12224 en een R&D laboratorium in gebouw 11075/12223. Deze laboratoria worden in eerste aanleg als kritische werkruimte conform de Bts beschouwd. De locatie van deze laboratoria is in Bijlage 2 weergegeven.

Op het terrein van Huntsman is een York koelunit aanwezig. Huntsman geeft aan dat deze unit als hij stilstaat mogelijk trillingsgevoelig is. Als de glijlageroppervlaktes van de York koelunit tegen elkaar komen bestaat de mogelijkheid dat de glijlageroppervlaktes beschadigen. Als de unit in bedrijf is wordt deze niet trillingsgevoelig geacht.

Deze unit draait in principe 24/7. Soms staat deze unit voor onderhoud stil. Als deze unit stil staat ligt de as in een beschermende oliefilm. Het bedrijf geeft zelf aan dat deze installatie niet aan trillingen hoger dan 1 mm/s mag worden blootgesteld tijdens stilstand. De trillingsspecificatie is niet gebaseerd op leveranciersgegevens. Het blijkt niet mogelijk om een relevante trillingsspecificatie te achterhalen. De unit staat op circa 100 m afstand van het tracé. In eerste aanleg wordt aan de door Huntsman opgegeven en opgestelde empirische grenswaarde getoetst.

Stork/Equin

In een deel van object 10623 (zie Bijlage 2) is een werkplaats aanwezig. De omgeving kan als werktuigbouwkundige werkplaats worden aangemerkt met relevante trillingen ten gevolge van diverse werkzaamheden in deze werkplaats. In de werktuigbouwkundige werkplaats zijn geen relevante trillingsgevoelige machines aangetroffen.

In object 19 (zie Bijlage 2) is een werkplaats aanwezig. De omgeving kan als werktuigbouwkundige werkplaats worden aangemerkt met relevante trillingen ten gevolge van diverse werkzaamheden in deze werkplaats. In de werktuigbouwkundige werkplaats zijn geen relevante trillingsgevoelige machines aangetroffen.

Op een deel van de vloer in loods (object 10623 in Bijlage 2) worden in de nabije toekomst een drietal mogelijk trillingsgevoelige machines geplaatst. Het gaat hier om een balanceerbank, een lepmachine en een draaibank. De omgeving is als werktuigbouwkundige werkplaats aangemerkt met relevante trillingen ten gevolge van diverse werkzaamheden in deze werkplaats. De trillingen in de werkplaatsvloer ten gevolge van diverse werkzaamheden bedragen maximaal 0,3 mm/s.

De balanceerbank is hydraulisch geveerd. Dit houdt in dat de machine over een actieve trillingsisolatie beschikt om hem niet gevoelig voor trillingen in een productieomgeving te maken. Dit houdt in dat deze machine als niet trillingsgevoelig voor passages van treinen wordt aangemerkt. De lepmachine is een polijstmachine die oppervlaktes met een nauwkeurigheid van circa 0,01 mm afwerkt. De machine is verend opgesteld en is hiermee passief geïsoleerd van zijn omgeving.

De draaibank wordt star opgesteld op de vloer. De draaibank zal zelf vanwege de vrije krachten in de opstelpunten relevante trillingen naar de omgeving geven. De draaibank wordt als niet trillingsgevoelig aangemerkt aangezien het frame van de draaibank zeer stijf is.

Op de vloer van het kantoor (object 10878) zijn metingen uitgevoerd. Het is een object met een zeer lichte vloerconstructie. De trillingen in de vloer ten gevolge van lopen van medewerkers over de vloer bedragen maximaal 4,4 mm/s. De trillingen in de vloer ten gevolge van een passage van een trein over de Havenspoorlijn bedragen maximaal 0,5 mm/s en zijn ten opzichte van de looptrillingen te verwaarlozen. De meting betreft een indicatieve nulmeting; het is geen meting conform de Bts.

Climax

Op het terrein van Climax is een chemisch laboratorium en een serverruimte aanwezig. Dit laboratorium wordt in eerste aanleg als kritische werkruimte conform de Bts beschouwd. De locatie van dit laboratorium is in Bijlage 2 weergegeven.

Inventarisatie leidingen en procesinstallaties

De relevante invloedssfeer voor het aspect trillingen bedraagt voor leidingen slechts enkele meters. Naast de leidingstroken in de openbare ruimte zijn de leidingen op de bedrijfsterreinen relevant. Voor de leidingen op bedrijfsterreinen is een studiegebied van 10 m gehanteerd. Op het terrein van Vopak en Lyondell zijn relevante leidingen aanwezig op zeer korte afstand van het tracé.

Voor het terrein van Lyondell betreft het een metingstation aan de zijde van de Theemsweg. Over het terrein van Vopak lopen over vrijwel het gehele terrein leidingen. Derhalve wordt als worst case benadering voor de afstandbepaling de terreingrens van het Vopak terrein gehanteerd. Onderstaand zijn in figuur 2.2 enkele foto's van de situatie met betrekking tot de leidingen bij Vopak weergegeven.



Figuur 8.2 Weergave situatie leidingen bij Vopak

Van de overige bedrijven is de afstand van leidingen tot het tracé groter dan 10 m en derhalve niet relevant.

Het bedrijf Chem heeft aangegeven dat de warmtepomp met leidingen van Chem trillinggevoelig wordt geacht. Ervan uitgaande dat de leidingen van de infiltratie- en onttrekkingsbron binnen de erfgrans van Chem ligt de leiding van de warmtepomp buiten de invloedssfeer voor leidingen in de zin van de SBR richtlijn deel A (<10 m).

In de SBR richtlijn deel A zijn in de Bijlagen grenswaarden voor schade aan leidingen opgenomen. Onderstaand zijn in tabel 3.3 deze karakteristieke grenswaarden V_{kar} afhankelijk van het type leiding weergegeven.

Tabel 3.3 grenswaarden voor leidingen V_{kar}

type buisleiding	V_{kar} (mm/s)
staal (gelast)	100
beton, gewapend beton, voorgespannen beton, staal	80
metselwerk, kunststof	50

Veiligheidshalve wordt de laagste karakteristieke grenswaarden V_{kar} voor metselwerk en kunststof leidingen gehanteerd.

De rekenwaarde van de grenswaarde voor pijpleidingen wordt bepaald volgens:

$$V_r = V_{kar} / \gamma_t$$

Hierbij is:

V_r rekenwaarde van de grenswaarde

V_{kar} karakteristieke waarde van de grenswaarde

γ_t de partiële veiligheidsfactor die het type trilling in rekening brengt

De veiligheidscoëfficiënt γ_t bedraagt 1,5 [--] voor rail en wegverkeer. Voor de leidingen in de leidingstrook en op de bedrijventerreinen wordt op basis van SBR richtlijn deel A richtlijn hiermee veiligheidshalve een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd.

Beschouwing leidingen

Er is een viertal raakvlakken voor het aspect trillingen met de leidingen in de omgeving van het TWT.

Raakvlak 1 kruisende leidingen leidingstroken

Er is een engineering doelstelling gehanteerd van minimaal 1,0 m afstand tussen leiding en fundatie van de pijler. Op 1 m afstand van de poer van een pijler (5 m afstand tot hart pijler) bedraagt op basis van de formule van Barkan de trillingsterkte V_{top} naar verwachting maximaal 0,9 mm/s. Voor de leidingen in de leidingstrook en op de bedrijventerreinen wordt op basis van SBR richtlijn deel A een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd. Hiermee wordt in raakvlak 1 zeer ruim (met een factor 37) aan de grenswaarden en de beoordelingssystematiek uit de SBR richtlijn deel A richtlijn voldaan. Hiermee wordt de engineering doelstelling voor raakvlak 1 als veilig aangemerkt in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

Raakvlak 2 pijlers in de leidingstroken

Er is in het verticale vlak een afstand tussen de poer en de leiding van minimaal 0,1 m gehanteerd. Aangenomen wordt dat de afstand tussen leiding en poer bepalend is. Hierbij wordt geconstateerd dat de beschikbare gegevens en de formule van Barkan geen basis biedt voor een beschouwingen in deze specifieke situatie. In Bijlage 1 zijn metingen op zeer korte afstand van de fundering van de referentieconstructie weergegeven. In de bodem op 10 cm afstand van de poer bedraagt de trillingssnelheid maximaal V_{top} 1,24 mm/s. Voor de leidingen in de leidingstrook en op de bedrijventerreinen wordt op basis van SBR richtlijn deel A richtlijn een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd. Hiermee wordt in raakvlak 2 zeer ruim (met een factor 26) aan de grenswaarden en de beoordelingssystematiek uit de SBR richtlijn deel A richtlijn voldaan. Hiermee wordt raakvlak 2 als veilig aangemerkt in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

Raakvlak 3 leidingen bedrijfsterrein Vopak

Theemswegtracé

De afstand van de erfgrans van Vopak tot het hart van de dichtstbijzijnde pijler bedraagt 5,9 m. Op 5,9 m afstand tot hart pijler bedraagt op basis van de formule van Barkan de trillingsterkte V_{top} naar verwachting maximaal 0,8 mm/s. Voor de leidingen van Vopak wordt op basis van SBR richtlijn deel A richtlijn een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd. Hiermee wordt in raakvlak 4 zeer ruim (met een factor 41) aan de grenswaarden en de beoordelingssystematiek uit de SBR richtlijn deel A richtlijn voldaan. Hiermee wordt raakvlak 3 als veilig aangemerkt in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

Raakvlak 4 leidingen bedrijfsterrein Lyondell

De afstand van de erfgrans van Lyondell tot het hart van de dichtstbijzijnde pijler bedraagt 14,4 m. Op 14,4 m afstand tot hart pijler bedraagt op basis van de formule van Barkan de trillingsterkte V_{top} naar verwachting maximaal 0,5 mm/s. Voor de leidingen van Lyondell wordt op basis van SBR richtlijn deel A richtlijn een rekenwaarde van de grenswaarde van 33,3 [mm/s] gehanteerd. Hiermee wordt in raakvlak 5 zeer ruim (met een factor 66) aan de grenswaarden en de beoordelingssystematiek uit de SBR richtlijn deel A richtlijn voldaan. Hiermee wordt raakvlak 4 als veilig aangemerkt in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat de trillingen voor alle trillingsgevoelige apparatuur en de raakvlakken met leidingen als veilig aangemerkt worden in de zin dat er geen sprake is van een verhoogde kans op schade.

In tabel 3.4 een overzicht van de beschikbare en opgevraagde informatie weergegeven. Tevens is in tabel 3.4 de afstand van de objecten tot het hart van de dichtstbijzijnde pijler en hart gewapende grondconstructies weergegeven.

Tabel 3.4 overzicht van de beschikbare informatie

Inventarisatie kantoren Themswegtrace TWT2

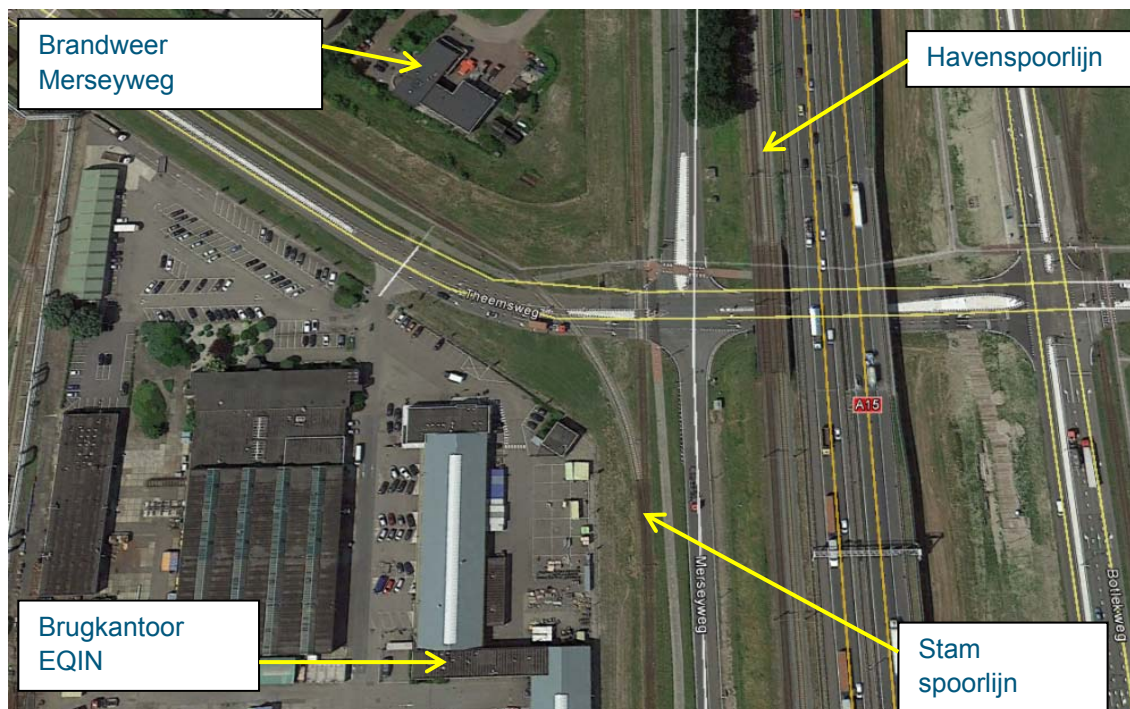
Bedrijfsnaam HBR	Stratenaam	Postcode	Huisnummer	Pandid	afstand tot hart dichtstbijzijnde pijlers (TWT variant oostelijke passage)	afstand tot hart dichtstbijzijnde pijlers (TWT variant westelijke passage)	afstand tot hart terre arme (TWT variant westelijke passage)	kantoorfunctie	mogelijke trillingsgevoelige apparatuur	Bouwjaar	Bouwlaag	Hoogte	aantal werkplekken	plant/locatie bezoek	externe visuele waarneming op locatie	BTS	categorie SBR A richtlijn
YONDELL	Themsweg	3197KM	14	10571	14,8	352,0	14,8	352,0	kantoor	25 VR station	1971	2	4,5	11		nieuwe stufte	2
				105713	14,8	352,2	14,8	352,2	geen kantoor	controletoom	onbekend	1	10,5			nieuwe stufte	2
				11124	111,6	571,0	111,6	571,0	geen kantoor	meting (flowcomputers)	onbekend	1	10,5			nieuwe stufte	2
				105712	81,6	375,7	81,6	375,7	geen kantoor	meting (flowcomputers)	onbekend	1	10,5			nieuwe stufte	2
COBAK	Bedarweg	3197KK	689	11424	10,7	387,2	42,5	387,1	kantoor	toestellen met harde schijven	2014	2	4,5	32		nieuwe stufte	2
									toestellen bij 4 aansluitings	PLC kasten	onbekend	1	10,5			nieuwe stufte	2
				21675	16,2	266,5	9,2	267,1	geen kantoor	PLC kasten	onbekend	1	10,5			nieuwe stufte	2
KUNTSMAW																	
INVISTA	Themsweg	3197KM	689	12223	175,4	889,4	175,4	889,4	R&D lab	laboratorium	onbekend	3	10,5	3		nieuwe stufte	2
				11718	85,6	752,1	85,6	752,1	kantoor	--	1984	4	10,5	30		nieuwe stufte	2
				12224	86,0	449,3	86,0	449,3	productie in foods	laboratorium	1988	1	10,5	10		nieuwe stufte	2
				20619	104,1	720,6	104,1	720,6	geen kantoor	keuken	onbekend	1	10,5	30		nieuwe stufte	2
				12130	62,2	419,5	62,2	419,5	kantoor	--	1988	3	10,5	30		nieuwe stufte	2
				11					bedrijfsgebouw	--						nieuwe stufte	2
EDON / STOKA	Themsweg	3197KM	2	10623	35,3	125,6	35,3	125,6	kantoor	opstervoor balanschaak	1984	2	4,5	32		bestaande stufte	1
				10878	23,5	90,6	23,5	90,6	kantoor	--	1984	3	7,5	30		bestaande stufte	2
				17					bedrijfsgebouw	--						nieuwe stufte	1
				18					bedrijfsgebouw	--						nieuwe stufte	1
				19					bedrijfsgebouw	--						nieuwe stufte	1
CHEM	Wekarweg	3197KK	32	10650	34,1	543,6	37,5	553,1	kantoor/steenkemigebouw	--	1975	2	4,5	12	6	nieuwe stufte	1
																nieuwe stufte	1
CLIMAX	Themsweg	3197KM	20	12441	29,9	968,9	29,9	968,9	kantoor	laboratorium	1987	2	4,5	35	7	nieuwe stufte	1
				12419	166,5	768,4	166,5	768,4	geen kantoor	serverruimte	onbekend					nieuwe stufte	1
				15					foods	--						nieuwe stufte	1
				16					foods	--						nieuwe stufte	1
STERNWEG	Themsweg	3197KM	28	10581	41,0	777,3	41,0	777,3	kantoor	--	1983	3	10,5	34	4	nieuwe stufte	2
				12					foods	--						nieuwe stufte	2
N.V.E.	Themsweg	3197KM	24	13174					geen kantoor	--	1975	2	4,5	10	18	nieuwe stufte	1
ALDANIS	Themsweg	3197KM	30	10878	21,6	482,4	21,6	482,4	kantoor	--	1979	1	10,5	30	10	nieuwe stufte	2
ALCONET	Themsweg	3197KM	54	10662	14,2	198,6	14,2	198,6	geen kantoor	--	1978	4	10,5	10	10	nieuwe stufte	1
				10691	53,9	131,5	53,9	131,5	kantoor	--	1983	3	7,5	10	10	nieuwe stufte	2
				20693	35,6	247,8	35,6	247,8	kantoor	--	2014	3	10,5	35	10	nieuwe stufte	2
BRANDWIJER	Themsweg	3197KB	14	10683	82,0	238,3	82,0	238,3	kantoor/verpakkingsgebouw	--	1988	3	10,5	35	10	bestaande stufte	2
FAVENSPOLE	Wekarweg	3197KK	50	10704	76,9	156,9	117,5	167,8	kantoor	--	2002	1	10,5	35	10	bestaande stufte	1
ARBO	Themsweg	3197KM	15	10712	63,0	361,8	63,0	361,8	kantoor	--	2008	5	13,5	35	10	bestaande stufte	2
CHAND	Bedarweg	3197KK	689	11420					geen kantoor	--	1988	2	4,5	10	10	nieuwe stufte	1
BENTISCH	Themsweg	3197KM	689	11602	51,7	55,7	51,7	55,7	kantoor (uitbouw)	--	1988	4	10,5	24	10	nieuwe stufte	1
BONTIANS	Themsweg	3197KM	32	20401	51,4	106,7	51,4	106,7	kantoor (uitbouw)	--	2009	6	16,5	3	10	nieuwe stufte	1

* scuinting

Bijlage 4 Nulmetingen bestaande situatie Bts

Situatie

De trilling metingen zijn verricht in het brugkantoor van de firma EQIN aan de Theemsweg 2 en op de 1^e verdieping van de kazerne van de gezamenlijke brandweer aan de Merseyweg 14 beide te Rotterdam. In figuur 4.1 is een overzicht van de situatie weergegeven.



Figuur 4.1: overzicht situatie

Langs de Theemsweg en de Merseyweg loopt ook een zogenaamde stam spoorlijn. Over dit spoor rijden goederentreinen naar bedrijven in het industriegebied. Deze treinen zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Bouwkundige situatie brugkantoor EQIN

Van het brugkantoor EQIN zijn geen bouwkundige gegevens bekend. Er is alleen een ontruimingsplattegrond beschikbaar. Tijdens uitvoeren van de trilling metingen zijn ter plaatse enkele gegevens genoteerd in overleg met een medewerker van EQIN. Het brugkantoor is waarschijnlijk opgebouwd als een lichte stalen constructie met panelen als wanden. De vloeren zijn waarschijnlijk uitgevoerd als lichte elementen in de staalconstructie. In figuur 4.2 is de ontruimingsplattegrond met maten weergegeven. In figuur 4.3 de buiten/onderzijde van het brugkantoor met ondersteuning weergegeven.



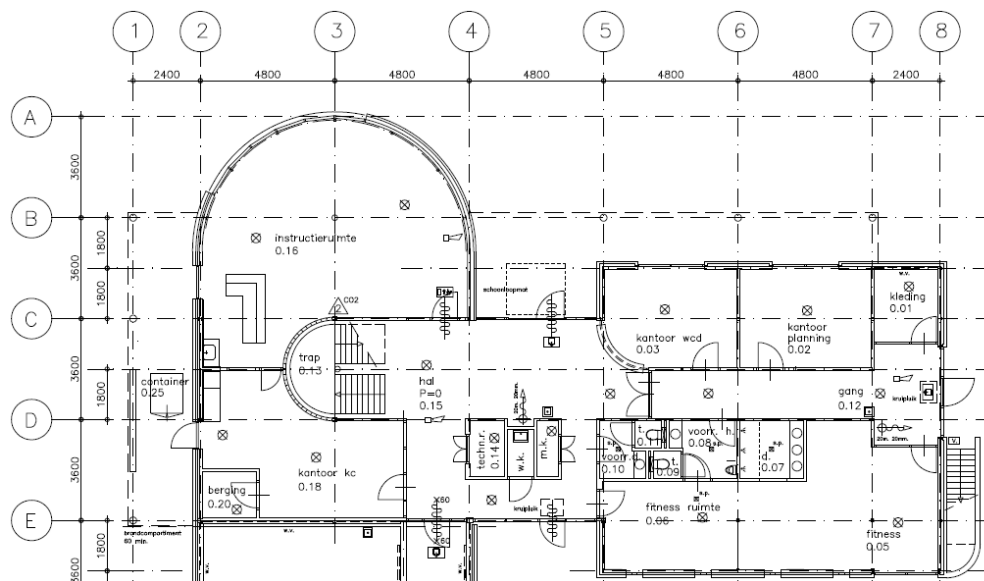
Figuur 4.2: brugkantoor EQIN met trillingmeetpunt vloer (rood)



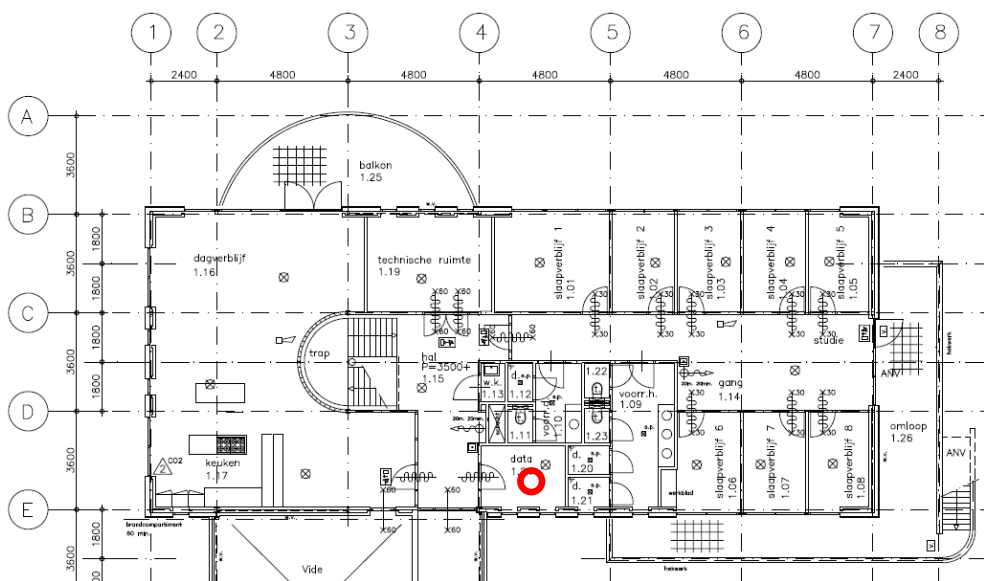
Figuur 4.3: onderzijde brugkantoor EQIN; stalen kolommen rond 200mm

Bouwkundige situatie kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg

Van de kazerne gezamenlijke brandweer aan de Merseyweg is een bouwtekening met plattegronden beschikbaar gesteld door een woordvoerder van de gezamenlijke brandweer. De tekening heeft kenmerk ordernr.IOB 70841 blad no.D01 d.d. 19-09-2007 van IOB ingenieursbureau te Hellevoetsluis. Van de opbouw van de vloeren van de kazerne zijn geen bouwkundige gegevens bekend. De bouwtekening is weergegeven in figuren 4.4 en 4.5.



Figuur 4.4: plattegrond kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg; begane grond



Figuur 4.5: plattegrond kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg; 1^e verd. mp vloer rood

Eisen en uitgangspunten

In het kader van schade en hinder door trillingen zijn op dit moment nog geen wettelijke normen voorhanden met betrekking tot trillingen. Er zijn echter wel richtlijnen opgesteld door de Stichting Bouw Research (SBR). Uit vaste jurisprudentie ten aanzien van het systeem van vergunningverlening Wet milieubeheer is af te leiden dat deze richtlijn beschouwd kan worden als de meest recente algemeen aanvaarde milieutechnische inzichten op het gebied van trillingen voor mensen. Voor de uit te voeren trillingmetingen binnen dit project is er voor gekozen de meet-beoordelingsmethodiek uit SBR richtlijnen deel B "Hinder voor personen in gebouwen; Meet- en beoordelingsrichtlijn" te volgen aangevuld met de herziene Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts).

In april 2012 is de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) in werking getreden. Doel van de Bts is een wettelijke bescherming van de burger tegen trillingen door treinen. De Bts is daar een eerste aanzet

toe. Vóór de totstandkoming van de Bts werd bij Tracéwetprojecten de SBR richtlijn deel B gehanteerd, maar deze richtlijn is niet specifiek geschreven voor het gebruik bij spoorplannen. Op 26 maart 2014 is in de Staatscourant (Nr. 8251) het 'Besluit van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 24 maart 2014 nummer IenM/BSK-2014/63235, tot wijziging van de Beleidsregel trillinghinder spoor' gepubliceerd. Dit betreft een herziening van de destijds geldende Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). Aanvullend aan deze herziene Bts is een memo opgesteld door Level Acoustics met kenmerk LA.131001a.M04, d.d. 26 februari 2014 (vanaf hier: memo Bts). Deze memo gaat in op de uitvoering en uitwerking van trilling metingen en is een aanvulling op Bts.

In deze beleidsregel wordt verstaan onder:

- A_1 : streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
- A_2 : grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
- A_3 : grenswaarde voor de trillingssterkte V_{per} ;
- *bestaande situatie*: referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer;
- *nieuwe situatie*: referentiesituatie waarin geen sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer;
- *projectsituatie*: situatie als gevolg van de ingebruikneming van de infrastructuur die aangelegd of gewijzigd is of opnieuw in gebruik is genomen op basis van het tracébesluit;
- *referentiesituatie*: situatie voor uitvoering van het tracébesluit;
- *SBR richtlijn deel B*: Meet- en beoordelingsrichtlijn trillingen van de Stichting Bouwresearch, deel B, Hinder voor personen in gebouwen, uitgave augustus 2002;
- V_{max} : de maximale trillingssterkte zoals gedefinieerd in paragraaf 5.3 van de SBR richtlijn deel B en nader omschreven in hoofdstuk 9 van die richtlijn, met dien verstande dat voor de meettechnische bepaling van de waarde van V_{max} de procedure wordt gevolgd, die opgenomen is in de Bijlage bij deze beleidsregel;
- V_{per} : de gemiddelde trillingssterkte zoals gedefinieerd in de SBR richtlijn deel B.

Welke streefwaarde of grenswaarde met betrekking tot een gebouw van toepassing is, hangt af van de functie van dat gebouw en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen. Voor het bepalen van het tijdstip wordt uitgegaan van de volgende perioden:

dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur;
avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur;
nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur.

In tabellen 4.1 tot en met 4.3 worden de streef- en grenswaarden voor de verschillende situaties weergegeven.

Tabel 4.1: $V_{\max}$ tracébesluit nieuwe situatie

Gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A_1	A_2	A_1	A_2
gezondheidszorg en wonen	0,1	0,4	0,1	0,2
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,6	0,15	0,6
kritische werkruimte	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabel 4.2: $V_{\max}$ tracébesluit bestaande situatie

Gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A_1	A_2	A_1	A_2
gezondheidszorg en wonen	0,2	0,8	0,2	0,4
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,3	1,2	0,3	1,2
kritische werkruimte	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabel 4.3: V_{per} tracébesluit bestaande situatie

Gebouwfunctie	dag en avond	nacht
	A_3	A_3
gezondheidszorg en wonen	0,1	0,1
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,15

In de Bts zijn streefwaarden opgenomen voor $v_{\max}$ en v_{per} . $v_{\max}$ is de optredende maximale trilling sterkte van de gewogen momentane trilling sterkte tijdens een treinpassage en is dimensieloos. Voor de waarde van $v_{\max}$ maakt het niet uit hoeveel treinp passages er in een bepaalde periode zijn. v_{per} is de lange tijd gemiddelde trilling sterkte, op basis van $v_{\max}$, waarin alle intervallen worden meegenomen waarin de $v_{\max}$ een waarde van 0,1 overschrijdt. v_{per} is daardoor gevoelig voor het aantal treinp passages in een bepaalde periode. Als er meer treinen passeren kunnen er immers meer intervallen zijn waarin $v_{\max}$ een waarde $> 0,1$ heeft.

Naast de absolute waarde van de trilling sterkte is ook de toename van de trillingsterkte van belang. In de Bts geldt dat in een bestaande situatie een trilling toename van $V_{\max}$ kleiner dan 30% als drempel wordt gesteld waaronder in ieder geval geen maatregelen overwogen hoeven te worden. Binnen deze 30% wordt gesproken van een niet merkbare toename van het trillingsniveau. Ook wanneer de geldende streefwaarde niet wordt overschreden hoeven maatregelen niet overwogen te worden, ook niet als er wél een toename is. Voor V_{per} geldt deze grens van 30% niet.

Een van de belangrijkste aanvullingen van de memo LA.131001a.M04, d.d. 26 februari 2014 is het bepalen van de zogenoemde reproduceerbaarheid van de meting. Er moet gestreefd worden naar een reproduceerbaarheidsfactor van de meting van 10%. Met andere woorden: wanneer de meting na een bepaalde tijd wederom wordt uitgevoerd liggen de resultaten van de beide metingen niet meer dan 10% uit elkaar. Dit is nodig om met voldoende betrouwbaarheid de grenswaarden te toetsen. Met deze reproduceerbaarheid kan bij vervolgmetingen met voldoende zekerheid worden vastgesteld of er sprake is van een toename van de trilling sterkte van meer dan een factor 1,3 (zoals in de Bts is opgenomen als zijnde een grens waarbinnen geen maatregelen overwogen hoeven worden). Indien niet aan de reproduceerbaarheid wordt voldaan zal de meetduur verlengd moeten worden om zo een betere reproduceerbaarheid te verkrijgen of moet de hogere onzekerheid verdisconteerd worden in de uitkomst van de metingen.

Meetapparatuur

De metingen zijn uitgevoerd met gebruikmaking van de volgende apparatuur:

<i>Apparaat:</i>	<i>Merk:</i>	<i>Type:</i>
Data logger	Profound	Vibra+ sbr
3 kanaals opnemer (X, Y en Z richting)	Profound	geofoon

Metingen

Dit onderzoek is uitgevoerd conform Beleidsregel trillinghinder spoor 2014 (Bts). Van dinsdag 22 september tot en met woensdag 14 oktober 2015 zijn onbemande trilling metingen verricht op 5 locaties:

Op de vloer van het meest nabij het havenspoor gelegen kantoorvertrek in het brugkantoor van EQIN;

Op het maaiveld naast de loods welke aan het brugkantoor van EQIN vastzit;

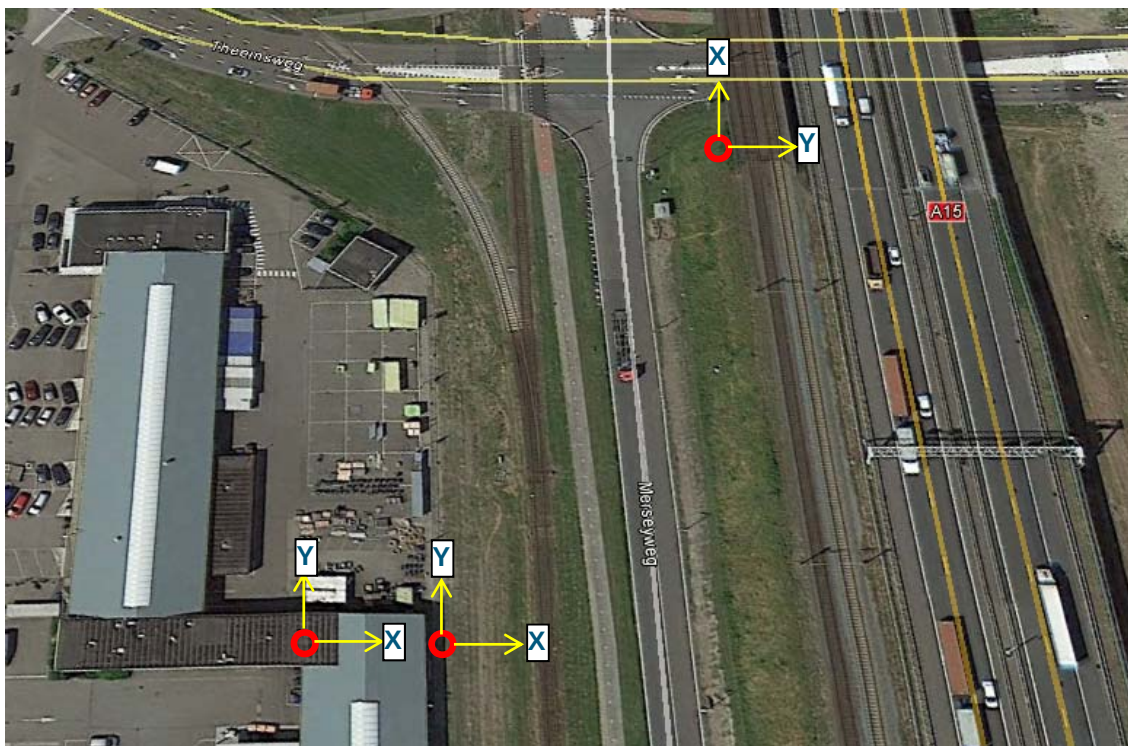
Op de verdiepingvloer van de kazerne gezamenlijke brandweer locatie Merseyweg naast slaapvertrek;

Op het maaiveld naast de kazerne van de gezamenlijke brandweer locatie Merseyweg;

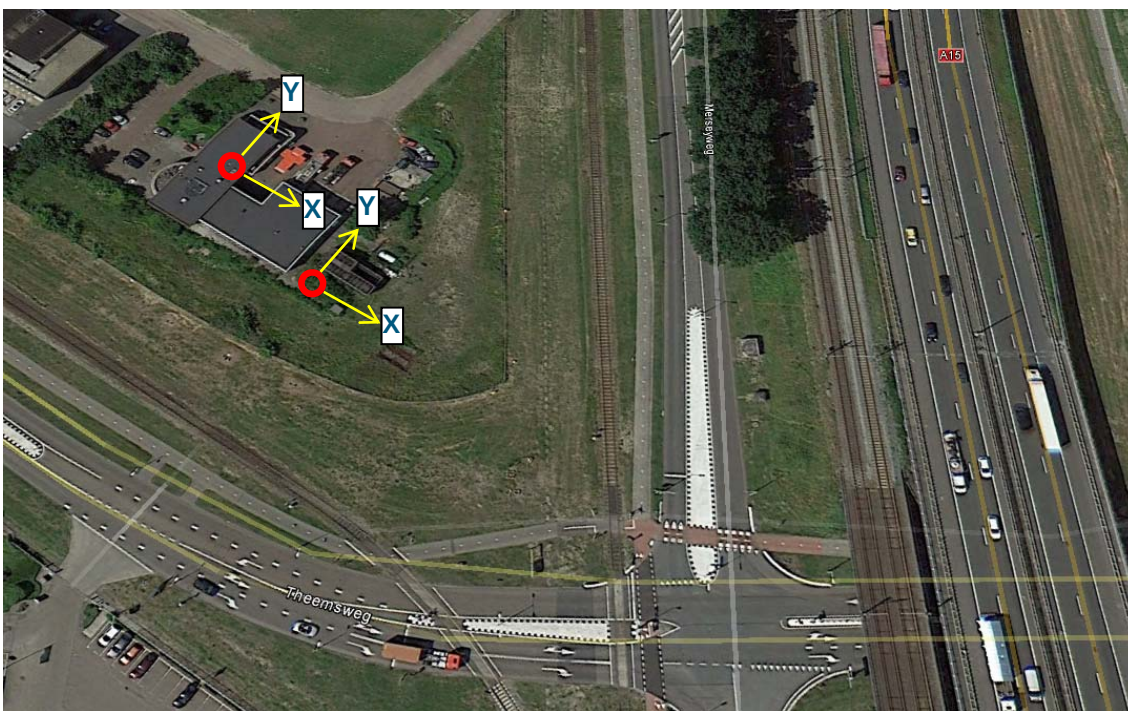
In het talud van de Havenspoorlijn naast het viaduct over de Theemsweg.

Voor het op de vloer plaatsen van de trilling meetpunten is een hulpconstructie gebruikt zoals omschreven in Bijlage 4 van SBR richtlijn deel B; Hinder voor personen in gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn. Tijdens alle trilling metingen zijn de trillingsniveaus in de meetapparatuur opgeslagen. De trillingen ten gevolge van railverkeer worden gekwalificeerd als herhaald kortdurende trillingen. Het betreft een bestaande situatie en de bouwfunctie is kantoor.

Kortste afstand van brugkantoor EQIN tot midden Havenspoorlijn is ongeveer 75 meter. Kortste afstand van kazerne van de gezamenlijke brandweer Merseyweg tot midden Havenspoorlijn is ongeveer 95 meter. In figuur 4.6 en 4.7 worden de meetposities weergegeven.



Figuur 4.6: overzicht meetpunten trillingen brugkantoor EQIN en Talud



Figuur 4.7: overzicht meetpunten trillingen gezamenlijke brandweer Merseyweg

De vijf trilling meetsets zijn per week uitgelezen. De datum en tijd van alle meetsets is steeds onderling gesynchroniseerd tijdens uitlezen. De maximale onderlinge afwijking per week bedroeg 9 seconden. Met het meetpunt in het talud naast de Havenspoorlijn zijn alle passages van goederen treinen met datum en tijd vastgelegd. De tijdstippen zijn overgenomen naar de meetdata van de meetpunten op de vloeren en maaiveld. Alle overige meetdata die niet aan treinpassages is toe te wijzen is verder buiten beschouwing gelaten.

Voor het meetpunt op de vloer in het brugkantoor van EQIN geldt dat door veel heen en weer lopen door medewerkers op werkdagen tussen 07 en 18 uur veel storing optreedt in de meetresultaten. Er is dan ook voor gekozen om alleen de meetdata op werkdagen tussen 19 en 06 uur te gebruiken voor de bepaling van $v_{\max}$ en v_{per} wanneer er geen medewerkers in het brugkantoor aanwezig zijn inclusief de zaterdagen en zondagen.

Aan het kantoorpand van EQIN is een video registratiesysteem opgesteld op de 1^e verdieping van het pand van EQIN. Dit systeem heeft continu beelden van de Havenspoorlijn opgenomen tijdens de trilling metingen.

Tijdens de onbemande trilling metingen is op zaterdag 3 oktober en zondag 4 oktober het spoor inclusief dwarsliggers vervangen van een deel van de stam spoorlijn langs de Theemsweg ter hoogte van de kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg. Hierbij is gebruik gemaakt van zwaar materieel.

Meetresultaten

De snelheidsniveaus van de trillingen zijn voor X en Y in de horizontale richting gemeten en voor Z in de verticale richting. Uit de metingen kunnen de volgende gegevens worden afgeleid:

- De maximaal optredende effectieve snelheidsniveaus ($v_{\max}$);
- De gemiddelde waarden van de effectieve snelheidsniveaus (v_{per}), indien $v_{\max}$ groter is dan 0,1.

In memo Bts wordt gesteld dat de toetsingswaarde niet per dagdeel wordt vastgesteld, en wel om de volgende redenen. Ten eerste is het zo dat treinen zeer zelden kunnen worden vastgepind op een dagdeel: een maatgevende, sterke trillingen veroorzakende trein die tijdens de meting overdag passeert kan een dag, een maand of een jaar later 's nachts (of, voor reizigerstreinen: in de randen van de nacht) passeren. Ten tweede is voor een aparte toetsingswaarde in de nacht een zeer langdurige meting nodig, gesteld een gewenste reproduceerbaarheid van 10%.

Voor deze situatie wordt de maximale trilling sterkte $v_{\max}$ bepaald samen met de gewogen trilling sterkte v_{per} voor de beoordeling periode nacht. In figuren 4.8 en 4.9 zijn de meetresultaten van de trilling metingen grafisch weergegeven. Van de meetwaarden zijn de videoregistraties bekeken om na te gaan of er daadwerkelijk een goederentrein is gepasseerd. Wanneer dit niet het geval is wordt de meetwaarde verwijderd uit de dataset als zijnde een storing.

$v_{\max}$ en v_{per}

Voor de vloer van de 1^e verdieping van de kazerne gezamenlijke brandweer geldt dat de gemeten trillingen ten gevolge van passages van goederentreinen in horizontale richting (evenwijdig aan het vloervlak - Y) dominant zijn. De dominante frequentie voor dit meetpunt bedraagt 5 Hz.

Voor de vloer van het brugkantoor van EQIN geldt dat de gemeten trillingen ten gevolge van passages van goederentreinen in verticale richting (loodrecht op het vloervlak - Z) dominant zijn. De dominante frequentie voor dit meetpunt bedraagt 6 Hz.

Door middel van berekeningen conform Bts zijn de $v_{\max}$ bepaald voor vloervelden van het brugkantoor EQIN en van kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg en in tabel 4.4 en 4.5 weergegeven.

Tabel 4.4: berekening V_{max} en R

brugkantoor EQIN					
Veff,max [mm/s]		vloer X			
Meetdagen	21				
#top50%	156	#top25%	78	#top12,5%	39
M	1,536	μ	-1,31811	M	-1,134
Σ	0,277	σ	0,224593	Σ	0,167
B	2,088	β	1,792856	B	1,455
Vmax	0,383	Vmax	0,400339	Vmax	0,410
iteratieslag nodig		iteratieslag nodig		klaar	
R	7,2%	R	7,4%	R	6,7%
Veff,max [mm/s]		vloer Y			
Meetdagen	21				
#top50%	100	#top25%	50	#top12,5%	25
M	1,610	M	-1,407	μ	-1,270
Σ	0,245	Σ	0,171	σ	0,120
B	1,903	B	1,582	β	1,205
Vmax	0,318	Vmax	0,321	Vmax	0,324
iteratieslag nodig		iteratieslag nodig		klaar	
R	7,4%	R	6,4%	R	5,3%
Veff,max [mm/s]		vloer Z			
Meetdagen	21				
#top50%	428	#top25%	214		
M	1,378	μ	-1,146		
Σ	0,308	σ	0,276		
B	2,467	β	2,212		
Vmax	0,539	Vmax	0,586		
iteratieslag nodig		klaar			
R	5,6%	R	6,5%		

Tabel 4.5: berekening V_{max} en R

kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg					
Veff,max [mm/s]		vloer X			
Meetdagen	21				
#top50%	93	#top25%	47	#top12,5%	23
M	1,928	μ	-1,814	μ	-1,705
Σ	0,150	σ	0,128	σ	0,094
B	1,871	β	1,551	β	1,154
Vmax	0,193	Vmax	0,199	Vmax	0,202
iteratieslag nodig		iteratieslag nodig		klaar	
R	4,7%	R	4,9%	R	4,2%
Veff,max [mm/s]		vloer Y			
Meetdagen	21				
#top50%	94	#top25%	47		
M	1,917	μ	-1,782		
Σ	0,179	σ	0,158		
B	1,876	β	1,551		
Vmax	0,205	Vmax	0,215		
iteratieslag nodig		klaar			
R	5,5%	R	6,0%		
Veff,max [mm/s]		vloer Z			
Meetdagen	21				
#top50%	54				
M	2,029				
Σ	0,150				
B	1,620				
Vmax,Bts	0,168				
Klaar					
R	5,5%				

Tabel 4.6: Berekening V_{per} per dag brugkantoor EQIN

periode #	treinen N	datum	periode d/a/n	X V_{per}	Y V_{per}	Z V_{per}
1	14	22-09	avond	0,013	0,005	0,029
2	35	22-09	nacht	0,009	0,006	0,029
3	24	23-09	avond	0,017	0,010	0,044
4	22	23-09	nacht	0,020	0,013	0,031
5	15	24-09	avond	0,020	0,013	0,034
6	37	24-09	nacht	0,012	0,008	0,033
7	22	25-09	avond	0,023	0,015	0,052
8	24	26-09	nacht	0,018	0,012	0,034
9	50	26-09	dag	0,019	0,013	0,045
10	8	26-09	avond	0,028	0,015	0,029
11	39	27-09	dag	0,012	0,008	0,031
12	14	27-09	avond	0,025	0,015	0,035
13	16	27-09	nacht	0,011	0,007	0,024
14	18	28-09	avond	0,012	0,007	0,040
15	33	28-09	nacht	0,014	0,007	0,032
16	19	29-09	avond	0,018	0,010	0,034
17	26	29-09	nacht	0,015	0,007	0,030
18	26	30-09	avond	0,013	0,015	0,038
19	29	01-10	nacht	0,014	0,017	0,040
20	20	01-10	avond	0,020	0,021	0,041
21	38	01-10	nacht	0,018	0,022	0,041
22	13	02-10	avond	0,015	0,015	0,032
23	25	03-10	nacht	0,000	0,000	0,000
24	34	03-10	dag	0,015	0,012	0,019
25	10	03-10	avond	0,000	0,000	0,000
26	29	04-10	dag	0,000	0,000	0,000
27	17	04-10	avond	0,016	0,011	0,024
28	21	04-10	nacht	0,000	0,000	0,000
29	19	05-10	avond	0,011	0,009	0,022
30	22	05-10	nacht	0,019	0,014	0,023
31	15	06-10	avond	0,024	0,017	0,040
32	25	06-10	nacht	0,018	0,015	0,034
33	19	07-10	avond	0,016	0,013	0,040
34	30	07-10	nacht	0,012	0,009	0,033
35	16	08-10	avond	0,005	0,000	0,031
36	36	08-10	nacht	0,022	0,019	0,048
37	21	09-10	avond	0,027	0,021	0,047
38	22	09-10	nacht	0,020	0,013	0,033
39	53	10-10	dag	0,018	0,013	0,043
40	12	10-10	avond	0,019	0,018	0,038
41	32	11-10	dag	0,021	0,015	0,037
42	11	11-10	avond	0,014	0,013	0,036
43	12	11-10	nacht	0,020	0,015	0,031
44	25	12-10	avond	0,026	0,019	0,048
45	24	12-10	nacht	0,019	0,015	0,035
47	4	13-10	nacht	0,000	0,000	0,011
48	22	13-10	avond	0,030	0,019	0,051
max				0,028	0,022	0,052

Tabel 4.7: Berekening V_{per} per dag kazerne gezamenlijke brandweer

periode	treinen		periode	X	Y	Z
#	N	datum	d/a/n	V_{per}	V_{per}	V_{per}
1	14	22-09	avond	0,000	0,005	0,000
2	35	22-09	nacht	0,004	0,006	0,004
3	24	23-09	avond	0,013	0,010	0,008
4	22	23-09	nacht	0,009	0,009	0,003
5	15	24-09	avond	0,015	0,013	0,011
6	61	24-09	nacht	0,010	0,009	0,006
7	50	26-09	dag	0,013	0,011	0,009
8	8	26-09	avond	0,010	0,009	0,009
9	39	27-09	dag	0,005	0,006	0,005
10	14	27-09	avond	0,006	0,007	0,000
11	16	27-09	nacht	0,007	0,008	0,006
12	18	28-09	avond	0,007	0,012	0,008
13	33	28-09	nacht	0,008	0,010	0,006
14	19	29-09	avond	0,010	0,010	0,007
15	26	29-09	nacht	0,008	0,008	0,006
16	26	30-09	avond	0,011	0,012	0,007
17	29	01-10	nacht	0,009	0,011	0,006
18	20	01-10	avond	0,015	0,015	0,011
19	38	01-10	nacht	0,012	0,010	0,010
20	13	02-10	avond	0,012	0,013	0,005
21	25	03-10	nacht	0,008	0,008	0,005
22	34	03-10	dag	0,011	0,010	0,006
23	10	03-10	avond	0,007	0,008	0,005
24	29	04-10	dag	0,007	0,010	0,006
25	17	04-10	avond	0,010	0,013	0,008
26	21	04-10	nacht	0,003	0,009	0,003
27	19	05-10	avond	0,008	0,009	0,007
28	22	05-10	nacht	0,006	0,006	0,000
29	15	06-10	avond	0,014	0,012	0,010
30	25	06-10	nacht	0,011	0,012	0,007
31	19	07-10	avond	0,010	0,008	0,005
32	30	07-10	nacht	0,007	0,006	0,004
33	16	08-10	avond	0,000	0,000	0,000
34	36	08-10	nacht	0,008	0,010	0,008
35	21	09-10	avond	0,010	0,009	0,005
36	22	09-10	nacht	0,008	0,008	0,005
37	53	10-10	dag	0,011	0,010	0,008
38	12	10-10	avond	0,005	0,005	0,000
39	32	11-10	dag	0,009	0,009	0,006
40	11	11-10	avond	0,012	0,011	0,010
41	12	11-10	nacht	0,009	0,012	0,007
42	25	12-10	avond	0,009	0,008	0,010
43	24	12-10	nacht	0,010	0,009	0,007
44	20	13-10	avond	0,011	0,010	0,000
45	26	13-10	nacht	0,013	0,013	0,009
max				0,015	0,015	0,011

In tabel 4.8 worden de $v_{\max}$ en v_{per} volgens Bts voor brugkantoor EQIN gepresenteerd. In tabel 4.9 worden de $v_{\max}$ en v_{per} volgens Bts voor kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg gepresenteerd.

Tabel 4.8: $v_{\max}$ en v_{per} in nachtperiode brugkantoor EQIN

Tabel 4.6: $v_{\max}$ en v_{per} in nachperiode Brugkantoor EQIN							
	$v_{\max}$			v_{per}	dag/avond/nacht		
	X	Y	Z		A1	A2	A3
	Brugkantoor EQIN 1 ^e verdieping	0,41	0,32	0,59	0,05	0,3	1,2
	R [%]				R [%]		
	6.7%	5.3%	6.5%		<10%	<10%	<10%

Tabel 4.9: $v_{\max}$ en v_{per} in nachtperiode kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg

Tabel 4.9: $v_{\max}$ en v_{per} in nachtperiode Kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg							
	$v_{\max}$			v_{per}	dag/avond/nacht		
	X	Y	Z		A1	A2	A3
	R [%]				R [%]		
Kazerne gezamenlijke brandweer 1 ^e verdieping	0,20	0,22	0,17	0,02	0,3	1,2	0,15
	4.2%	6.0%	5.5%		<10%	<10%	<10%

Uit de meet- en rekenresultaten in tabel 4.8 blijkt, voor de bestaande situatie brugkantoor Eqin, te worden voldaan aan de grenswaarden uit Bts. De v_{per} wordt overschreden. Uit de meet- en rekenresultaten in tabel 4.9 blijkt, voor de bestaande situatie kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg, te worden voldaan aan de grenswaarden uit Bts.

Opslingerfactor vloervelden gebouwen

Het verschil tussen het signaal in het vloerveld en het signaal in het maaiveld geeft een indicatie voor de opslingerfactoren van de vloervelden. De opslingerfactor van vloervelden is in zijn algemeenheid frequentieafhankelijk, in de nabijheid van de eigenfrequenties van vloervelden kunnen grote opslingerfactoren tot circa 3 [--] optreden. Hierbij wordt aangetekend dat er geen exacte bepaling van de overdrachtsfunctie als functie van de frequentie heeft plaats gevonden. Voor bepaling van de overdracht van het meetpunt in het maaiveld naar het meetpunt op de vloer is een $v_{\max\text{Bts}}$ voor het meetpunt maaiveld bepaald op dezelfde wijze als bij meetpunt vloer. Hierna zijn deze waarden gedeeld om een indicatie van de opslingerfactor te krijgen. Deze indicatie van de opslingerfactor geldt voor het specifieke spectrum van de betreffende passage die de hoogste $V_{\max}$ bepaald.

In tabel 4.10 is de overdracht factor weergegeven voor brugkantoor Eqin en voor de kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg.

Tabel 4.10: indicatie overdracht factor bepaald uit $v_{\max}$

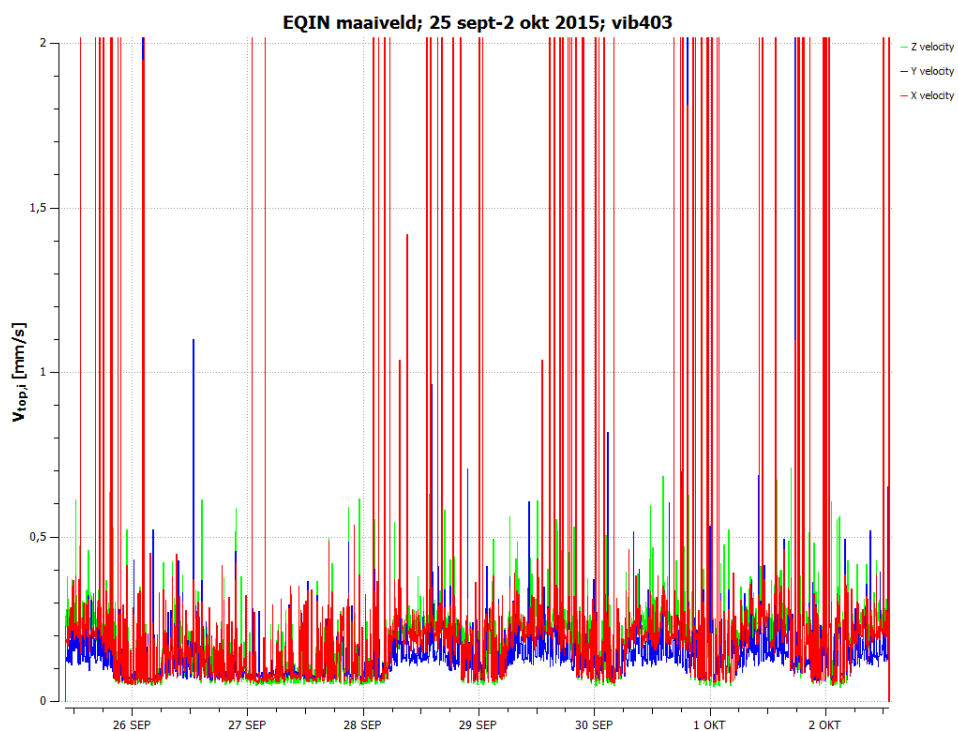
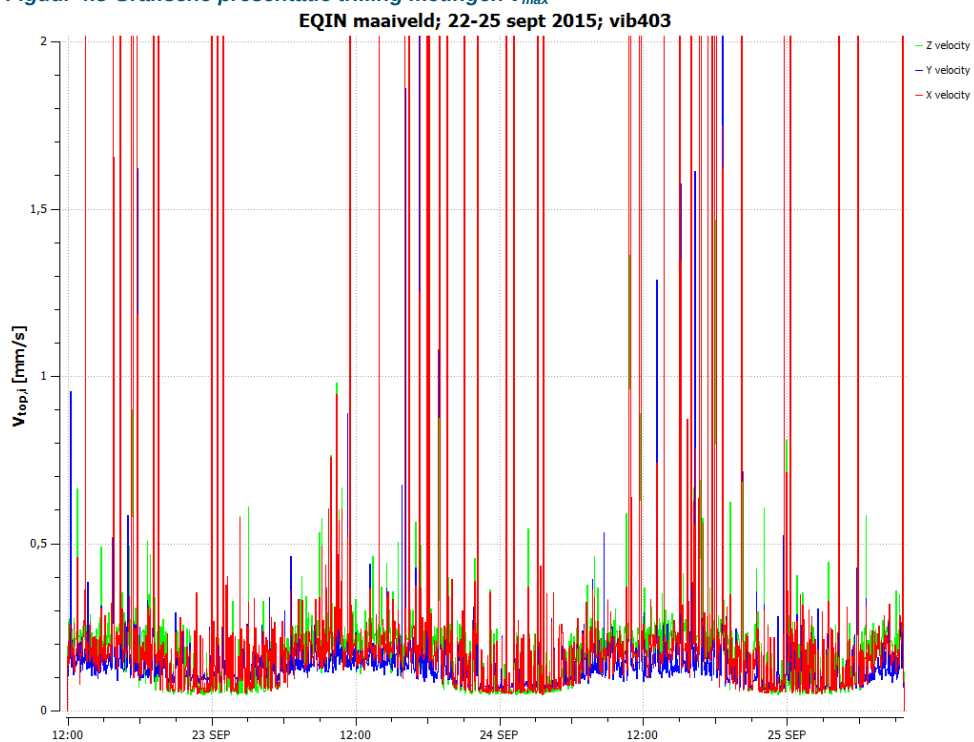
	$V_{\max}$	
	Eqin	Brandweer
Maaiveld	0,409	0,392
Vloer	0,586	0,168
Factor	1,43	0,43

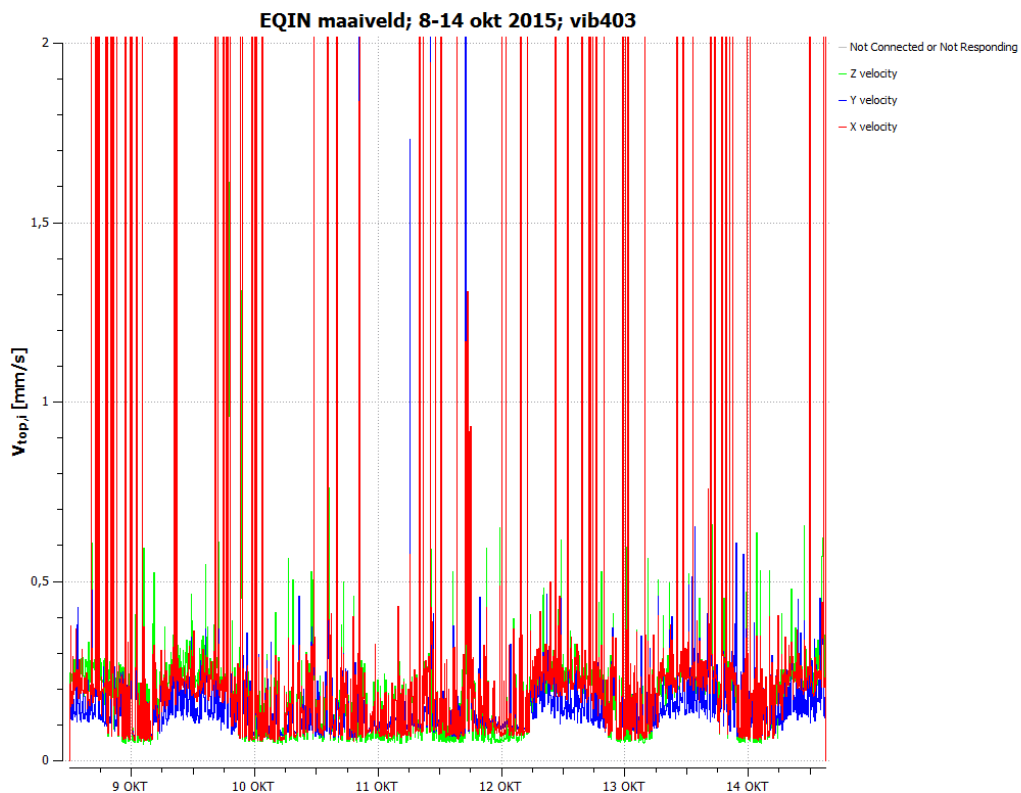
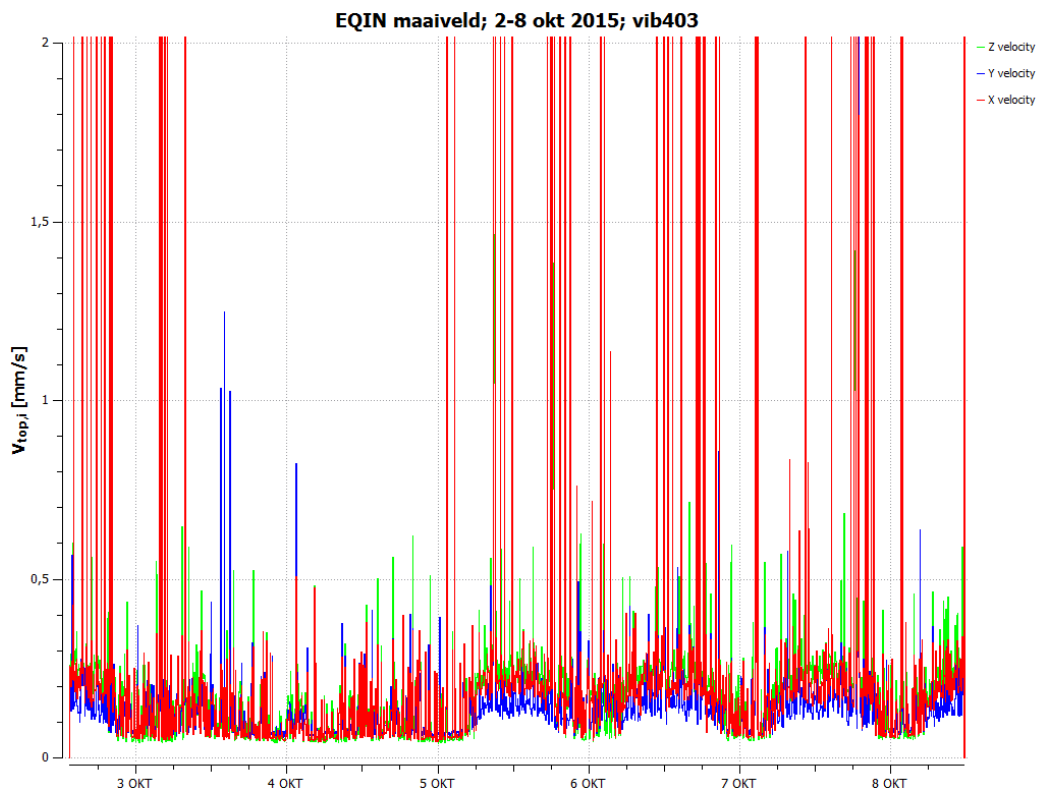
Veiligheidshalve wordt in de berekeningen op basis van de metingen een opslingerfactor van 2 [--] voor het kantoor Eqin en 1 [--] voor de Brandweer gehanteerd.

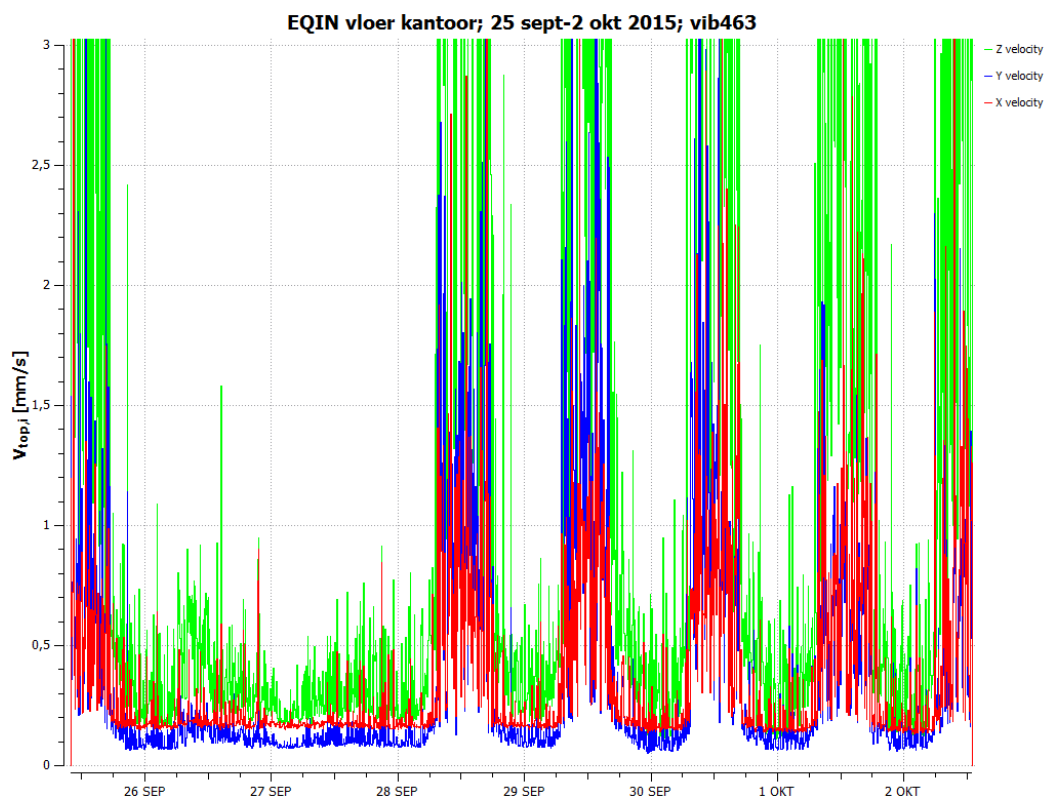
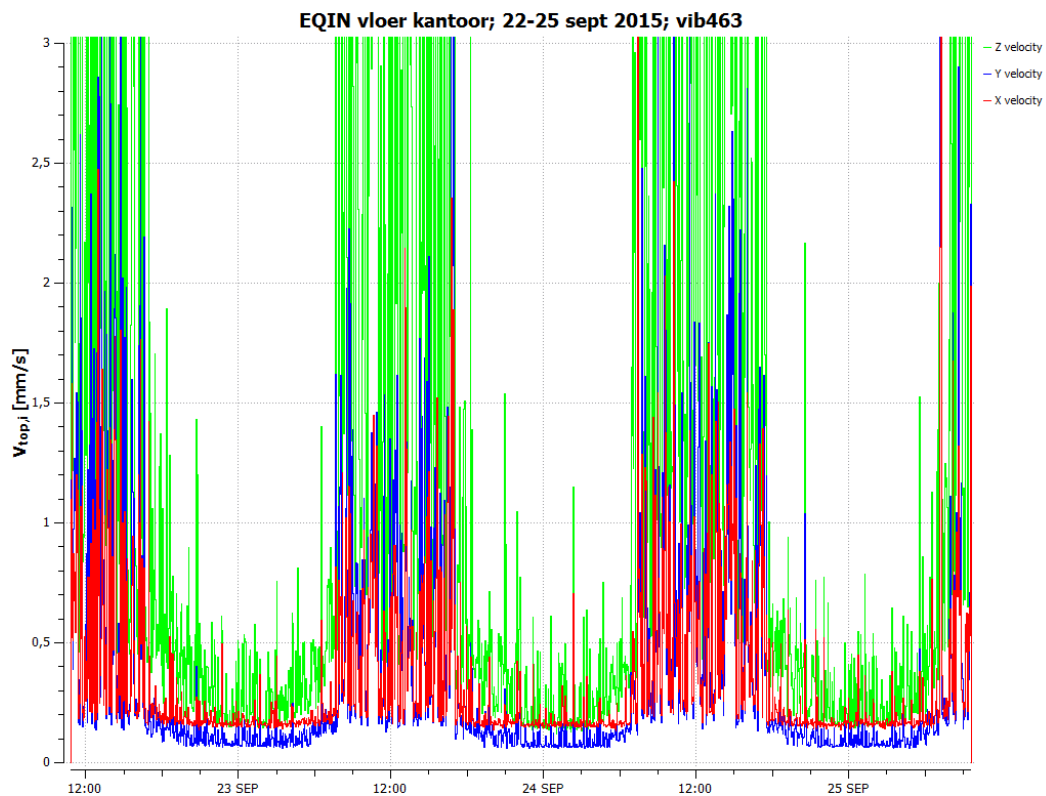
Bevindingen

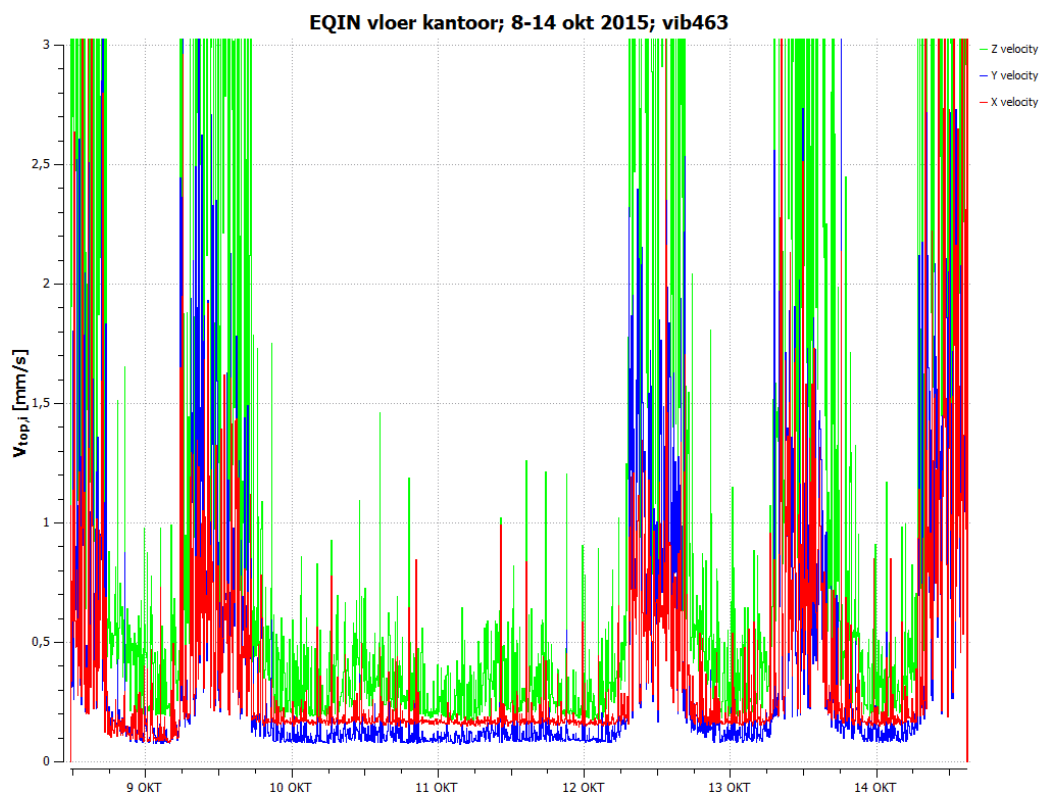
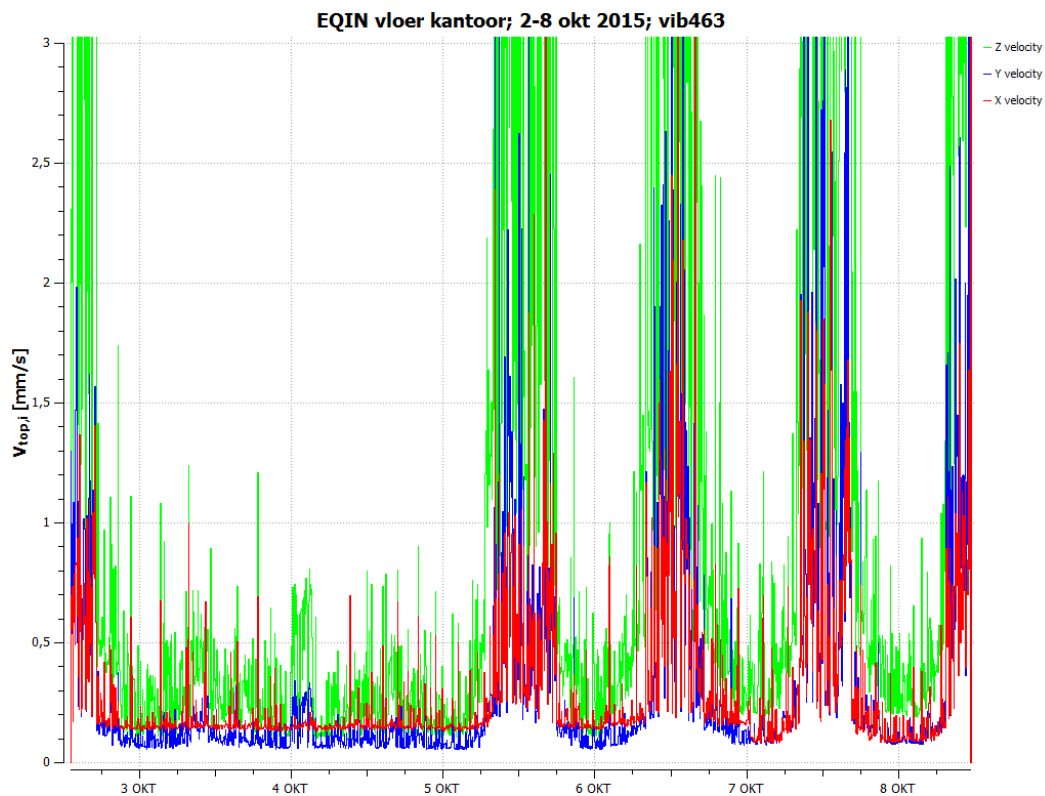
Uit de meetresultaten van onbemande trilling metingen volgens Bts van dinsdag 22 september tot en met woensdag 14 oktober 2015 zijn voor de meetpunten op de vloeren van brugkantoor EQIN en de verdiepingsvloer van de kazerne van de gezamenlijke brandweer Merseyweg de $v_{\max}$ en v_{per} bepaald. Uit de berekening blijkt, voor de bestaande situatie brugkantoor Eqin, niet te worden voldaan aan de grenswaarden uit Bts. De v_{per} wordt overschreden. Uit de berekening blijkt, voor de bestaande situatie kazerne gezamenlijke brandweer Merseyweg, te worden voldaan aan de grenswaarden uit Bts.

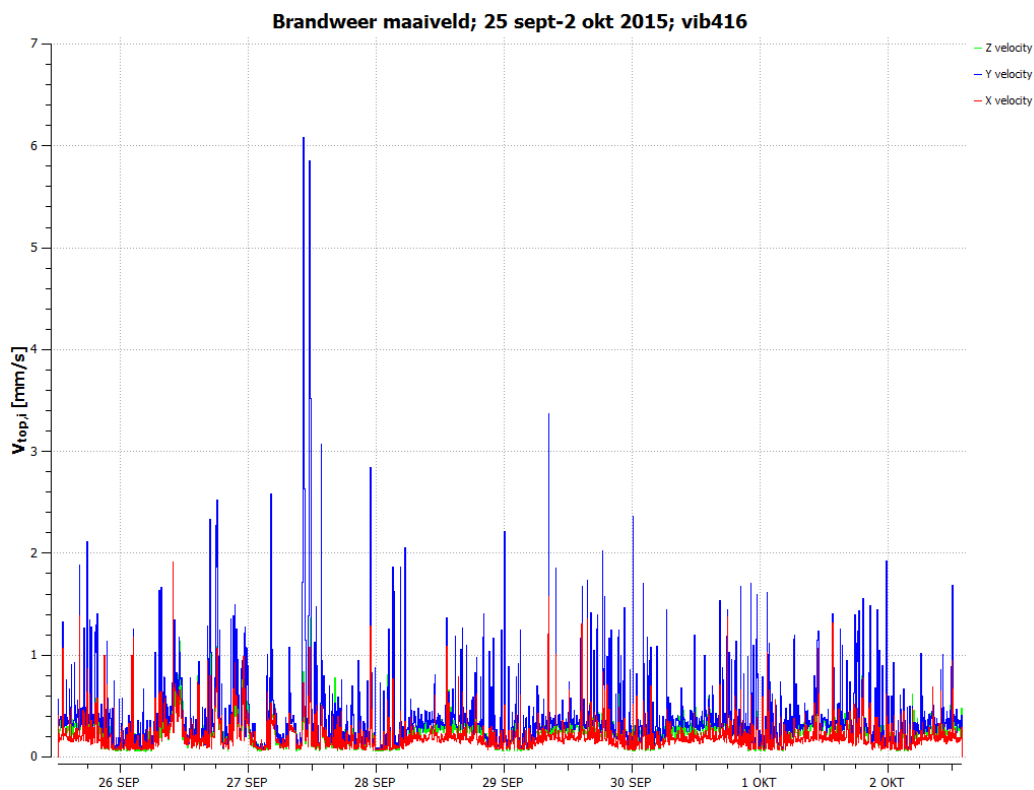
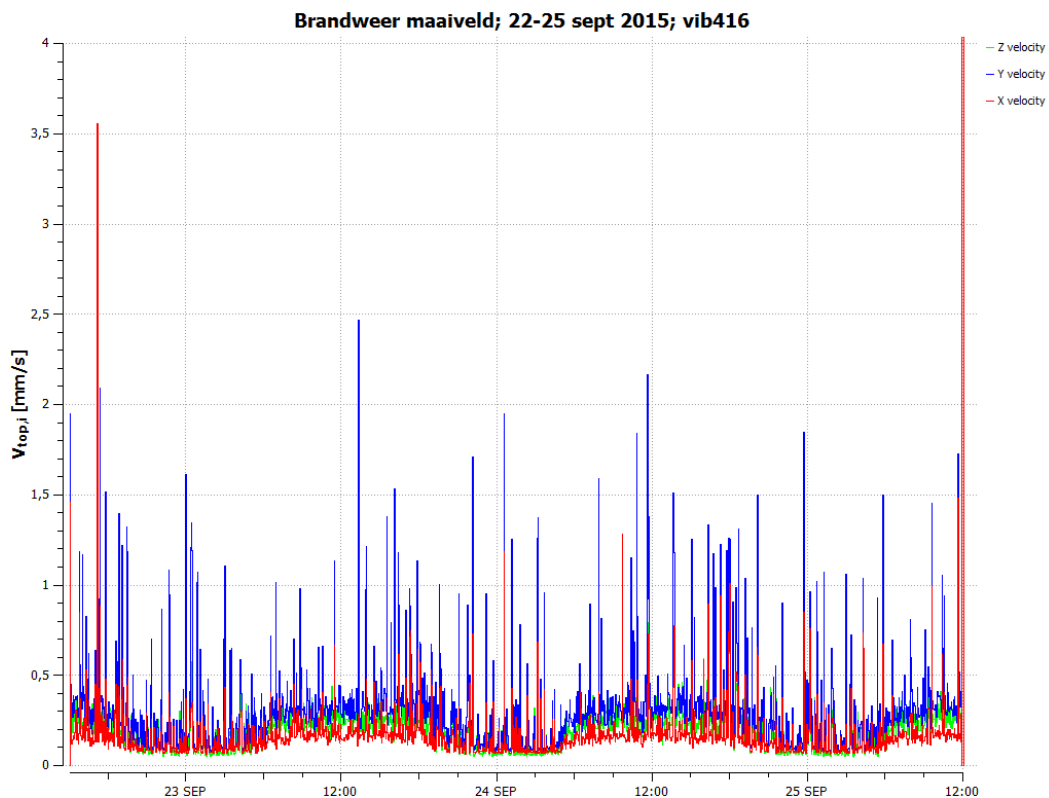
Figuur 4.8 Grafische presentatie trilling metingen v_{max}

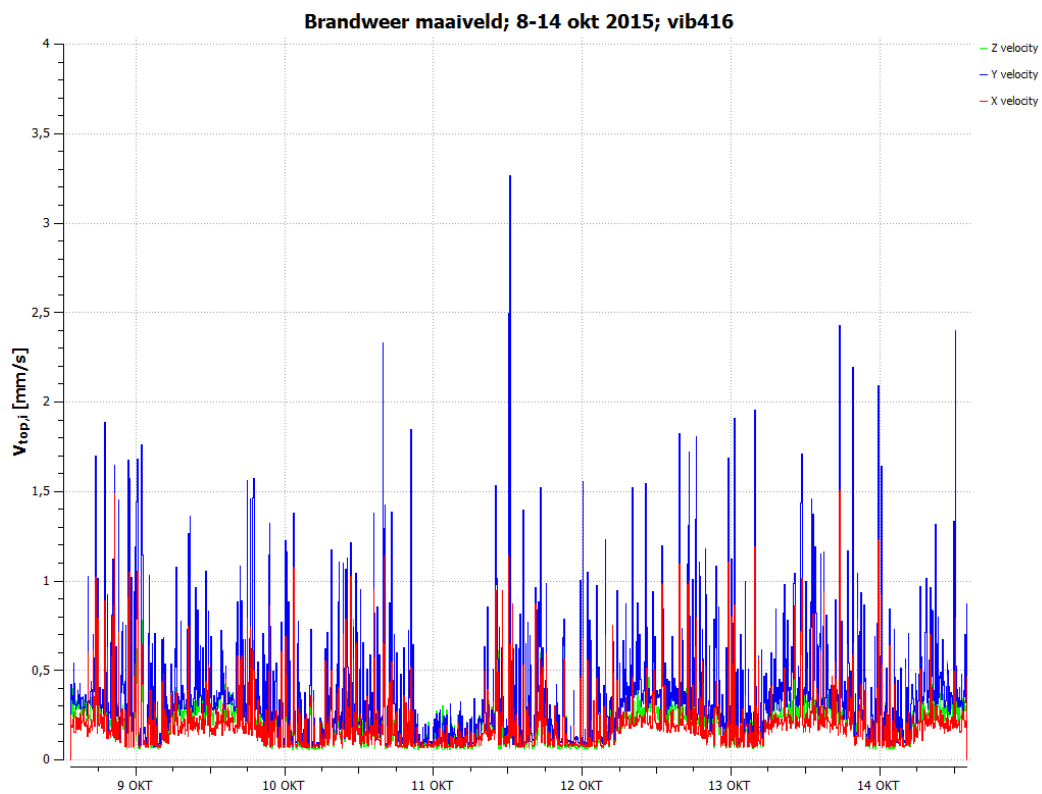
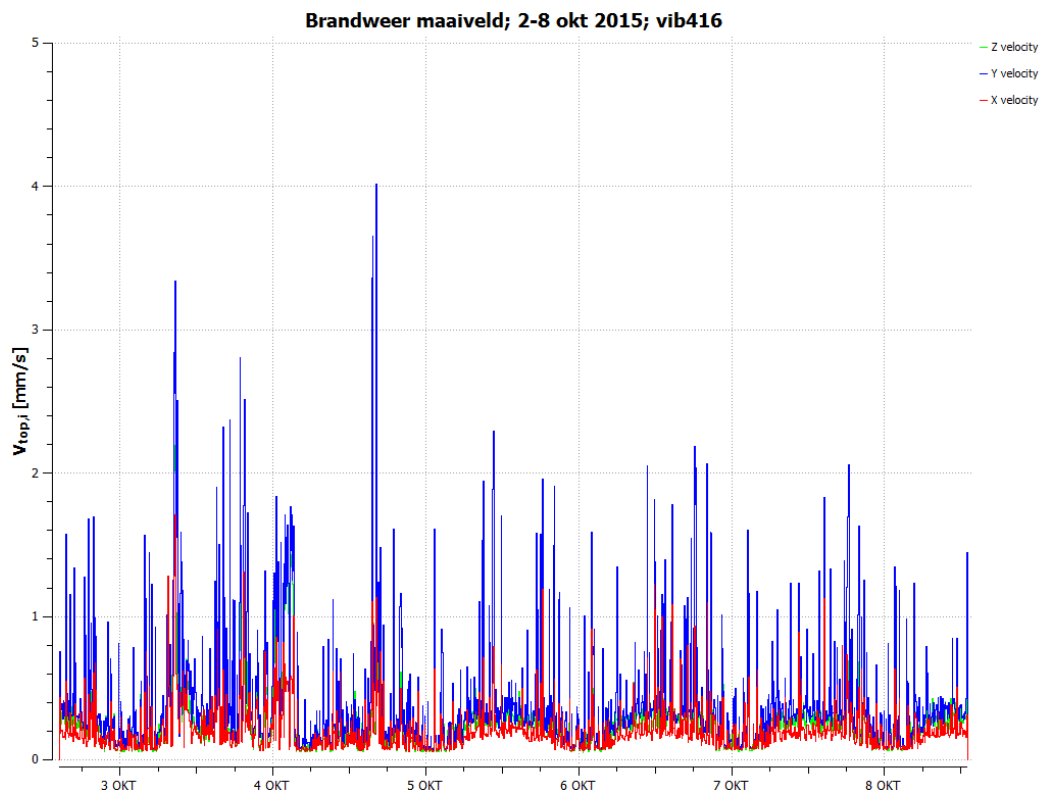


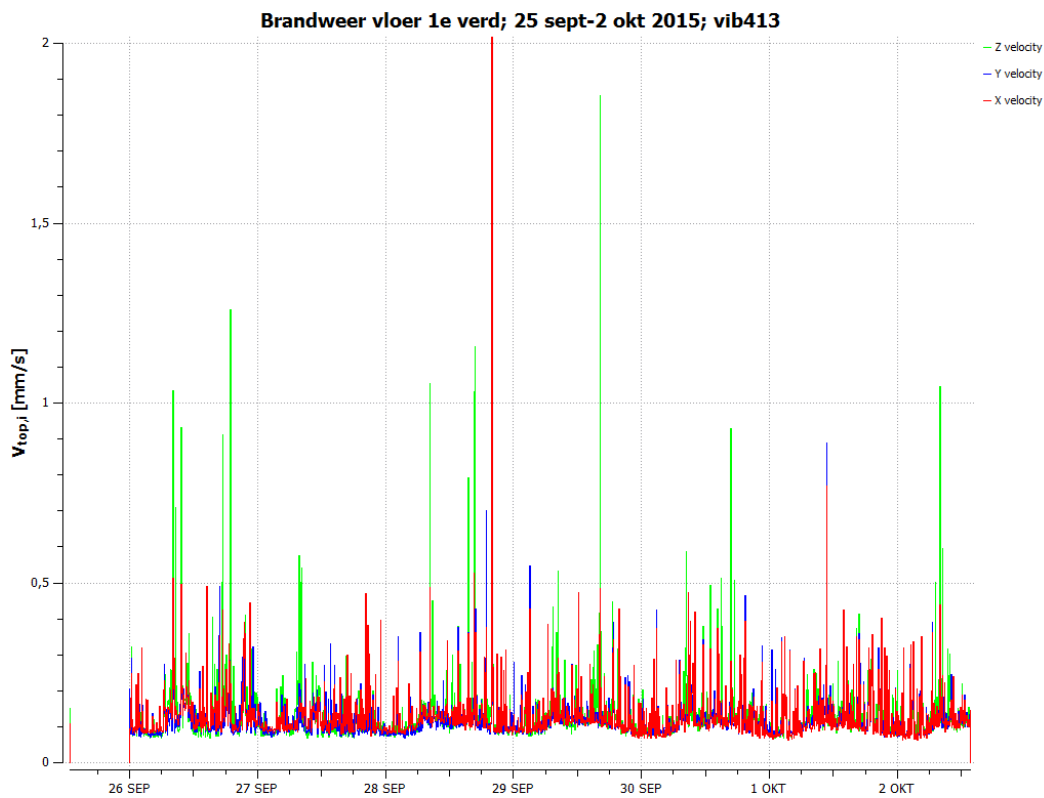
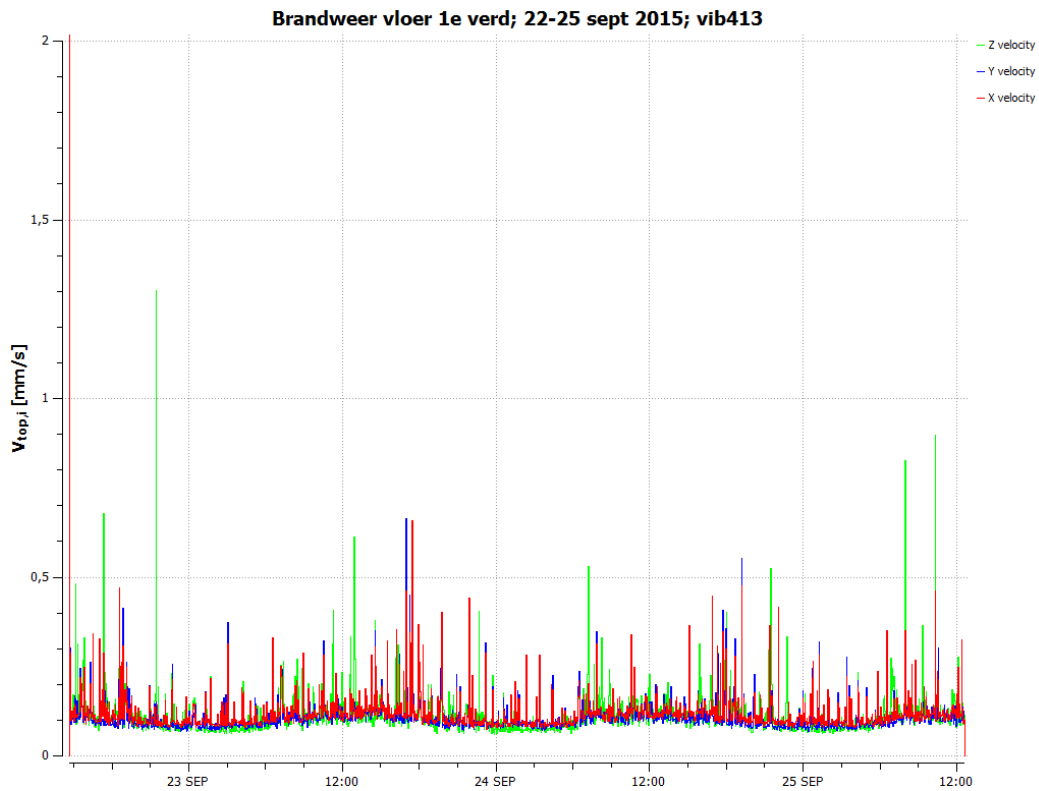


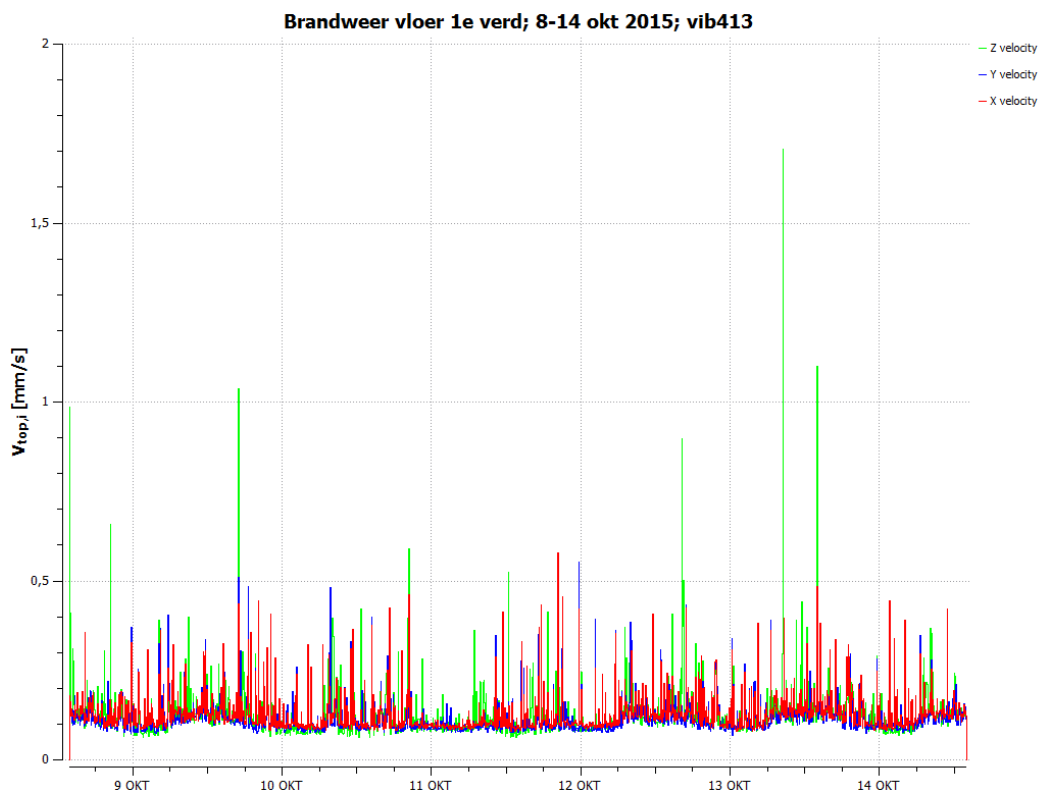
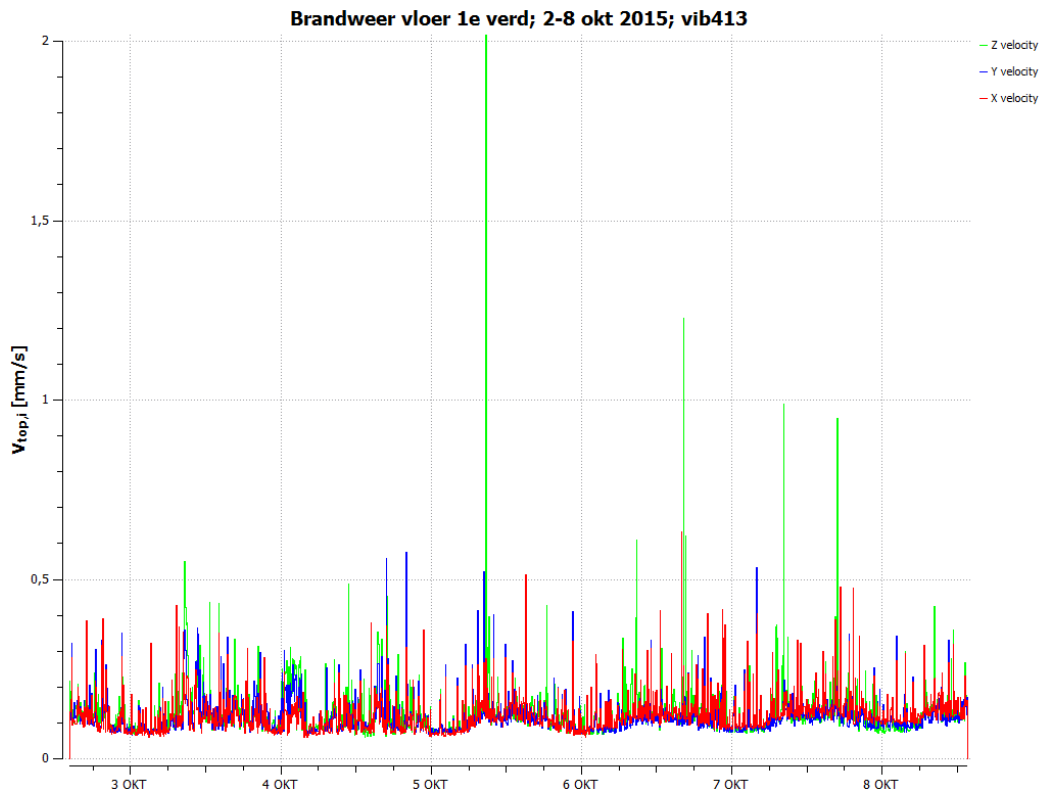


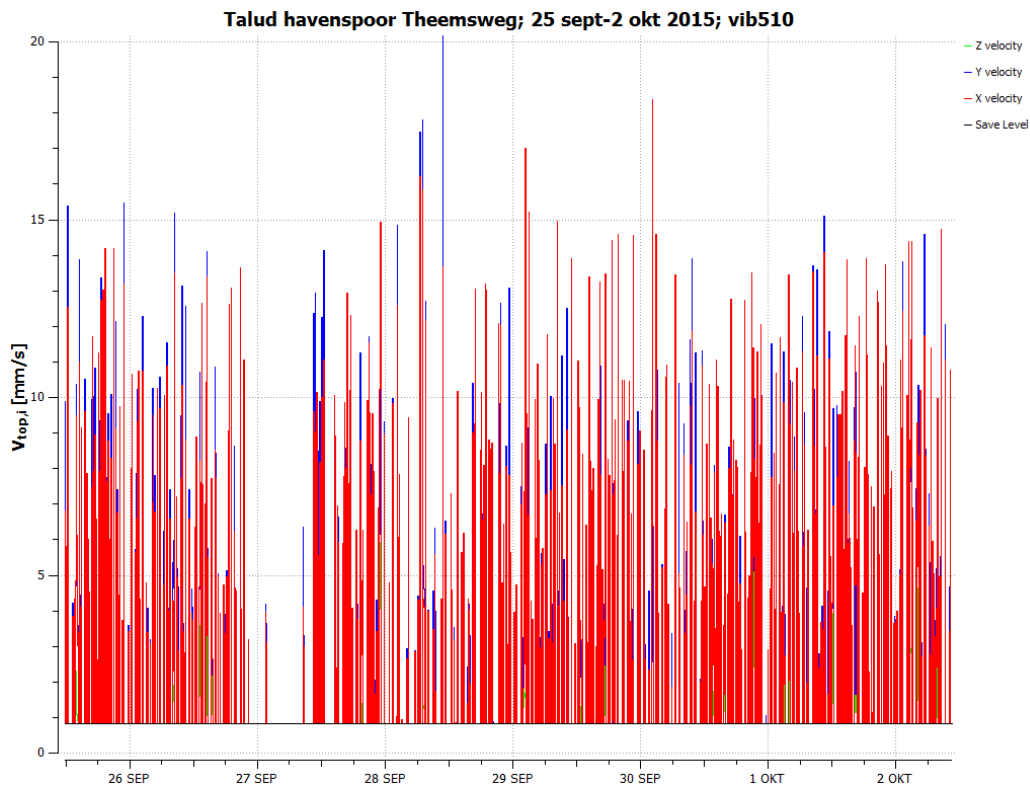
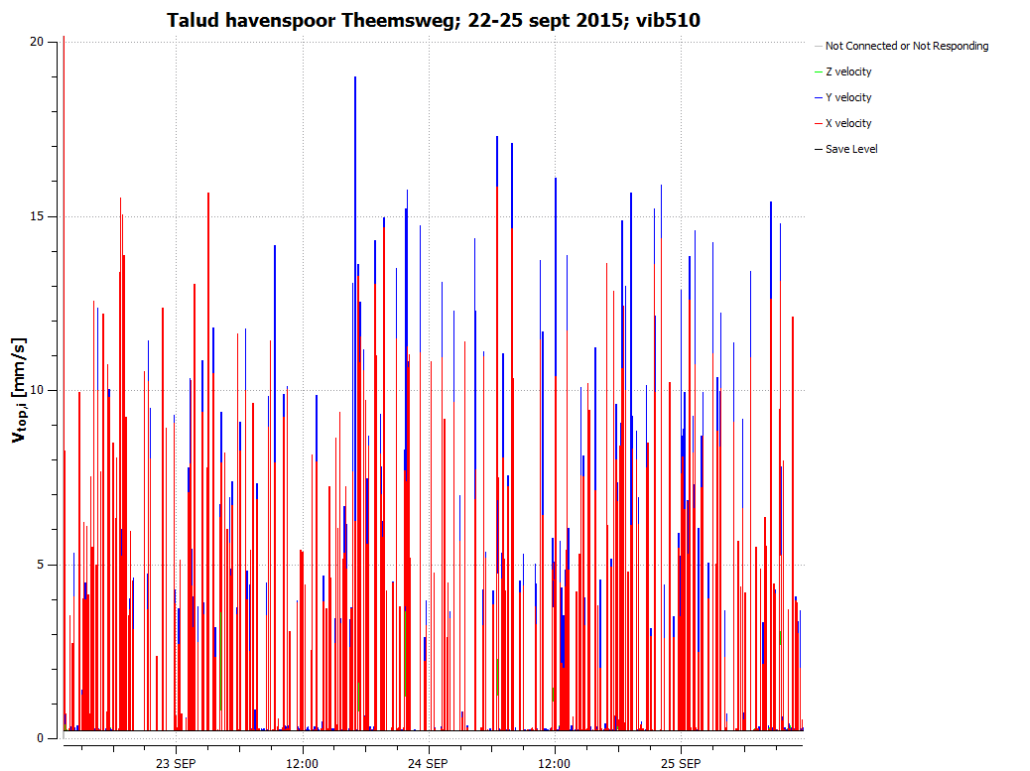


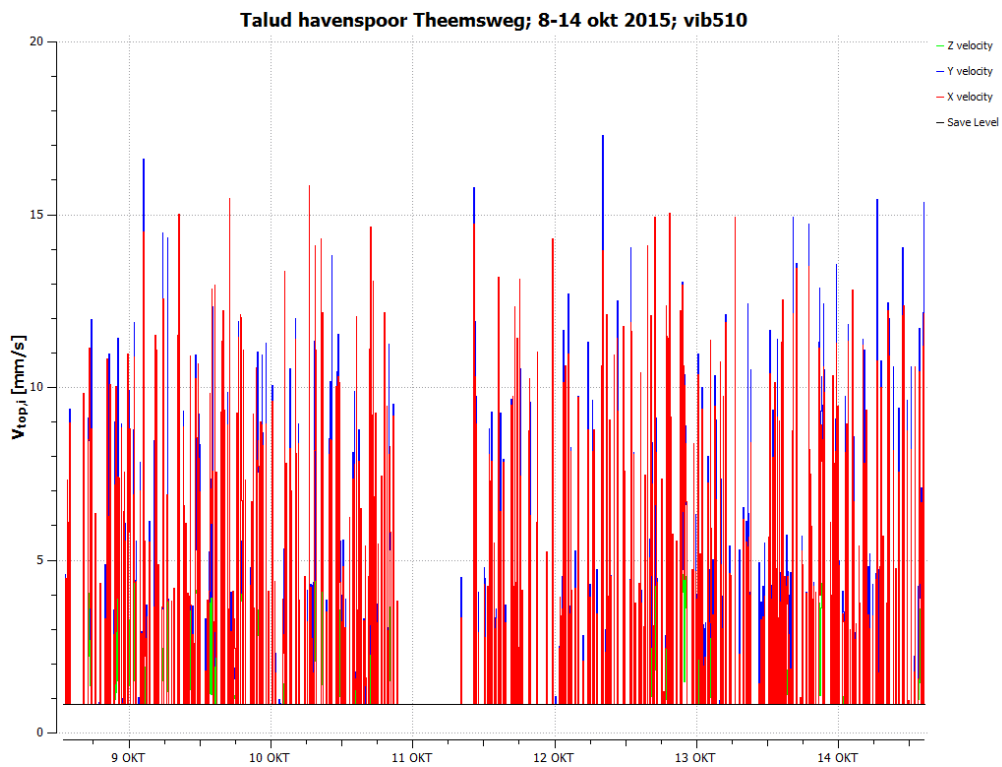
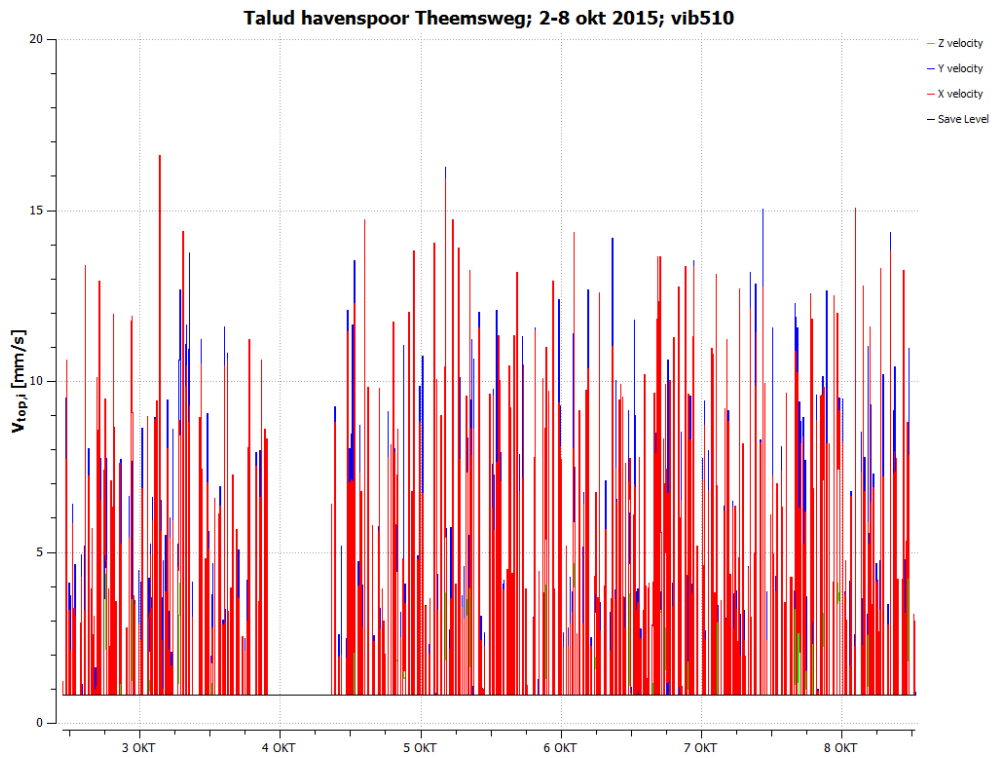




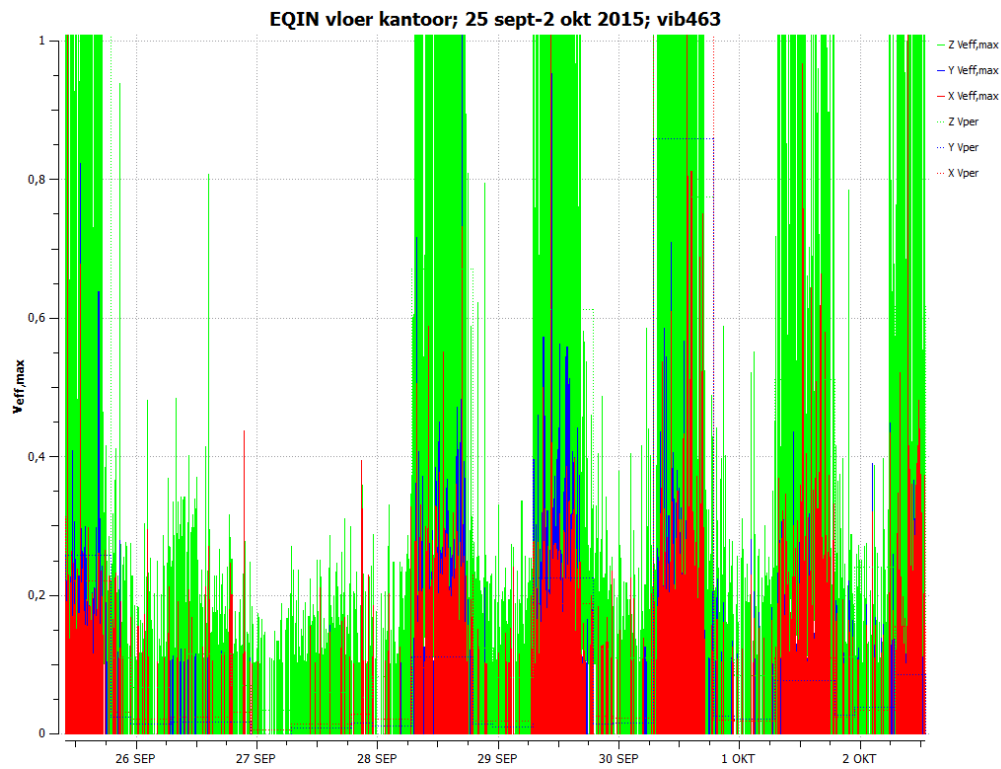
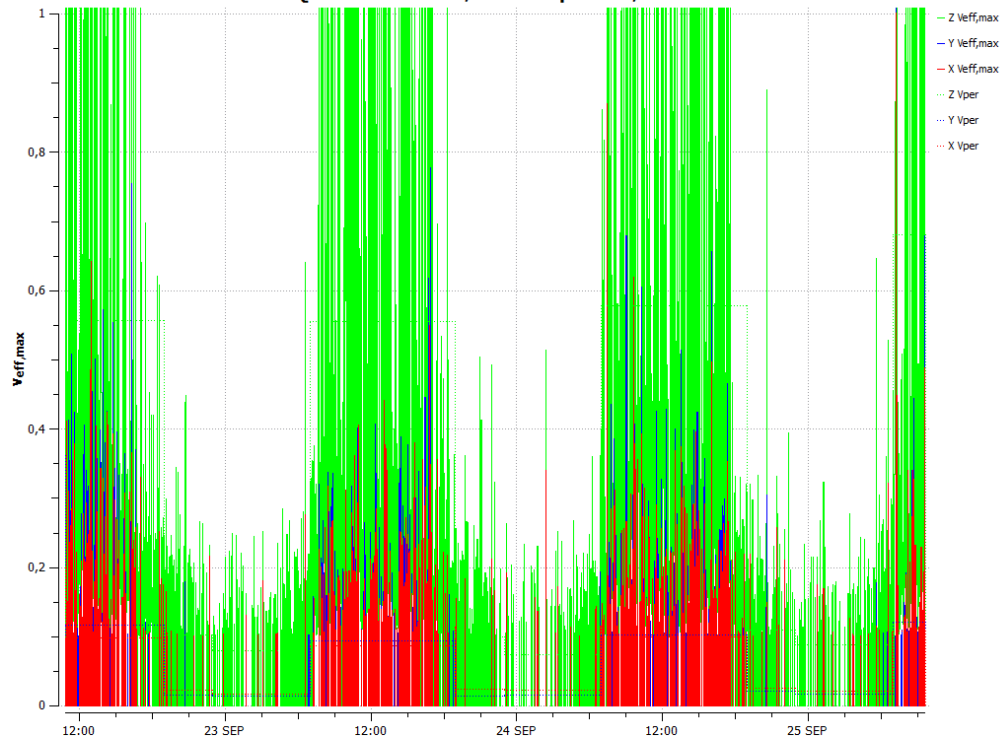


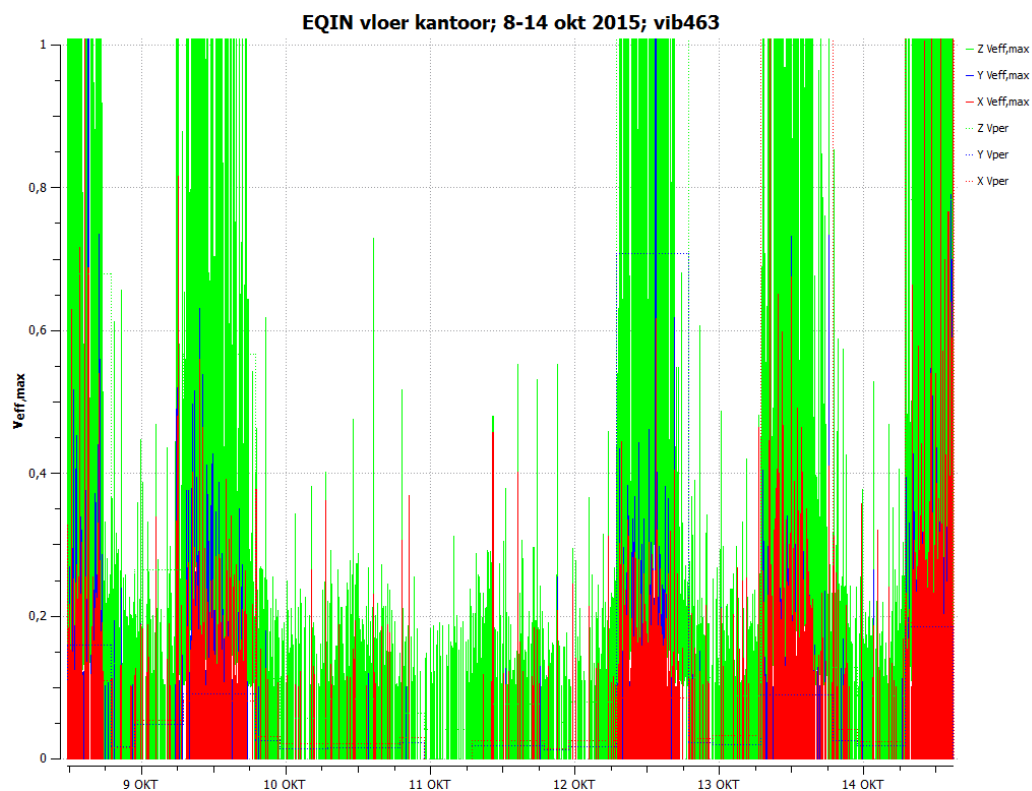
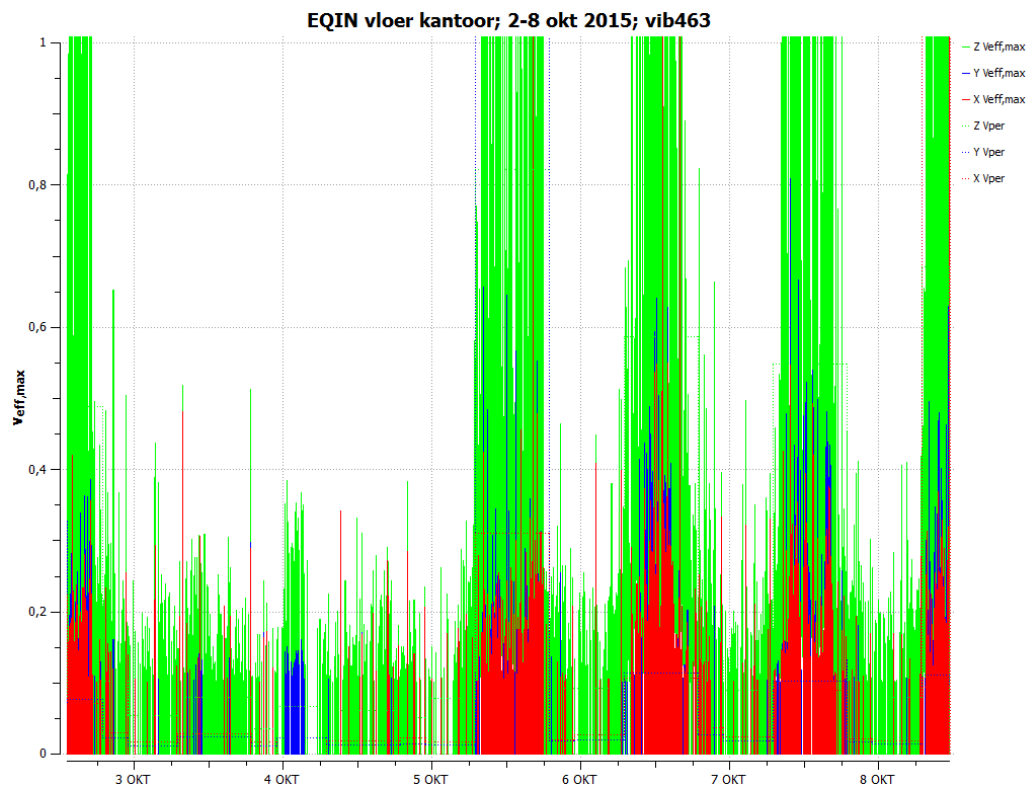


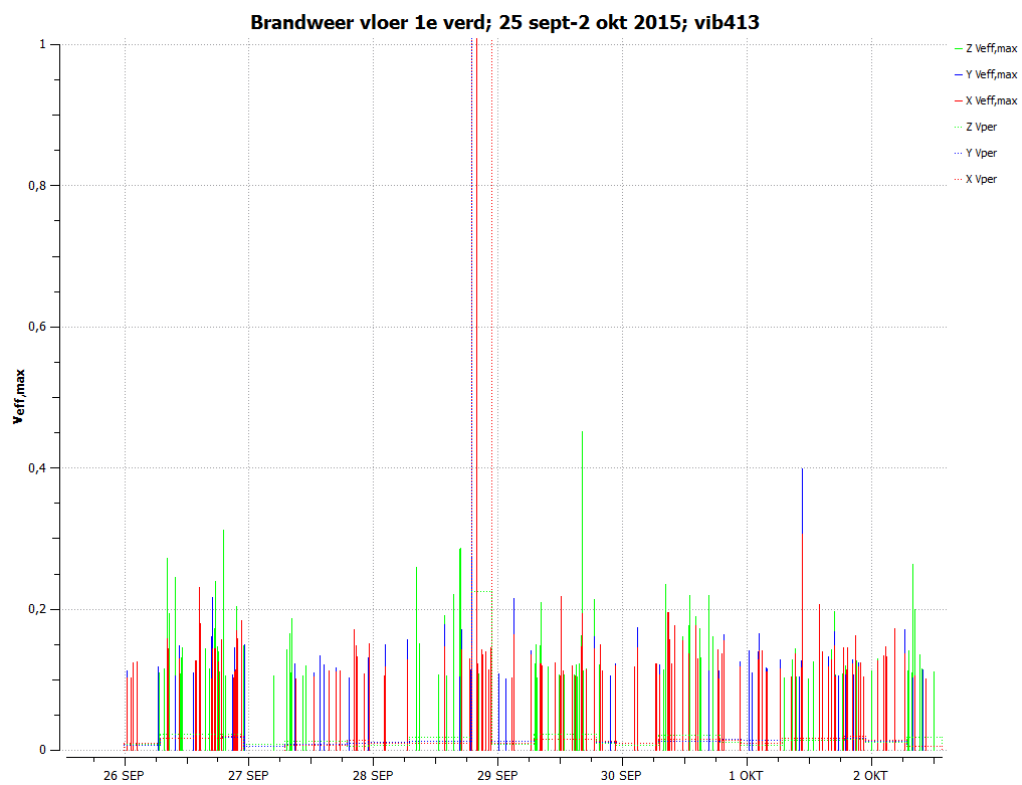
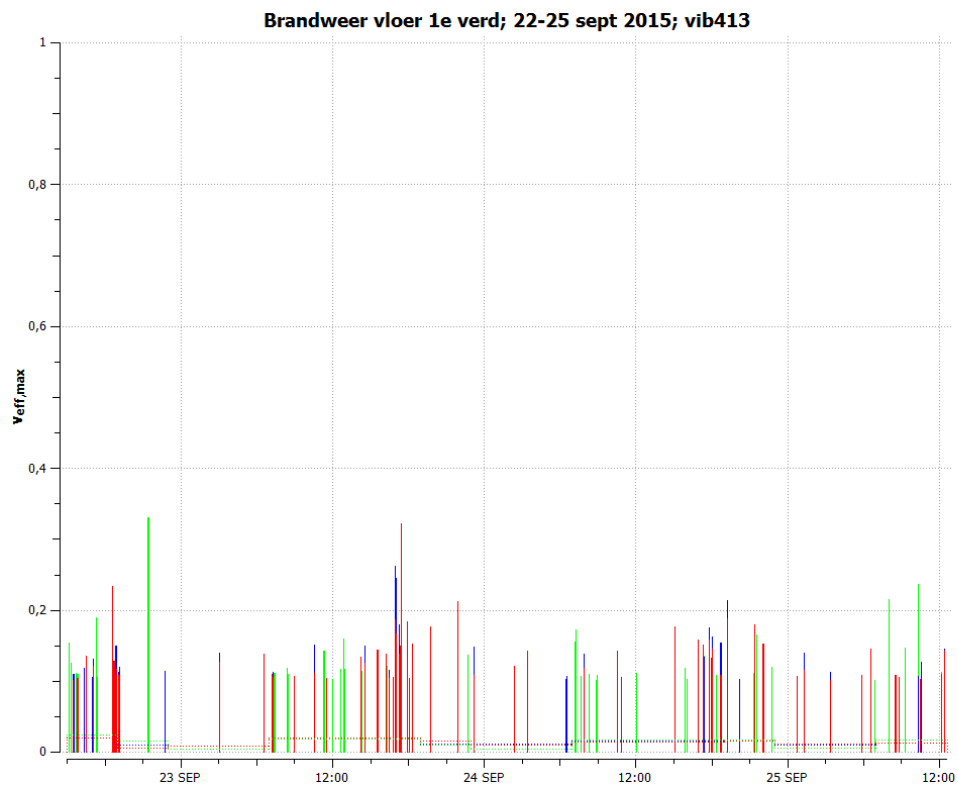


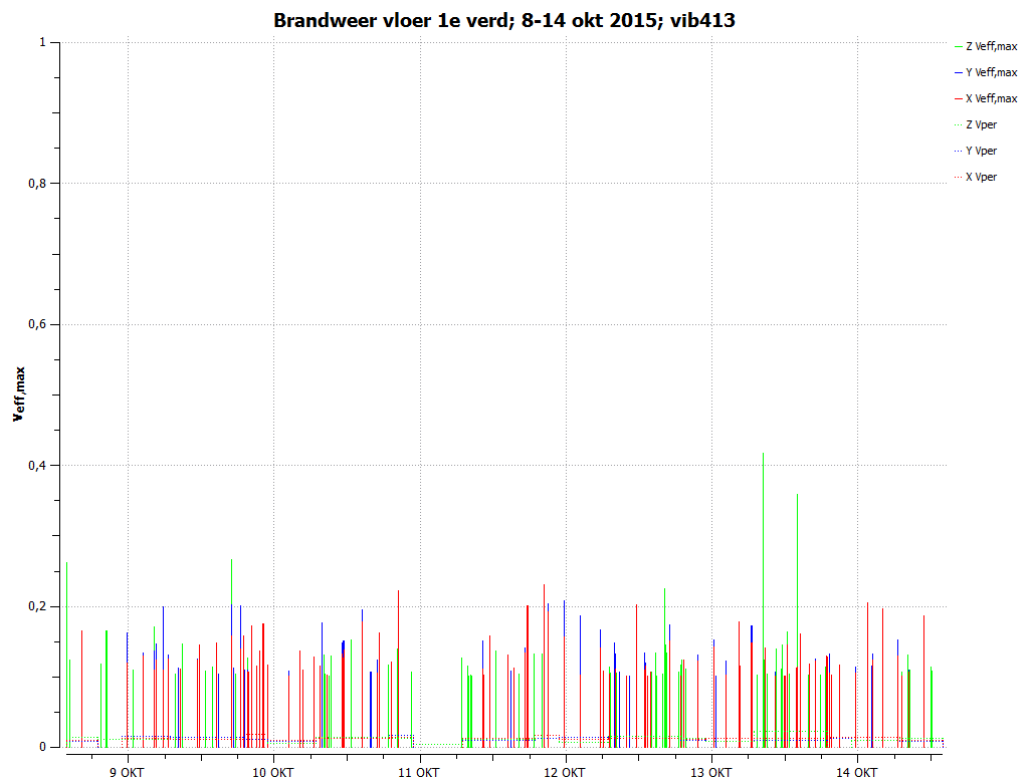
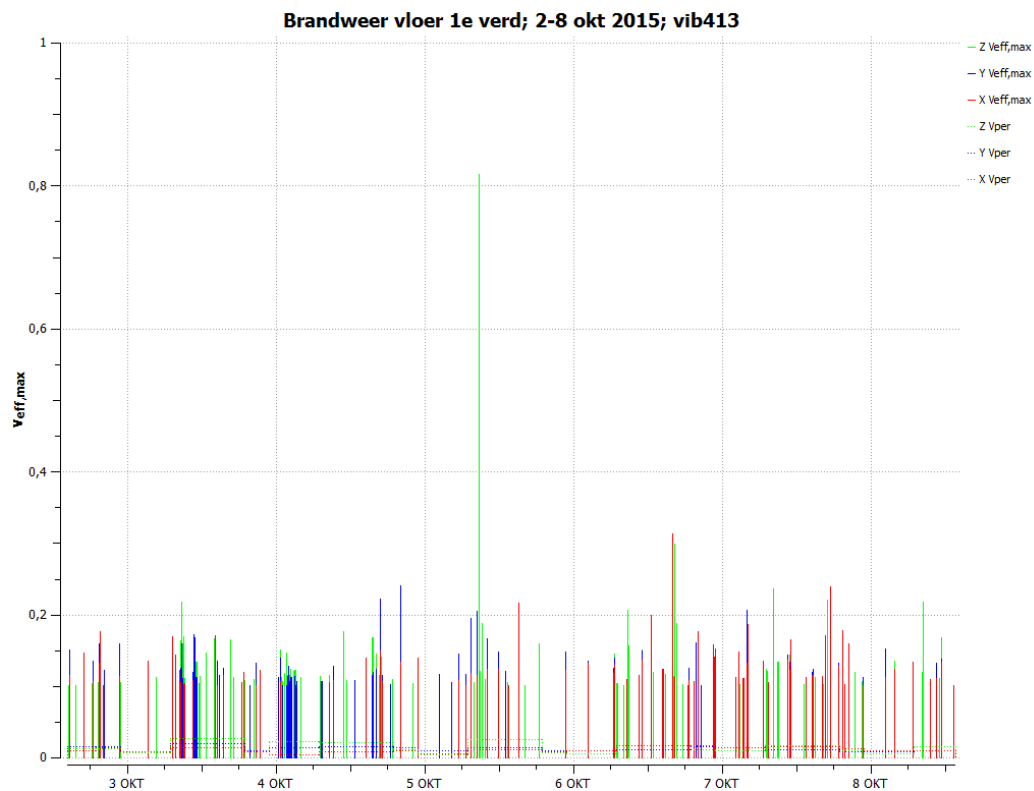


Figuur 4.9: Grafische presentatie trilling metingen $V_{eff,max}$ en V_{per}
EQIN vloer kantoor; 22-25 sept 2015; vib463





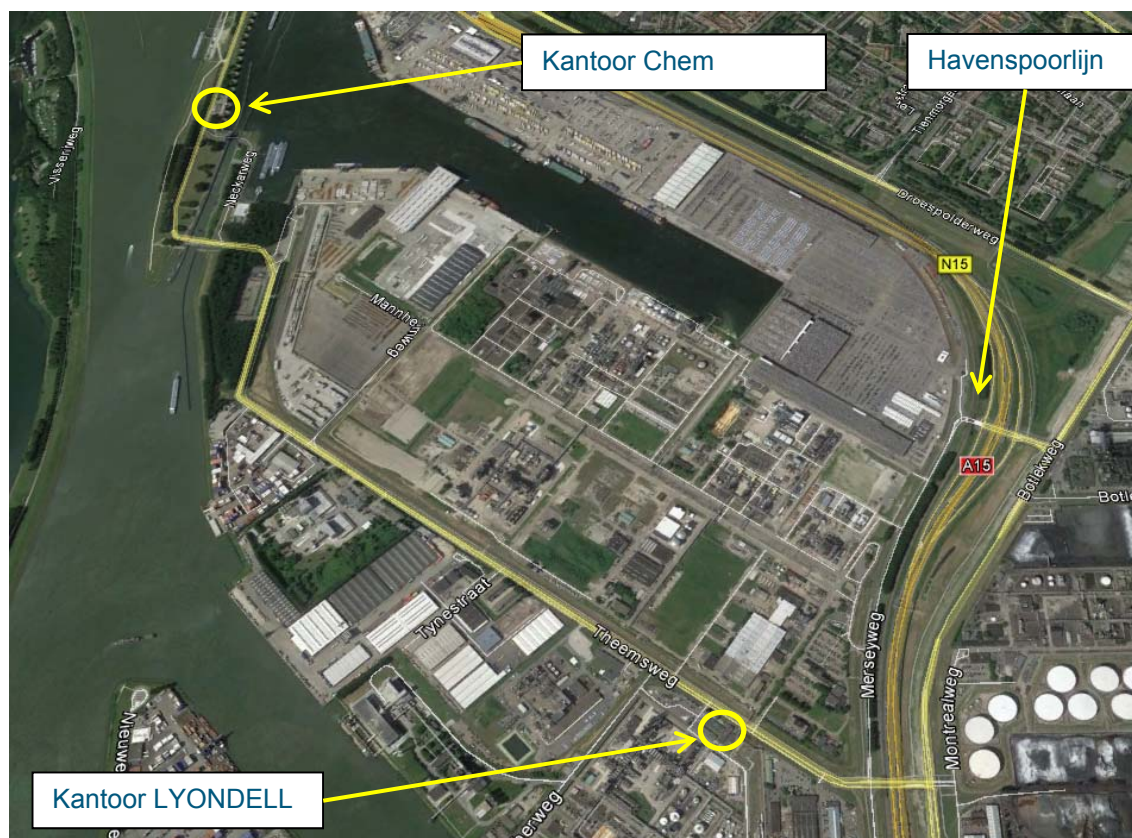




Bijlage 5 Achtergrondmeting

Situatie

De trilling metingen zijn verricht in het kantoor van Lyondell aan de Theemsweg 14 en in het kantoor van Chem aan de Neckarweg 32 beide te Rotterdam. In figuur 5.1 is een overzicht van de situatie weergegeven.



Figuur 5.1: overzicht situatie

Langs de Theemsweg loopt ook zogenaamde stam spoorlijnen. Over dit spoor rijden stapvoets goederentreinen naar bedrijven in het industriegebied. Langs de Neckarweg loopt geen spoorlijn.

Bouwkundige situatie kantoor Lyondell

Van het kantoor van Lyondell aan de Theemsweg 14 zijn beperkt bouwkundige gegevens bekend. Tijdens uitvoeren van de trilling metingen zijn ter plaatse enkele gegevens genoteerd in overleg met een medewerker van Lyondell. De gevels van het kantoor zijn opgebouwd uit metselwerk. De vloeren zijn uitgevoerd in beton. Figuur 5.2 is een aanzicht van het kantoorpand vanaf de Theemsweg.



Figuur 5.2: kantoor Lyondell gezien vanaf Theemsweg

Bouwkundige situatie kantoor Chem

Van het kantoor van Chem aan de Neckarweg 32 zijn geen bouwkundige gegevens bekend. Tijdens uitvoeren van de trilling metingen zijn ter plaatse enkele gegevens genoteerd in overleg met een medewerker van Lyondell. Het kantoor is waarschijnlijk opgebouwd als een lichte stalen constructie met panelen als wanden. De vloeren zijn uitgevoerd in beton. In figuur 5.3 is een aanzicht van het kantoorpand vanaf de Neckarweg weergegeven.



Figuur 5.3: kantoor Chem gezien vanaf Neckarweg

Meetapparatuur

De metingen zijn uitgevoerd met gebruikmaking van de volgende apparatuur:

Apparaat:

Data logger
3 kanaals opnamer (X, Y en Z richting)

Merk:

Profound
Profound

Type:

Vibra+ sbr
geofoon

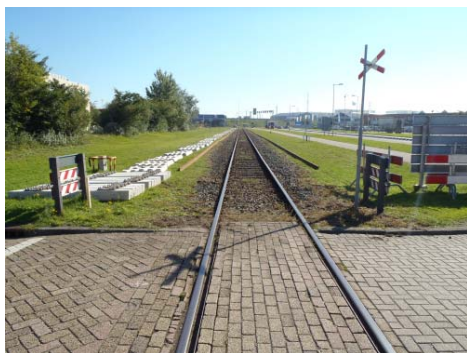
Metingen

Van vrijdag 2 oktober tot en met vrijdag 9 oktober 2015 zijn onbemande trilling metingen verricht op zes locaties:

In het kantoorpand van Lyondell op de vloer van kantoorvertrek 120 op de 1^e verdieping;
 Op het maaiveld naast het kantoorpand van Lyondell bij de kopgevel aan de Theemsweg;
 Op het maaiveld naast de stam spoorlijn langs de Theemsweg t.h.v. kantoor Lyondell;
 In het kantoorpand van Chem op de vloer van kantoorvertrek wegzijde begane grond;
 Op het maaiveld naast het kantoorpand Chem aan de wegzijde;
 Op het maaiveld naast een windvanger achter het kantoorpand Chem aan de waterzijde.

Voor het op de vloer plaatsen van de trilling meetpunten is een hulpconstructie gebruikt zoals omschreven in Bijlage 4 van SBR richtlijn deel B; Hinder voor personen in gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn. De meetpunten in het maaiveld zijn op een meetpen van 40cm in de grond geplaatst. Bij het kantoor van Lyondell mocht de grond niet dieper omgewoeld worden dan 20cm. De meetpen is hier dan ook niet dieper dan 20cm in de grond geplaatst. Tijdens alle trilling metingen zijn de trillingsniveaus in de meetapparatuur opgeslagen. De trillingen ten gevolge van wegverkeer worden gekwalificeerd als herhaald kortdurende trillingen. Het betreft een bestaande situatie en de gebouwfunctie is kantoor.

In het weekend van zaterdag 3 oktober en zondag 4 oktober zijn van een deel van het stam spoor langs de Theemsweg de spoorstaven en dwarsliggers voor vervangen. Hierbij is zwaar materieel gebruikt. (zie figuren 5.4 en 5.5) In verband met deze spoor vervanging kon het meetpunt op het maaiveld naast de stam spoorlijn langs de Theemsweg ter hoogte van het kantoor van Lyondell pas op maandag 5 oktober geplaatst worden.

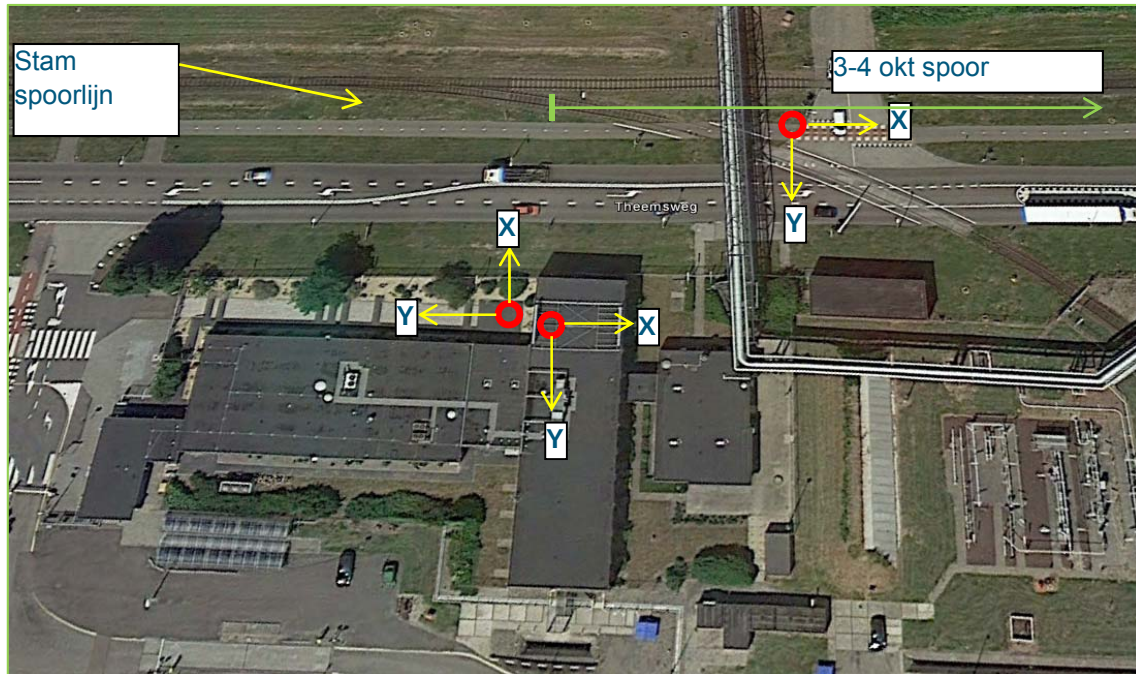


Figuur 5.4: situatie 2 oktober

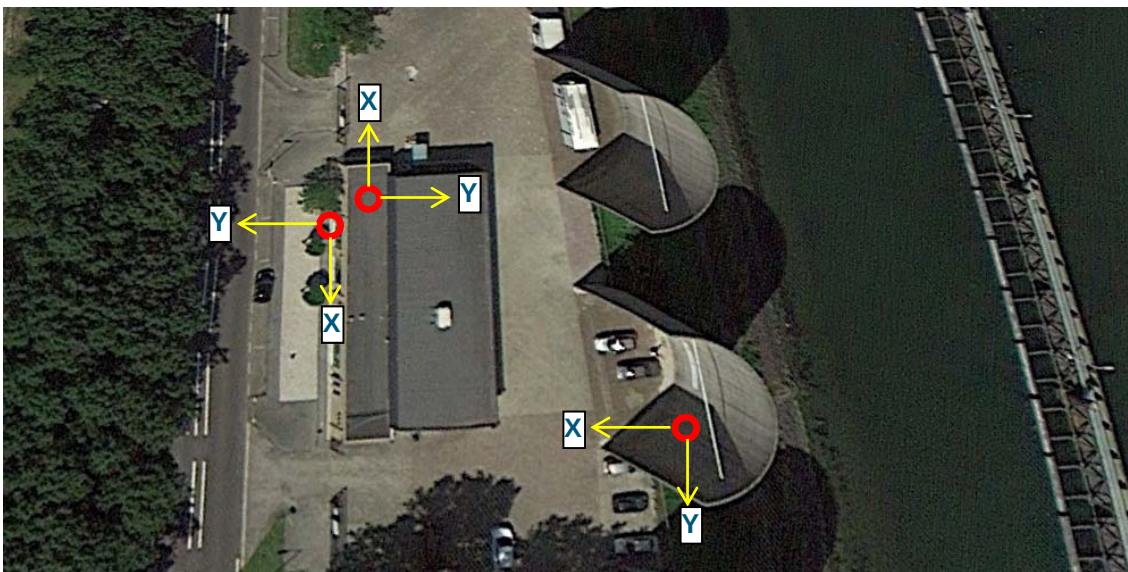


Figuur 5.5: situatie 5 oktober

In figuur 5.6 en 5.7 worden de meetposities weergegeven.



Figuur 5.6: overzicht meetpunten trillingen kantoor LYONDELL en stam spoorlijn



Figuur 5.7: overzicht meetpunten trillingen kantoor Chem

De zes trilling meetsets zijn na een week uitgelezen. De datum en tijd van alle meetsets is onderling gesynchroniseerd bij aanvang van de metingen. De maximale onderlinge afwijking per week bedroeg 6 seconden.

Meetresultaten

De snelheidsniveaus van de trillingen zijn voor X en Y in de horizontale richting gemeten en voor Z in de verticale richting. Uit de metingen kunnen de volgende gegevens worden afgeleid:

- De maximaal optredende effectieve snelheidsniveaus ($v_{\max}$);
- De gemiddelde waarden van de effectieve snelheidsniveaus (v_{per}), indien $v_{\max}$ groter is dan 0,1.

In figuur 5.8 en 5.9 worden de meetresultaten van de trilling metingen grafisch weergegeven. Van de vier maximale meetwaarden per uur zijn korte tijdsignalen met een FFT spectrum opgeslagen in de meetapparatuur. Van de beoordeelde $v_{\max}$ en v_{per} is nagegaan of er een storing in het signaal te zien is. Wanneer dit het geval is wordt de meetwaarde verwijderd uit de dataset als zijnde een storing.

Voor de vloer van het kantoor van Lyondell geldt dat de gemeten trillingen ten gevolge van passages van wegverkeer in verticale richting (loodrecht op het vloervlak (Z)) dominant zijn. De dominante frequentie voor dit meetpunt op de vloer bedraagt 7 Hz.

Uit de waarnemingen tijdens nulmetingen in het kantoor van Lyondell blijkt dat de trillingen ten gevolge van passages van het zwaar vrachtverkeer relevant zijn. Dit is met name gerelateerd aan de zeer slechte langsvlakheid van de weg in een kruising van de stamlijn met de Theemsweg ($V_{\text{eff},\max} < 0,3-0,5$). De trillingen ten gevolge van passages van een stapvoets rijdende trein op de stamlijn zijn niet relevant.

Voor de vloer van het kantoor van Chem geldt dat de gemeten trillingen ten gevolge van passages van wegverkeer in verticale richting (loodrecht op het vloervlak (Z)) dominant zijn. De dominante frequentie voor dit meetpunt op de vloer bedraagt 4-7 Hz.

Uit de nulmetingen in het kantoor van Chem blijkt dat de trillingen ten gevolge van passages van het zwaar vrachtverkeer over de Neckarweg beperkt waarneembaar zijn ($V_{\text{eff},\max} < 0,1-0,2$).

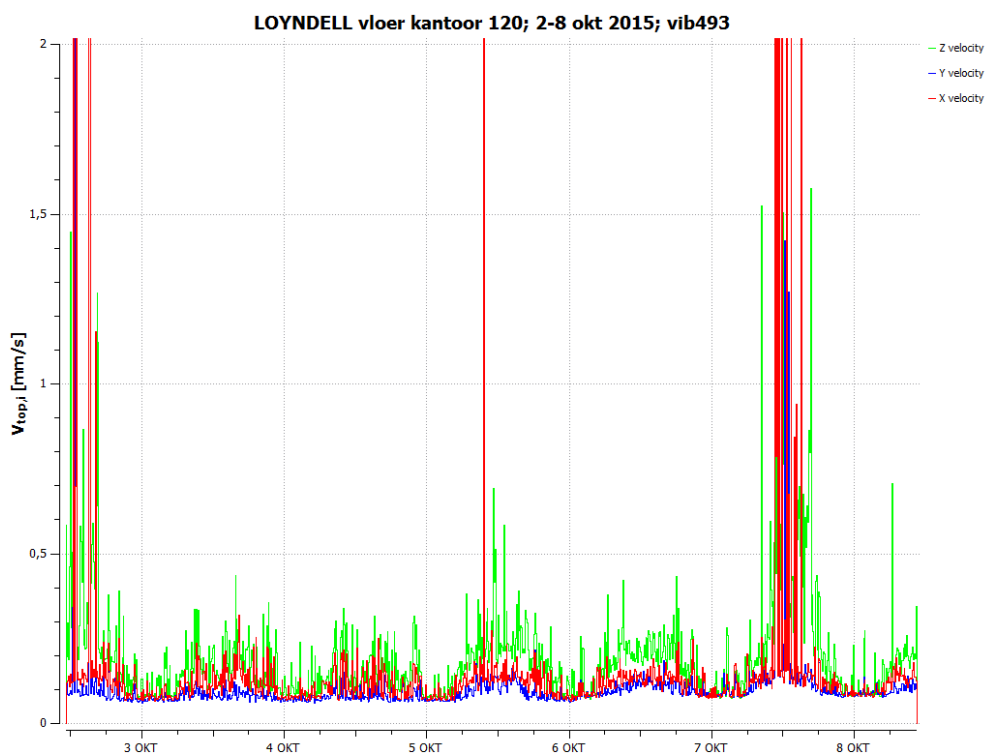
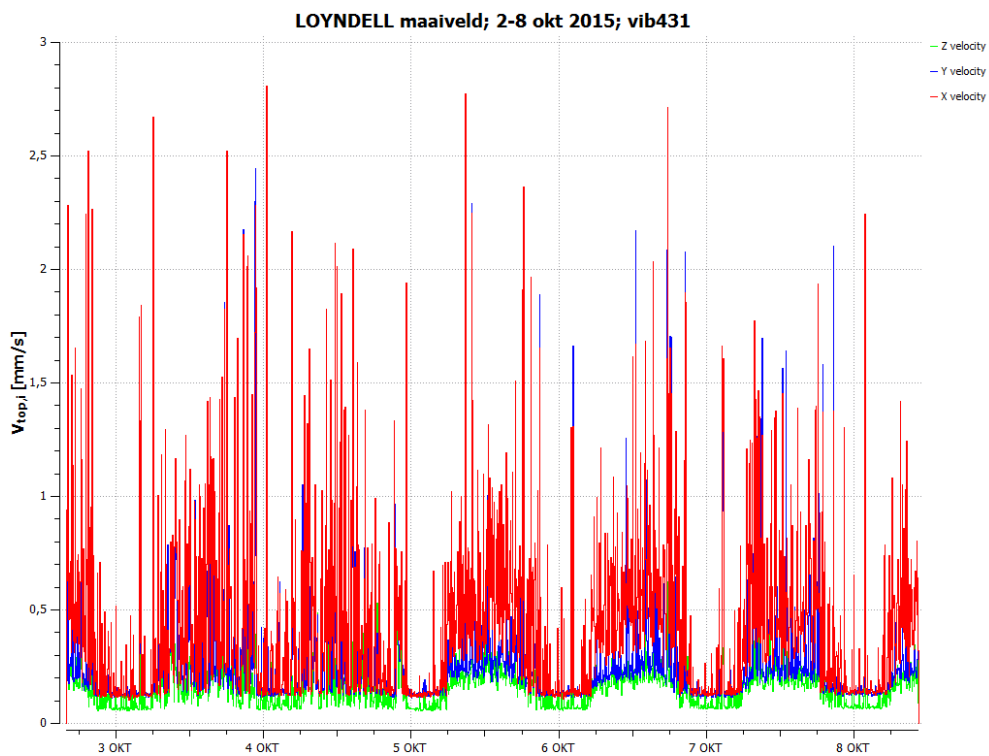
In tabel 5.2 worden de $v_{\max}$ en v_{per} per periode weergegeven voor kantoor Lyondell en kantoor Chem.

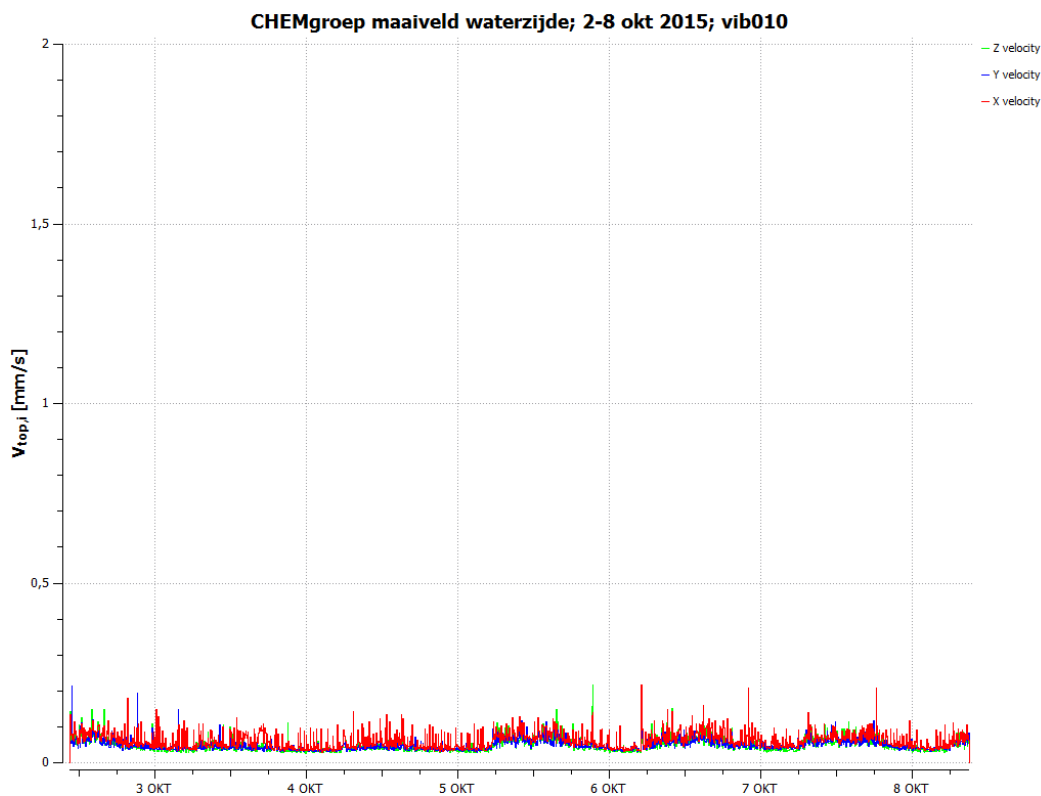
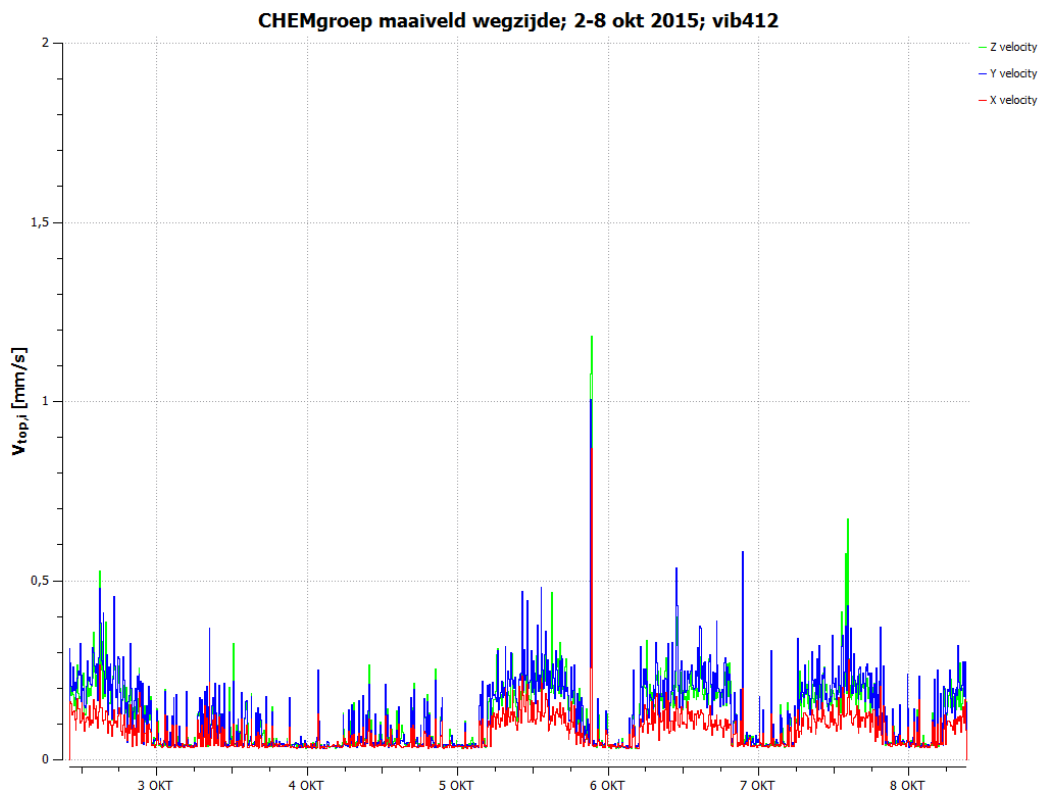
Tabel 5.2: Meetdata onbemande meting

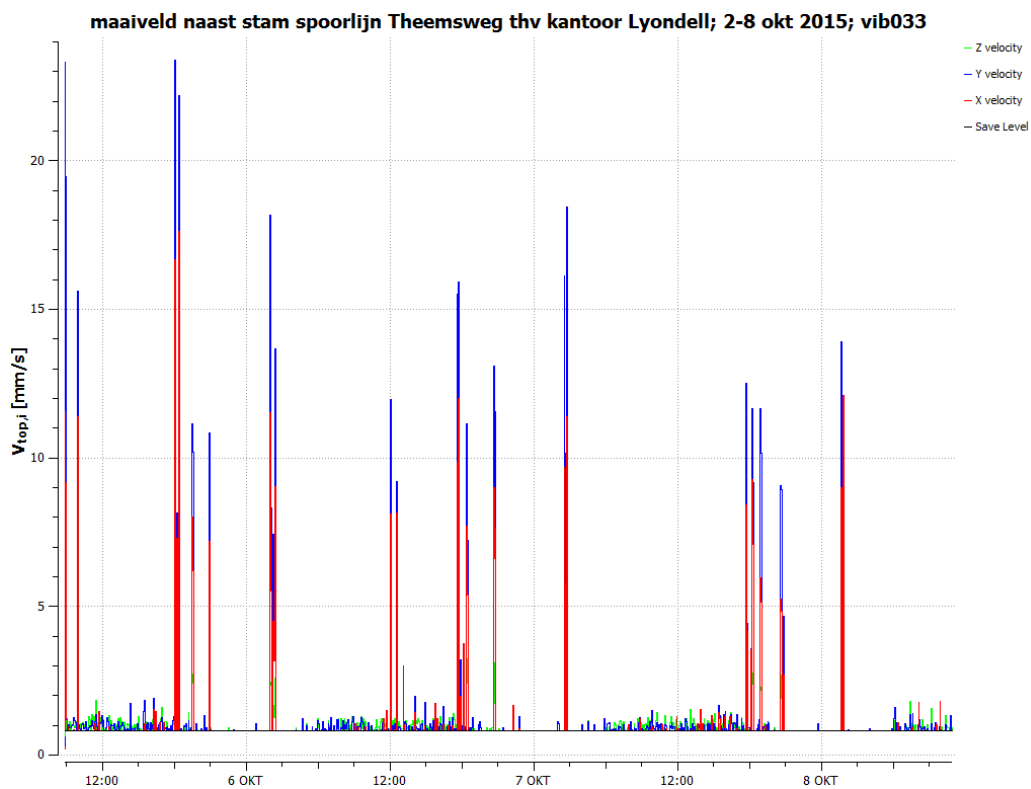
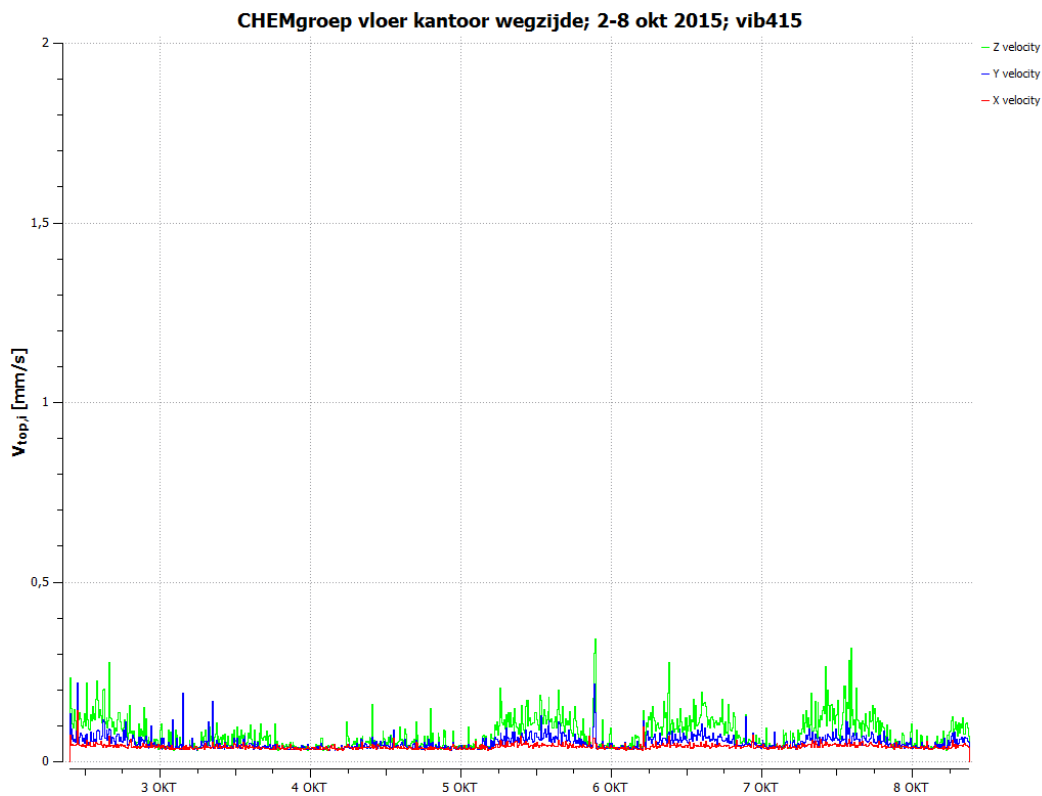
Grootheid		maximalen $v_{\max}$ [--]			gemiddelden v_{per} [--]		
Adres	Datum	dag	avond	nacht	dag	avond	nacht
Lyondell Theemsweg 14	2 oktober 2015*	0,53	0,14	0,10	0,06	0,05	0,01
	3 oktober 2015	0,17	0,19	0,11	0,02	0,02	0,01
	4 oktober 2015	0,14	0,14	0,17	0,02	0,03	0,01
	5 oktober 2015*	0,31	0,12	0,17	0,06	0,01	0,01
	6 oktober 2015	0,22	0,13	0,14	0,03	0,01	0,01
	7 oktober 2015*	0,57	0,11	0,26	0,07	0,01	0,01
	8 oktober 2015	0,13	--	--	0,02	--	--
	Hoogste waarde	0,57	0,19	0,26	0,07	0,05	0,01
Chem Neckarweg 32	2 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	3 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	4 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	5 oktober 2015	<0,1	0,13	<0,1	0,00	0,01	0,00
	6 oktober 2015	0,16	<0,1	<0,1	0,01	0,00	0,00
	7 oktober 2015	0,17	<0,1	<0,1	0,01	0,00	0,00
	8 oktober 2015	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	0,00	0,00
	Hoogste waarde	0,17	0,13	<0,1	0,01	0,01	<0,01

* op deze dagen is meerdere malen tegen de sensor gestoten (meetwaarde 100 mm/s bovengrens meetbereik), deze meetwaarde zijn niet opgenomen in tabel 5.2

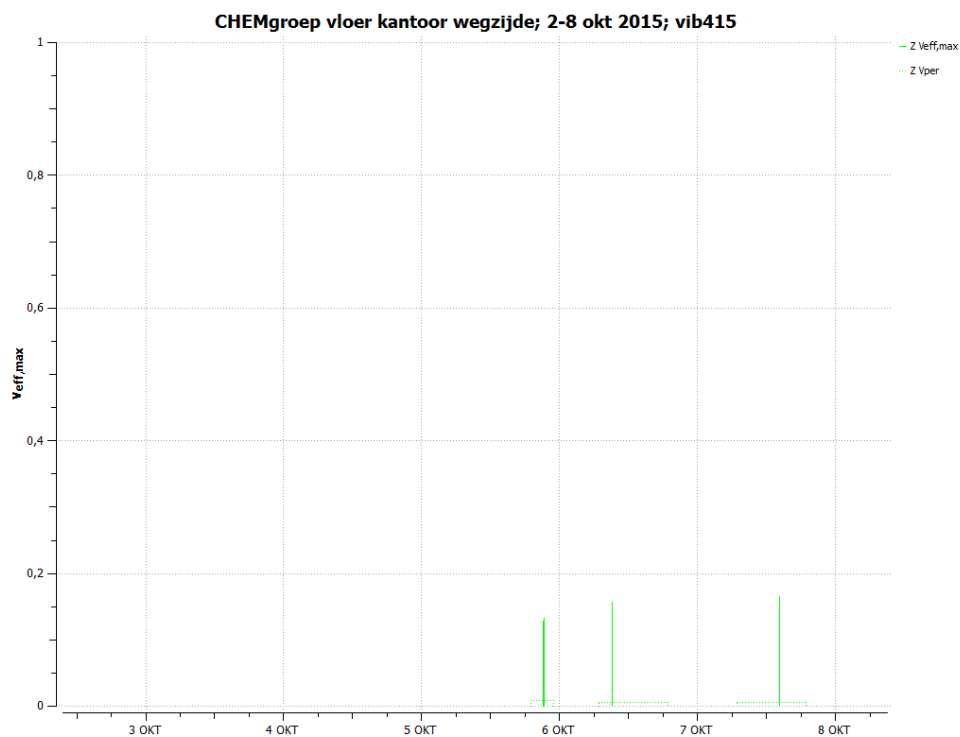
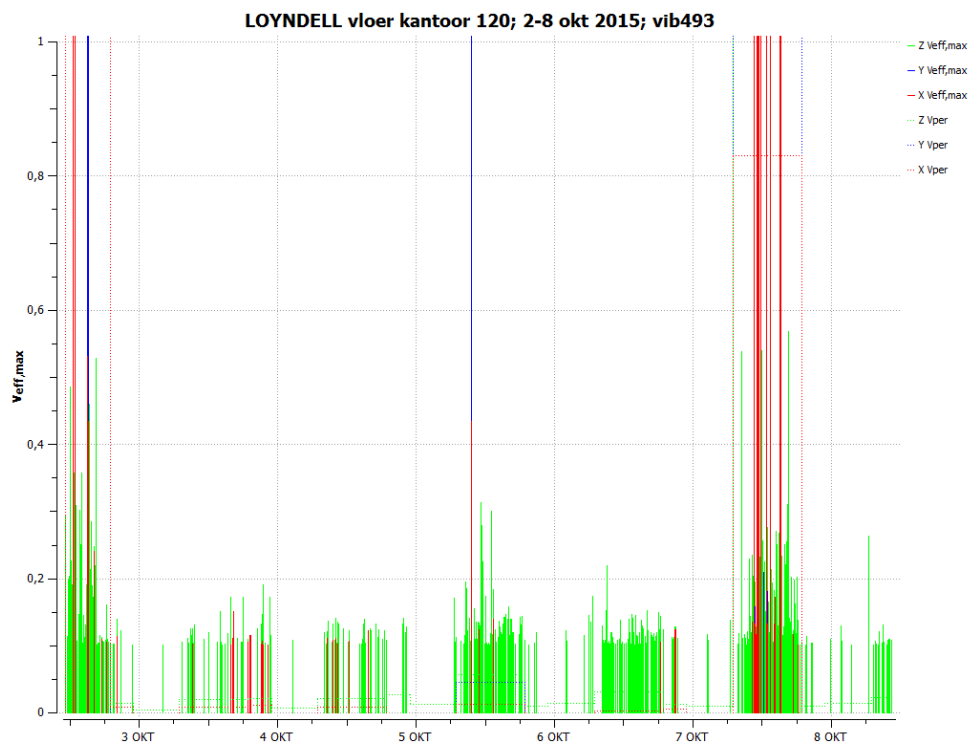
Figuur 5.8: Grafische presentatie trilling metingen v_{max}







Figuur 5.9: Grafische presentatie trilling metingen $v_{eff,max}$ en v_{per}



Bijlage 6 Pijlers Theemswegtracé

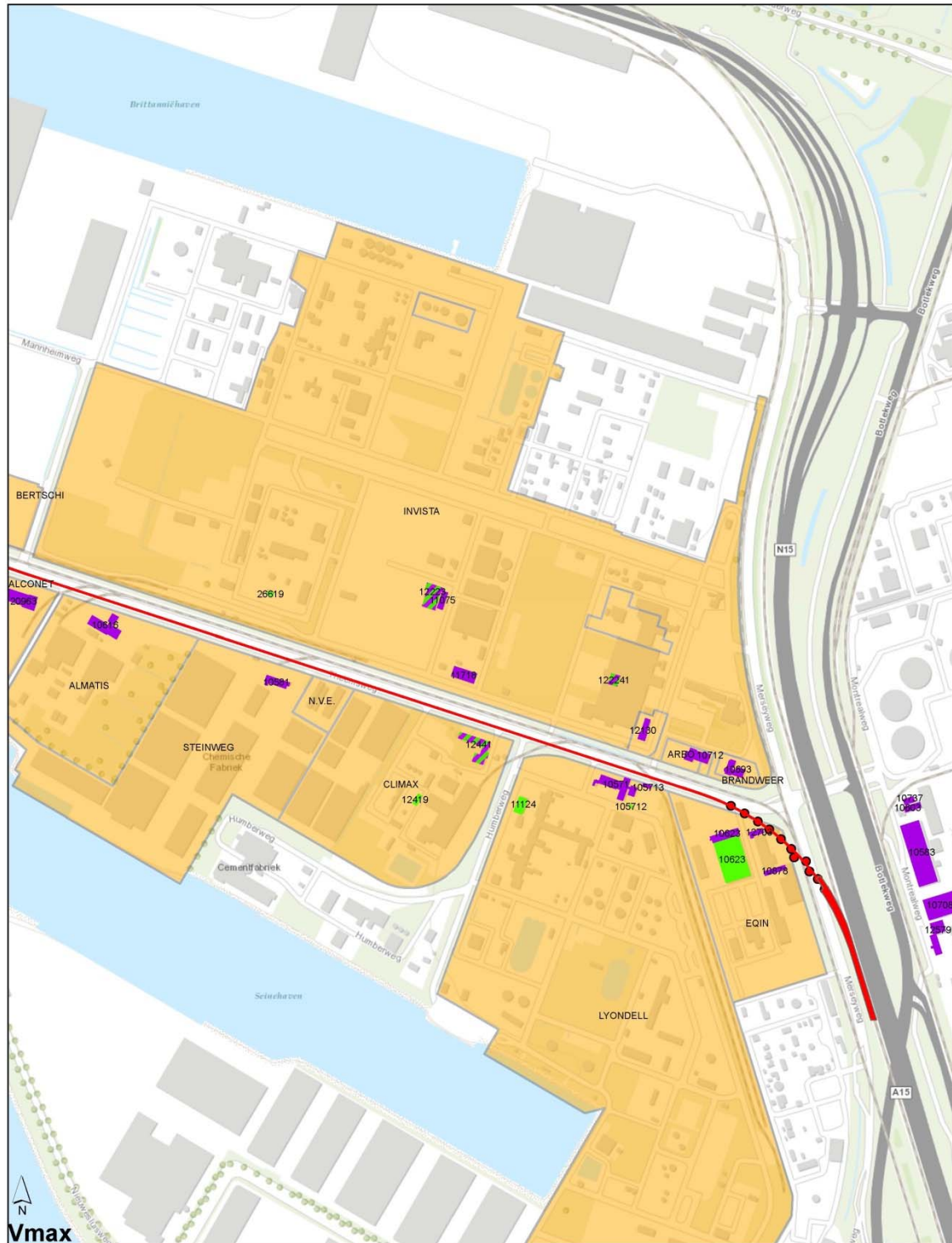
Legenda

-  Kantoren
-  Mogelijk trillingsgevoelige apparatuur
-  Kantoren/Kritische werkruimte



Project	Theemswegtrace	Auteur	Hans Heyl
Opdrachtgever	Havenbedrijf Rotterdam	Datum	31 mrt 2016
Dossier	BD8976-102-103	Versie	
Kaart			

Pijlers, hartlijn trace en aardenbaan Theemswegtracé



Legenda		Project	Theemswegtracé	Auteur	Hans Heyl
	Kantoren	Opdrachtgever	Havenbedrijf Rotterdam	Datum	31 mrt 2016
	Mogelijk trillingsgevoelige apparatuur	Dossier	BD8976-102-103	Versie	
	Kantoren/Kritische werkruimte	Kaart			
	aardenbaan				
	hartlijn trace				
	pijlers				

Bijlage 7 Maaiveldcontouren Vmax Theemswegtracé

Vmax, pijlers, hartlijn trace en aardenbaan Theemswegtracé



Vmax, pijlers, hartlijn trace en aardenbaan Theemswegtracé



Bijlage 8 Maaiveldcontouren Vtop Theemswegtracé

Vtop, pijlers, hartlijn trace en aardenbaan Theemswegtracé



Vtop



Legenda

- Kantoren
- Mogelijk trillingsgevoelige apparatuur
- Kantoren/Kritische werkruimte

Vtop, pijlers, hartlijn trace en aardenbaan Theemswegtracé
