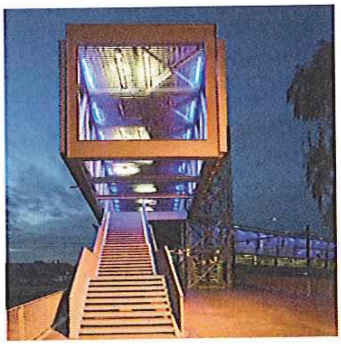
Railinfra Solutions

Benthem Crouwel

ProRail

Programma Hoogfrequent Spoorvervoer viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

deelonderzoek Trillingen en Laagfrequent geluid



Railinfra Solutions
Benthem Crouwel

ProRail

Programma Hoogfrequent Spoorvervoer viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

deelonderzoek Trillingen en Laagfrequent geluid

referentie	projectcode	status
RIS432-12/14-021.054	RIS432-12-102	definitief 6.0
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. S. Delfgaauw	ir. R.P.N. Pater	10 november 2014

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. S. Delfgaauw	

Witteveen+Bos
Hoogoorddreef 15
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
020 312 55 55
www.witteveenbos.nl

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm, hetzij elektronisch, mechanisch dan wel met digitale technieken door fotokopieën, opnamen, internet of op enige andere wijze zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE **blz.**

SAMENVATTING **1**

1. INLEIDING **9**
1.1. Aanleiding en doel 9
1.2. Plangebied 9
1.3. Studiegebied 10
1.4. Voorgenomen activiteit 13
1.5. Opdeling in tweetal separate trillingsonderzoeken 13
1.6. Leeswijzer 13

2. WETGEVING EN BELEID **15**
2.1. SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade 15
2.2. SBR-richtlijn trillingen deel B: Hinder 15
2.3. Beleidsregel Trillingshinder Spoor (Bts) 16
2.3.1. Definities Bts 16
2.3.2. Toetsing v_{max} Bts (artikel 5 en 6) 17
2.3.3. Toetsing v_{per} (artikel 7 Bts) 18
2.3.4. Gewijzigde Bts gepubliceerd op 26 maart 2014 18
Bepaling Vmax Bts 19
2.4. Grenswaarden laagfrequent geluid: Methodiek van de Ruiter 19

DEEL I: TRILLINGSONDERZOEK TRAJECT DEN HAAG CENTRAAL - DELFT NOORD EN DELFT ZUID- ROTTERDAM CENTRAAL **21**

3. BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE **23**
3.1. Beoordelingsaspecten 23
3.1.1. Schade als gevolg van trillingen 23
3.1.2. Hinder als gevolg van trillingen 23
3.2. Deelonderzoek trillingen 24
3.2.1. Trillingen tijdens aanlegfase 24
3.2.2. Trillingen tijdens gebruiksfase 24
3.3. Werkwijze 25
3.3.1. Prognose op basis van metingen 26
3.3.2. Bronbepaling 26
3.3.3. Bodemoverdracht en geologie 27
3.3.4. Stapsgewijze benadering gebouwoverdracht 27
3.3.5. Specifieke locaties 29
3.4. Relatie met andere deelrapporten 30

4. HUIDIGE SITUATIE, REFERENTIESITUATIE EN PLANSITUATIE **31**
4.1. Uitgangspunten 31
4.2. Huidige situatie 31
4.3. Referentiesituatie 31
4.4. Plansituatie 32
4.4.1. Nieuwbouw 36
4.4.2. Varianten 36

5. EFFECTBESCHRIJVING **39**
Stap 1: Globale trillingsprognose studiegebied 39
5.1. Beschrijving meetmethode 39
5.1.1. Gebruikte meetapparatuur 39

5.1.2. Trillingsmetingen ter bepaling van afstandsdemping 39
5.1.3. Trillingsmetingen ter bepaling van het referentieniveau 41
5.1.4. Trillingsmetingen ter bepaling van invloed wissel 42
5.2. Analyse meetresultaten 42
5.2.1. Bepaling afstandsdemping 42
5.2.2. Bepaling referentietrillingsniveaus 44
5.2.3. Bepaling invloed wissel 45
5.3. Globale prognose en toetsing gemiddelde trillingsniveaus (v_{per}) 46
5.3.1. Toename v_{per} plansituatie 46
5.4. Globale prognose en toetsing maximale trillingsniveaus (v_{max}) 51
5.4.1. Deelgebieden 1, 4 en 5 51
5.4.2. Deelgebieden 2 en 3 51
5.5. Variantenstudie 55
Stap 2: Verfijnde prognose woningen kritieke locaties 58
5.6. Trillingsmetingen gebouwoverdrachten 3 woningen 58
5.6.1. Uitvoering trillingsmetingen 58
5.6.2. Meetresultaten 60
5.7. Verfijnde prognose en toetsing v_{per} kritieke locaties 61

DEEL II: TRILLINGSONDERZOEK SPOORZONE DELFT 63

6. BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE 65
6.1. Beoordelingsaspecten 65
6.1.1. Schade als gevolg van trillingen 65
6.1.2. Hinder als gevolg van trillingen 65
6.1.3. Hinder als gevolg van laagfrequent geluid 66
6.2. Deelonderzoek trillingen spoortunnel 66
6.2.1. Trillingen tijdens aanlegfase 66
6.2.2. Trillingen tijdens gebruiksfase 67
6.3. Werkwijze 67
6.3.1. Prognose op basis van beschikbare rekenmodel 68
6.3.2. Rekenmodel spoortunnel 68
6.3.3. Validatie rekenmodel middels metingen 71
6.4. Werkwijze laagfrequent geluid spoortunnel 72
6.5. Relatie met andere deelrapporten 72

7. HUIDIGE SITUATIE, REFERENTIESITUATIE EN PLANSITUATIE 73
7.1. Uitgangspunten 73
7.2. Huidige situatie 73
7.3. Plansituatie 74
7.3.1. Nieuwbouw 76

8. EFFECTBESCHRIJVING 79
8.1. Metingen ter onderbouwing schakels rekenmodel spoortunnel 79
8.2. Bronkracht rekenmodel 79
8.2.1. Trillingsmetingen station Rijswijk 2008 79
8.2.2. Aanvullende trillingsmetingen station Rijswijk juli 2014 80
8.2.3. Vertaling naar bronkrachten Delft 81
8.3. Overdrachten rekenmodel 82
8.3.1. Resultaten trillingsproef 2012: Validatie bodemoverdracht 82
8.3.2. Resultaten trillingsproef 2012: validatie gebouwoverdracht 82
8.4. Prognose en toetsing maximale trillingsniveaus (v_{max}) 84
8.4.1. Statistische uitwerking 84

8.4.2. Verdeling trillingsniveaus Delft 85
8.5. Prognose en toetsing gemiddelde trillingsniveaus (v_{per}) 88
8.6. Laagfrequente geluidsniveaus spoortunnel 89
8.6.1. Prognose en toetsing laagfrequente geluidsniveaus op basis van trillingsniveaus 90
8.6.2. Toetsing per octaafband 90

DEEL III: OVERALL RESULTATENBEOORDELING 93

9. EFFECTBESCHRIJVING EN -BEOORDELING 95
9.1. Beoordeling traject Den Haag Centraal - Delft plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal 95
9.2. Beoordeling spoortunnel 96
9.3. Samenvatting effectbeoordeling 98

10. OPLOSSINGSRICHTINGEN 't HAANTJE EN ONTSLUITING STATION DELFT ZUID 99
10.1. Inleiding 99
10.2. Overweg 't Haantje 99
10.2.1. Effectbeschrijving en -beoordeling 99
10.3. Station Delft Zuid 100
10.3.1. Effectbeschrijving en -beoordeling 100
10.3.2. Conclusie en samenvatting effectbeoordeling 101

11. MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN 103
11.1. Maatregelen studiegebied 103
11.2. Maatregelen spoortunnel 105

12. LEEMTEN IN KENNIS 107
12.1. Betrouwbaarheid prognose studiegebied 107
12.2. Betrouwbaarheid prognose spoortunnel 108
12.3. Oplevertoets conform Bts 110

13. LITERATUURLIJST 111

BIJLAGEN aantal blz.
I Schetsmatige bodemprofielen 10
II Dwarsraaimetingen 5
III Overzicht treintypes metingen studiegebied 2
IV Uitwerking v_{per} referentiemetingen 1
V Uitwerking Vmax Bts referentiemetingen 3
VI Kaarten v_{per} toetsing studiegebied 10
VII Afleiding snelheidsrelatie Vulcanusweg 1
VIII Prognose v_{max} deelgebieden 2 en 3 1
IX Bovengrensbepaling gemiddelde gebouwoverdracht studiegebied 2
X Kaart originele prognose v_{max} spoortunnel 1
XI Resultaten trillingsproef spoortunnel: bodemoverdrachten 4
XII Resultaten trillingsproef spoortunnel: gebouwoverdrachten 3
XIII Resultaten trillingsmetingen gebouwoverdrachten studiegebied 3
XIV Verwacht invoegverlies ballastmat Spoortunnel Delft 1
XV Laagfrequente geluidsniveaus Spoorzone 3
XVI Nummering bebouwing deelgebied 3 2
XVII Aanvullende trillingsmetingen tunnel Rijswijk 2014 6

SAMENVATTING

Binnen het project Programma Hoogfrequent Spoor viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid zijn de milieueffecten onderzocht als gevolg van het in gebruik hebben van vier sporen tussen Rijswijk en Delft Zuid ten behoeve van de beoogde treindienst. Het optreden van trillingen als gevolg van passerende treinen is één van de te onderzoeken effecten. Trillingen kunnen leiden tot hinder voor personen in gebouwen en in sommige gevallen tot schade aan gebouwen. Voor de spoortunnel in Delft kan er mogelijk ook sprake zijn van hinder door laagfrequent geluid wat een gevolg is van het trillen van wanden of vloeren in een gebouw. In dit rapport wordt ingegaan op het uitgevoerde trillings- en laagfrequent geluidonderzoek.

Doel van het onderzoek is het in kaart brengen van verwachte trillingsniveaus in bebouwing in het studiegebied in zowel de plansituatie met gewijzigde treindienst als de referentiesituatie. Voor bebouwing nabij de spoortunnel is daarnaast een schatting van optredende laagfrequente geluidsniveaus gemaakt. De plansituatie bestaat uit het in gebruik hebben van 4 sporen tussen Rijswijk en Delft Zuid ten behoeve van de beoogde treindienst. Deze treindienst wijkt af van de treindienst in de referentiesituatie door een toenemend aantal sprinters en een toenemend aantal intercity's per uur. Het aantal goederentreinen neemt in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie niet toe. De referentiesituatie betreft de situatie met alleen autonome groei van het treinverkeer (reizigers- en goederenvervoer) en de ingebruikname van de oostelijke tunnelbuis van de spoortunnel in Delft.

Het studiegebied omvat het traject van Rotterdam Centraal tot Den Haag Centraal. Het plangebied waarin daadwerkelijk wijzigingen aan het spoor plaatsvinden, is onderdeel van het studiegebied. Ook al vinden er geen wijzigingen aan het spoor plaats buiten het plangebied, er vindt wel een wijziging in treinaantallen plaats, waardoor er een wijziging in trillingsbelasting te verwachten is.

Om tot een prognose van trillingsniveaus te komen is het plangebied opgedeeld in twee onderzoeksgebieden. Apart van elkaar zijn een trillingsonderzoek uitgevoerd voor het traject Den Haag Centraal - Delft en Delft Zuid - Rotterdam Centraal en een trillingsonderzoek voor de spoortunnel (zie figuur 1.2).

Het traject Den Haag Centraal - Delft plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal is onderverdeeld in vijf deelgebieden:
- 3 deelgebieden waar geen wijziging aan het spoor plaatsvindt;
- 2 deelgebieden waar wijziging aan het spoor plaatsvindt.

De twee deelgebieden waar spoorwijziging plaatsvindt bevinden zich ten noorden en ten zuiden van de spoortunnel in Delft.

Voor de toetsing van de trillingsniveaus is de Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts) gehanteerd [lit. 3.]. De Bts is specifiek opgesteld ten behoeve van de vaststelling van Tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg. De Bts is daarom voor het huidige onderzoek van toepassing.

Trillingsonderzoek traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal
Om tot een uitspraak over verwachte trillingsniveaus in woningen nabij het spoor te komen is een prognose van trillingsniveaus gemaakt op basis van uitgevoerde trillingsmetingen. De trillingsmetingen kunnen worden opgedeeld in:
- metingen voor de bepaling van de afstandsdemping (in welke mate neemt het trillingsniveau af met afstand tot aan het spoor?);

- metingen ten behoeve van het 10-meter niveau[1] (wat is het maatgevende trillingsniveau vlak naast het spoor op 10 meter afstand op basis van de bepaling volgens de Bts?);
- meting ter bepaling van de invloed van een wissel (wat is de invloed van een wissel op de toename in trillingsniveau in de nabije omgeving?).

Voor de verschillende deelgebieden is op basis van de meetresultaten een prognose van trillingsniveaus gemaakt. Hiertoe is het verwachte trillingsniveau in een gebouw bepaald aan de hand van het referentieniveau, de verwachte afname van het trillingsniveau over de afstand van het gebouw tot aan het spoor en de overdrachtsfactor van het gebouw zelf. De gebouwoverdracht brengt in rekening hoe het trillingniveau zich in het gebouw verhoudt met het trillingsniveau op maaiveld buiten het gebouw. In de prognose van trillingsniveaus is van grof naar fijn gewerkt door 2 stappen te nemen:
- stap 1: globale trillingsprognose;
- stap 2: verfijnde trillingsprognose specifieke woningen kritieke locaties.

In de eerste stap van de prognose is een bovengrensbenadering gehanteerd door een gebouwfactor van 3,0 voor alle woningen te hanteren. In de tweede stap zijn voor een drietal locaties de woningoverdrachten middels trillingsmetingen bepaald, waar volgens de globale prognose conform stap 1 mogelijk een overschrijding te verwachten is. De drie adressen betreffen een woning aan de Groeneweg 2 en 4 in Kethel en een woning aan de Vredenburchweg 158 in Rijswijk. Zodoende is een verfijnde prognose voor deze locaties gemaakt.

Bij toetsing van trillingsniveaus worden 2 grootheden gehanteerd, namelijk een maximum gewogen effectieve waarde (v_{max}) en een gemiddeld trillingsniveau over een bepaalde periode (v_{per}). Een prognose van het gemiddelde trillingsniveau (v_{per}) is voor het hele studiegebied gemaakt, omdat het gemiddelde trillingsniveau afhangt van hoeveel treinen er passeren en de treinaantallen in de plansituatie is gewijzigd ten op zichte van de referentiesituatie. Een prognose van het maximale trillingsniveau is ook voor het hele studiegebied gemaakt waarbij de nadruk ligt op het plangebied, omdat alleen in het plangebied wijzigingen aan het spoor plaatsvinden en daarmee het maximale trillingsniveau wijzigt. Voor de overige deelgebieden wijzigt v_{max} niet waardoor enkel getoetst moet worden of aan de uiterste grenswaarde wordt voldaan.

Stap 1: Globale prognose
Uit de globale trillingsprognose volgt dat voor 2 locaties in het studiegebied voor 1 of meerdere woningen een overschrijding van de te hanteren grenswaarde van v_{per} te verwachten is in de plan- maar ook in de referentiesituatie. De eerste locatie betreft een woning in Rijswijk, aan de Vredenburchweg. De tweede locatie betreft een tiental[2] adressen nabij Schiedam (in de voormalige gemeente Kethel).

Uit de toetsing van de maximale trillingsniveaus (v_{max}) in het plangebied volgt dat voor de aanwezige kantoorgebouwen ten zuiden van de spoortunnel in Delft geen toename van v_{max} van meer dan 30 % te verwachten is, waardoor volgens de Bts geen maatregelen hoeven te worden afgewogen. Voor gebouwen ten noorden van de spoortunnel in Delft geldt eveneens dat er geen toename van meer dan 30 % wordt verwacht. Ook deze gebouwen voldoen dus aan de Bts. Uit de toetsing van v_{max} voor de overige deelgebieden (waar geen wijziging in v_{max} te verwachten is) volgt dat geen overschrijding van de boven-

---

[1] Het 10-meter niveau betreft het trillingsniveau in de huidige situatie dat volgt uit trillingsmetingen die zijn uitgevoerd op een afstand van 10 m van het spoor.

[2] 2 van deze adressen betreffen een voormalig spoorwachtershuisje dat op enkele meters van het spoor staat.

ste grenswaarde te verwachten is. Dit geldt ook voor een woonhuis (voormalig spoorwachtershuisje) in Kethel wat zeer dicht op het spoor staat en waar apart trillingsmetingen zijn uitgevoerd.

Stap 2. Verfijnde prognose
Op basis van de resultaten uit stap 1 zijn bij 3 woningen trillingsmetingen uitgevoerd ter bepaling van de in werkelijkheid optredende gebouwoverdrachtsfactor. De 3 woningen betreffen de 2 meest maatgevende woningen in Kethel[1] en de woning in Rijswijk.

Uit de metingen volgt dat de gemiddelde overdrachtsfactoren lager zijn dan waar in stap 1 mee is gerekend. Voor de woning aan de Vredenburchweg 158 in Rijswijk volgt op basis van een verfijnde prognose dat alsnog een overschrijding van de grenswaarde voor v_{per} wordt verwacht. Voor de woningen in Kethel geldt dat ingeval wordt gerekend met de gemeten overdrachtsfactor (verfijnde prognose) ook overschrijdingen van de grenswaarde van v_{per} voor acht woningen mogelijk te verwachten zijn. Dit geldt voor zowel de referentie- als de plansituatie. De toename in v_{per} tussen referentie- en plansituatie is wel beperkt, namelijk 10 %. Een toename in v_{per} van 10 % wordt als beperkte toename aangeduid omdat uit verschillende internationale onderzoeken blijkt dat een kleine toename van 10-20 % van trillingsniveaus niet of nauwelijks in een merkbaar verschil resulteert. In onderstaande tabel worden resultaten weergegeven.

Tabel 1. Resultaten verfijnde prognose woningen Kethel

	afstand tot buitenkant spoor (m)	gebouwfactor 1,0		gebouwfactor 1,4		gebouwfactor 2,0	
		$V_{per\ ref}$	$V_{per\ plan}$	$V_{per\ ref}$	$V_{per\ plan}$	$V_{per\ ref}$	$V_{per\ plan}$
Buitenkerklaan 32	29	0,06	0,07	0,09	0,10	0,13	0,14
Buitenkerklaan 34	25	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18
Buitenkerklaan 38	3	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Buitenkerklaan 40	3	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Kerkweg 100	17	**0,13**	**0,15**	**0,18**	**0,21**	0,26	0,29
Groeneweg 2	12	**0,18**	**0,20**				
Groeneweg 4	13			**0,23**	**0,26**		
Groeneweg 6	22	**0,10**	**0,11**	**0,14**	**0,15**	0,19	0,22

Voor de woningen met een overschrijding is een afweging gemaakt betreffende de toepassing van mitigerende maatregelen. Het beperkte aantal woningen waar een overschrijding plaatsvindt waardoor een beperkt budget beschikbaar[2] is en het feit dat mogelijk effectieve maatregelen zeer kostbaar zijn leidt tot de conclusie dat het toepassen van maatregelen niet doelmatig wordt geacht. De oorzaak van de hoge trillingsniveaus in Kethel (en daarmee de overschrijdingen) is de kleine afstand van de woningen tot aan het spoor en de zeer slappe kleiige ondergrond (polder).

Trillingsonderzoek spoortunnel Delft
Onderdeel van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid is het in kaart brengen van de milieueffecten van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis van de spoortunnel in Delft. Voor de bouw en ingebruikname van de oostelijke tweesporige tunnel is reeds in opdracht van de gemeente Delft een trillingsonderzoek uitgevoerd in het kader van een milieueffectenstudie uit 2003, zie [lit. 4.]. De ingebruikname van de oostelijke tunnelbuis be-

[1] uitgezonderd het voormalig spoorwachtershuisje waar apart metingen zijn uitgevoerd.

[2] om tot een afweging te komen of één van de bovengenoemde maatregelen doelmatig is wordt een richtbedrag per woning gehanteerd van EUR 47.000,00. Dit bedrag per woning wordt door Prorail als richtbedrag in heel Nederland gehanteerd.

treft in het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid de referentiesituatie. De ingebruikname van de westelijke tunnelbuis (en daarmee alle vier de sporen) en een gewijzigd aantal treinpassages betreft de plansituatie.

Het trillingsonderzoek voor de spoortunnel wijkt af van het trillingsonderzoek traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal omdat de referentiesituatie niet in kaart kan worden gebracht met trillingsmetingen. Er rijden immers nog geen treinen door de oostelijke tunnelbuis. De referentiesituatie is daarom in kaart gebracht met een reeds beschikbare rekenmodel welke is opgesteld volgend op het trillingsonderzoek van het MER uit 2003. Op basis van de resultaten van het rekenmodel is in 2009 besloten een mitigerende maatregel toe te passen. Na afweging van mogelijk toe te passen maatregelen is gekozen voor een trillingsreducerende ballastmat [lit. 9.]. Vanwege (onder andere) een gewijzigd toetsingskader (namelijk de Bts) heeft aanvullend onderzoek plaatsgevonden naar verschillende schakels van het rekenmodel. De bronkrachten zijn middels aanvullende metingen onderzocht en de overdrachten zijn middels een trillingsproef nader onderzocht. De trillingsproef heeft in september 2012 plaatsgevonden. Uit de resultaten van de trillingsproef blijkt het volgende:

- de berekende en gemeten overdrachten laten behoorlijke verschillen zien. Voor de ene locatie zou de berekende overdracht een te ongunstige benadering opleveren, voor de andere locatie juist een te gunstige;
- per frequentieband is het verschil tussen berekening en meting anders;
- er is een gemiddeld verschil tussen berekende en gemeten overdracht bepaald en deze bedraagt circa 5 dB. Dit resulteert in een onzekerheid in berekende bodemoverdrachten van een factor 1,8;
- gebouwoverdrachten verschillen ook met de berekende overdrachten. Hierbij blijkt dat de overdrachten gemiddeld wel eenzelfde beeld laten zien, maar dat daar waar volgens de berekening hoge overdrachtsfactoren werden gevonden bij de meting juist lage overdrachtsfactoren werden gevonden en omgekeerd.

Uit de aanvullende metingen bij station Rijswijk uit 2014 ten behoeve van nader onderzoek naar de bronkracht van het rekenmodel blijkt:

- de bronkrachten die door Deltares zijn bepaald uit metingen uit 2008 leiden niet tot eenzelfde maatgevende trillingsniveaus (v_{max}) als de Vmax Bts die volgt uit de aanvullende metingen uit 2014[1];
- uit de aanvullende metingen volgt een maximaal 1,55 maal hoger trillingsniveau dan bepaald op basis van de bronkrachten;
- in de prognose op basis van het rekenmodel is rekening gehouden met een maatgevende treinpassage die 1,55 maal hogere trillingsniveaus veroorzaakt dan de beschikbare bronkrachten afgeleid door Deltares.

Om de effecten van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid te bepalen is middels het rekenmodel voor een honderdtal panden grenzend aan de spoortunnel een maatgevend trillingsniveau berekend, waarbij onderscheid is gemaakt in een viertal type treinen. Namelijk de goederentrein, de intercity, de Thalys en de dubbeldekker. Zodoende is per pand een maximaal optredend trillingsniveau berekend waarbij per pand de gebouweigenschappen zijn meegenomen (fundering, type constructiemateriaal, geometrische eigenschappen etc.). Omdat dit maximale trillingsniveau sterk afhangt van type pand, de geometrie maar ook van de lokale bodemopbouw wordt in de spoorzone een grote variatie in berekend trillingsniveau gevonden.

---

[1] Er is in 2008 vier dagen gemeten. Uit onderzoek van Deltares bleek dat de dataset uit 2008 onvoldoende reproduceerbaarheid vertoonde. Er is daarom besloten aanvullende metingen uit te voeren.

De resultaten van de trillingsproef bevestigen de variatie in bodem- en gebouwoverdrachten. Echter, uit de proef blijkt dat daar waar gunstige overdrachten waren berekend met het rekenmodel uit de meting ongunstigere overdrachten zijn gevonden en daar waar ongunstigere overdrachten waren berekend er juist gunstigere overdrachten zijn gevonden. Dit heeft tot de conclusie geleid dat bij de beoordeling van de resultaten van het rekenmodel, rekening moet worden gehouden met een mate van onzekerheid. Om tot een beoordeling te komen is gekozen om de prognoseresultaten te interpreteren middels een statistische benadering. In de benadering zijn de middels de trillingsproef gevonden onzekerheden verwerkt en zijn de resultaten van aanvullende trillingsmetingen in en naast station Rijswijk verdisconteerd. Zodoende is tot een bepaling van het effect van treinpassages door zowel de oostelijke als de westelijke buis gekomen waarin de gevonden onzekerheden zijn verdisconteerd.

Woningen aan de oostzijde (Phoenixstraat)
In de beoordeling is een onderscheid te maken tussen woningen aan de oostelijke zijde van de tunnel (zijde Phoenixstraat) en woningen aan de westelijke zijde (zijde Spoorsingel). Voor woningen aan de oostzijde geldt dat het effect van treinen door de westelijke tunnelbuis minder maatgevend is dan het effect van treinen door de oostelijke tunnelbuis. Er is voor de woningen aan de oostzijde daarom geen toename in trillingsniveau te verwachten als gevolg van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid. Hierbij geldt dat niet wordt verwacht dat treinen door de westelijke tunnelbuis een versterkend effect hebben op trillingen in panden aan de oostelijke zijde als gevolg van treinen door de oostelijke tunnelbuis. Uit de prognose volgt dat de verwachte optredende maximale trillingsniveaus (v_{max}) in alle panden in de spoorzone ver onder de bovenste grenswaarde van 3,2 liggen. Voor het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid geldt daarom dat de panden aan de oostzijde voldoen aan de Bts toets voor v_{max}. Uit een berekening voor v_{per} voor de plansituatie (met gewijzigde treinaantallen) waarin een worstcase situatie is beschouwd, volgt de verwachting dat ook v_{per} in geen van de panden in de spoorzone (dus ook niet aan de oostzijde) de grenswaarde overschrijdt.

Woningen aan de westzijde (Spoorsingel)
Voor panden aan de westzijde geldt dat er een toename van trillingsniveaus te verwachten is omdat treinen door de westelijke tunnelbuis op een kleinere afstand tot het pand passeren dan treinen door de oostelijke tunnelbuis. Omdat er sprake is van een gewijzigde situatie dient volgens de Bts te worden getoetst of het maximale trillingsniveau v_{max} aan de onderste streefwaarde A1 wordt voldaan. Indien dit het geval is wordt voldaan aan de Bts. Indien niet wordt voldaan en er een toename van meer dan 30 % wordt gevonden dienen er maatregelen te worden afgewogen. In geval van overschrijding van de grenswaarde A2 dienen sowieso maatregelen te worden afgewogen. Op basis van een schatting waarbij de afstandsdemping van deelgebied 2 en 3 van het studiegebied wordt gehanteerd volgt dat de toename in trillingsniveau door de afname in afstand van bebouwing tot aan tunnel meer dan 30 % kan bedragen. Voor de panden aan de westzijde is daarom getoetst of aan de streefwaarde A1 wordt voldaan.

Uit de statistische benadering van de prognoseresultaten van trillingsniveaus voor de panden aan de westelijke zijde volgt:
- voor de woningen aan de westzijde (Spoorsingel) bestaat de verwachting dat op basis van de resultaten van het rekenmodel in 4 % van deze woningen een overschrijding van de streefwaarde A1 van 0,2 optreedt bij de maatgevende treinpassage.
- voor de streefwaarde van kantoorgebouwen bedraagt dit percentage minder dan 1 %, de streefwaarde voor kantoren bedraagt 0,3.
- de verwachte v_{per} niveaus voor de plansituatie liggen onder de te hanteren grenswaarde van 0,1.

Voor de panden met woonfunctie aan de westzijde (Spoorsingel) volgt de verwachting dat voor 4 % van deze woningen een overschrijding van de streefwaarde te verwachten is en dat een toename van meer dan 30 % op basis van de resultaten niet uit te sluiten is. De resultaten van de trillingsproef hebben tot er toe geleid om deze statische benadering te hanteren waardoor op voorhand niet kan worden aangegeven in welke pand een overschrijding te verwachten is. Er is ook geen sprake zijn van zeer verschillende pandcategorieën waarvoor een verschillend trillingsgedrag wordt verwacht zodat een specifiekere uitspraak gedaan kan worden over waar de overschrijdingen te verwachten zijn. Uit bouwkundige inspecties van de panden (waarvan de resultaten zijn meegenomen in de berekeningsmodule voor de gebouwoverdrachten) blijkt dat de panden vrijwel allen oude metselwerken op staal gefundeerde panden betreffen met houten vloeren.

Omdat in totaal een circa honderdtal panden aan de Spoorsingel is gesitueerd, volgt dat voor een beperkt aantal panden een overschrijding van de streefwaarde wordt verwacht. Voor dit beperkte aantal panden geeft toetsing van de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie volgens de Bts aanleiding maatregelen af te wegen.

Om pandspecifieke maatregelen af te kunnen wegen is het nodig te weten om welke panden het gaat. Dit is enkel mogelijk door voor alle panden de woningoverdrachten meettechnisch te bepalen. Het meettechnisch bepalen van de gebouwoverdrachten zou een buiten proportionele inspanning vergen omdat er dan nog steeds rekening gehouden moet worden met onzekerheid in de bodemoverdrachten, wat uit de resultaten van de trillingsproef blijkt.

In de beoordeling van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid geldt dat enkel wordt beoordeeld of er een effect te verwachten is van de ingebruikname van de westelijke en oostelijke tunnelbuis ten opzichte van enkel de oostelijke tunnelbuis. Voor de panden aan de westzijde is hierdoor een toename in trillingsniveaus te verwachten. In de beoordeling wordt echter niet meegenomen dat in de huidige situatie een spoorviaduct aanwezig is waarvoor geldt dat uit metingen blijkt dat treinen over het spoorviaduct maatgevendere trillingsniveaus tot gevolg hebben dan trillingsniveaus als gevolg van treinen door zowel de oostelijke als de westelijke tunnelbuis (waarvoor enkele overschrijdingen van de *streef*waarde wordt verwacht). Voor een drietal woningen aan de Spoorsingel (westelijke zijde) zijn voor de huidige situatie waarin het viaduct in gebruik is, de optredende trillingsniveaus in 2011 met trillingsmetingen bepaald [lit. 5.] waarbij waarden rond de *grens*waarde zijn gemeten. Voor de bewoners aan de westzijde geldt daarom dat het trillingsniveau als gevolg van de ingebruikname van de westelijk tunnelbuis wel toeneemt ten opzichte van enkel de oostelijke tunnelbuis, maar dat het trillingsniveau nog steeds is afgenomen ten opzichte van de huidige situatie waarin treinen over het viaduct rijden. De verwachting is dus dat het in gebruik hebben van de viersporige tunnel in Delft een trillingsreducerend effect heeft ten opzichte van het gebruik van het spoorviaduct voor de woningen aan de westelijke zijde van de spoortunnel (Spoorsingel).

Laagfrequent geluid
Bij ondergrondse ligging van sporen waar trillingen vanuit spoortunnels in woningen in de directe omgeving optreden kan ook sprake zijn van laagfrequent geluid. Het trillen van de vloeren en wanden van het gebouw veroorzaakt dan een zacht dreunend geluid. Er is daarom op basis van de trillingsprognose een prognose van laagfrequente geluidsniveaus in de bebouwing gemaakt. Hiervoor zijn de trillingsniveaus omgerekend naar laagfrequente geluidsniveaus. De geluidsniveaus zijn vervolgens per octaafband getoetst aan de grenswaarde volgens methode de Ruiter [lit. 14]. Voor de woningen aan de oostzijde van de spoortunnel volgt, gelijk als voor de trillingsniveaus, dat de maatgevende treinen door de

oostelijke tunnelbuis rijden, waardoor niet wordt verwacht dat treinen door de westelijke buis tot maatgevendere laagfrequente geluidsniveaus leiden.

Voor de woningen aan de westzijde van de spoortunnel volgt een vergelijkbaar beeld als bij de toetsing van trillingsniveaus. Echter omdat met een bovengrens voor de gebouwfactor van 3,0 is gerekend is een hoger percentage gevonden. Voor 10 % van de panden wordt een overschrijding verwacht van de grenswaarde voor de 63 Hz octaafband. Omdat met een gebouwfactor van 3,0 is gerekend is de verwachting dat het percentage overschrijdingen een overschatting betreft. De verwachting is dat in werkelijkheid dit percentage sterk is gereduceerd.

Afweging maatregelen
Voor het beperkt aantal woningen aan de westelijke zijde waarvoor overschrijdingen van 4 % van de streefwaarde A1 wordt verwacht en een toename van 30 % niet is uit te sluiten, is nagegaan of doelmatige maatregelen getroffen kunnen worden. De toepassing van de ballastmat in de tunnel is hierbij buiten beschouwing gelaten omdat dit de referentiesituatie betreft. Wordt naar mogelijk toe te passen maatregelen gekeken dan blijkt dat het aantal maatregelen zeer beperkt is. Maatregelen aan de bron (zoals een zwaar massaveersysteem) blijken zeer kostbaar en miljoenen euro's te kosten. Hierbij geldt dat de toepassing van de ballastmat uit eerder onderzoek een effectieve maatregel aan de bron bleek te zijn (voor trillingen en voor laag frequent geluid) en reeds wordt toegepast.

Bij maatregelen aan de overdracht kan aan een ondergronds trillingsreducerende constructie worden gedacht. Deze zou tussen de woningen aan de Spoorsingelzijde en de westelijke tunnelbuis moeten worden aangebracht. Er wordt echter over een gedeelte van het tracé aan de westzijde een parkeergarage gerealiseerd welke naar verwachting als trillingsreducerende constructie fungeert. De parkeergarage is niet in de rekenmodellen aanwezig waardoor de prognose mogelijk conservatief is voor deze locatie. Zou voor de overige delen van het traject een ondergronds trillingsreducerende constructie worden toegepast, dan worden de kosten per 100 meter op minimaal EUR 300.000,-- geschat.

Voor maatregelen aan de woningen worden drie mogelijkheden onderkend. De drie mogelijkheden betreffen het amoveren van de woningen, het afveren van de woningen en het verstijven van de vloeren. De eerste optie is voor de woningen aan de westzijde van het spoor in Delft geen realistische optie. Het afveren van een pand aan de Spoorsingel wordt wat betreft kosten geschat op EUR 100.000,-- of meer gezien de staat en bouwconstructie van de panden. Enkel het verstijven van een vloer waar opslingering optreedt is een mogelijk effectvieve maatregel. De kosten hiervoor worden geschat op EUR 20.000,-- tot EUR 50.000,--. De kosten liggen hoger dan bij een gemiddeld pand omdat gezien de constructieve staat van de panden bij het verstijven van vloeren mogelijk de gehele bouwconstructie aangepast moet worden.

Wordt het richtbedrag van EUR 47.000,-- toegepast dan volgt dat enkel het verstijven van vloeren een mogelijk doelmatige maatregel betreft. Er is echter op basis van de prognose niet op voorhand te zeggen in welke woning sprake is van opslingering, waardoor de maatregel niet preventief kan worden genomen. Het toepassen van een ondergronds trillingsreducerende constructie wordt ook als niet doelmatig beschouwd omdat over meerdere honderden meters de constructie moet worden toegepast waardoor de kosten hoger zijn dan het beschikbare budget omdat voor enkele woningen (circa 4 a 5 woningen) een overschrijding wordt verwacht.

Wat betreft mogelijke maatregelen blijkt dat enkel het verstijven van vloeren een mogelijk effectieve maatregel is en tegen een, op basis van de richtprijs, beschikbaar budget gerealiseerd kan worden. De maatregel kan echter niet preventief genomen worden omdat de locaties op basis van de prognose niet bekend zijn. In de afweging of het toepassen van het verstijven van vloeren doelmatig is wordt ook meegewogen dat er sprake is van een klein aantal overschrijdingen van de *streef*waarde en niet van de grenswaarde en dat het trillingsniveau verbetert ten opzichte van de huidige situatie met spoorviaduct. Het verstevigen van vloeren is daarom als niet doelmatig beschouwd.

Zodra de oostelijke tunnelbuis in gebruik wordt genomen kunnen metingen in het kader van het project Spoorzone Delft worden uitgevoerd. Hiermee kan de verwachte zekerheid waarmee het rekenmodel de trillingsniveaus voorspelt nader worden gestaafd. Mocht het rekenmodel onverhoopt tot een onderschatting van trillingsniveaus leiden dan bestaat de mogelijkheid het verstijven van vloeren van woningen alsnog nader te beschouwen.

Conform de aanvulling op artikel 8 van de Bts worden de gevolgen van de ingebruikneming van het project PHS viersporigheid Rijswijk Delft Zuid ten aanzien van het aspect trillingen uiterlijk binnen 1 jaar na ingebruikneming van het project onderzocht. Dit geldt voor zowel het studiegebied als de woningen aan de westzijde (en ook oostzijde) van de spoortunnel in Delft.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding en doel

Naar verwachting groeit het vervoer over het spoor de komende jaren. Dit betreft zowel een groei van het personen- als goederenvervoer. Het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS)[1] is door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu opgesteld om de verwachte groei in goede banen te leiden. Daarnaast dient het PHS ervoor te zorgen dat de kwaliteit verbetert.

PHS is een programma om de capaciteit van het spoor te vergroten, zodat er meer reizigerstreinen kunnen rijden op de drukste trajecten in de brede Randstad. Tegelijkertijd heeft PHS tot doel om de verwachte groei van het goederenvervoer mogelijk te maken. De uitvoering van het programma dient in 2028 gereed te zijn.

Het traject tussen Den Haag Centraal en Breda is één van de trajecten waarop PHS ingevuld gaat worden.

Het Kabinet heeft in de Voorkeursbeslissing PHS van juni 2010 aangegeven het spoor op deze corridor geschikt te willen maken voor het rijden met 8 intercity's (inclusief HSA) en 6 Sprinters per uur per richting tussen Den Haag Centraal en Rotterdam Centraal.

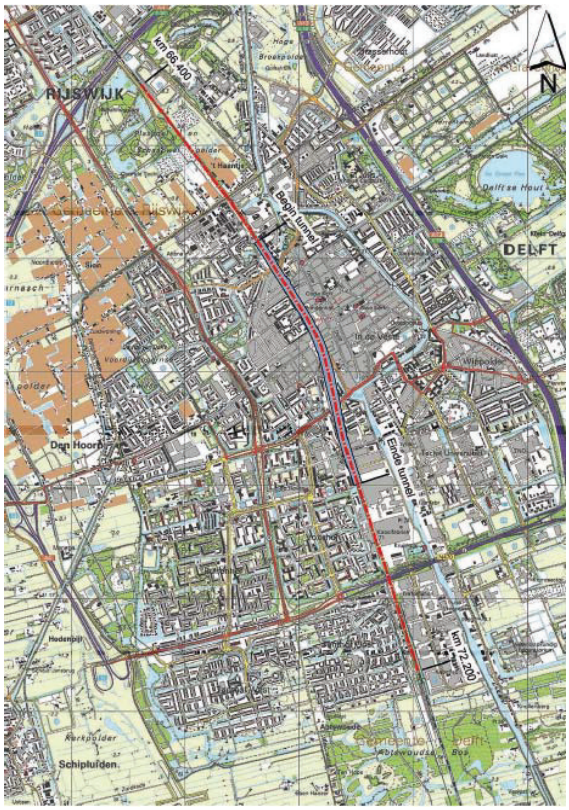
In de verkenningsfase is vastgesteld dat viersporigheid het meest gunstig is gelegen tussen Den Haag en Delft Zuid. Het gedeelte tussen Den Haag en Rijswijk is in de eerste helft van de jaren negentig al viersporig gemaakt, waardoor de huidige uitbreiding alleen betrekking heeft op het traject Rijswijk - Delft Zuid. Daarnaast is seinoptimalisatie nabij Delft Zuid voorzien.

1.2. Plangebied

In het MER wordt onderscheid gemaakt tussen het plangebied en het studiegebied zoals beschreven in de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' [lit. 1.]. Het plangebied is het gebied waar daadwerkelijk bouwwerkzaamheden en gerelateerde ingrepen zullen plaatsvinden voor het realiseren van de viersporigheid. Dit is het spoortraject van Rijswijk (km. 66,4) tot iets voorbij station Delft Zuid (km. 72.2). In totaal beslaat dit een traject van 5,8 km. De spoortunnel (circa km. 68,1 tot en met 70,5) dient hierbij mee te worden genomen in de beschouwing. De breedte van het plangebied wordt bepaald door de ruimte die nodig is om de spooruitbreiding te realiseren [lit. 1.]. Het plangebied is weergegeven in figuur 1.1.

[1] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rapportage en voorkeursbeslissing over het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS), 4 juni 2010, Kamerstuk 32 4040, nr. 1.

Figuur 1.1. Plangebied



1.3. Studiegebied

Het studiegebied omvat het gebied waar milieugevolgen ten gevolge van de uitvoering van de viersporigheid van invloed zijn. Dit is het gebied waar waarneembare effecten kunnen optreden als gevolg van het voornemen. In [lit 1.] wordt het studiegebied gedefinieerd als het gehele traject op het hoofdrailnet tussen spoorwegknooppunten Den Haag Centraal en Rotterdam Centraal.

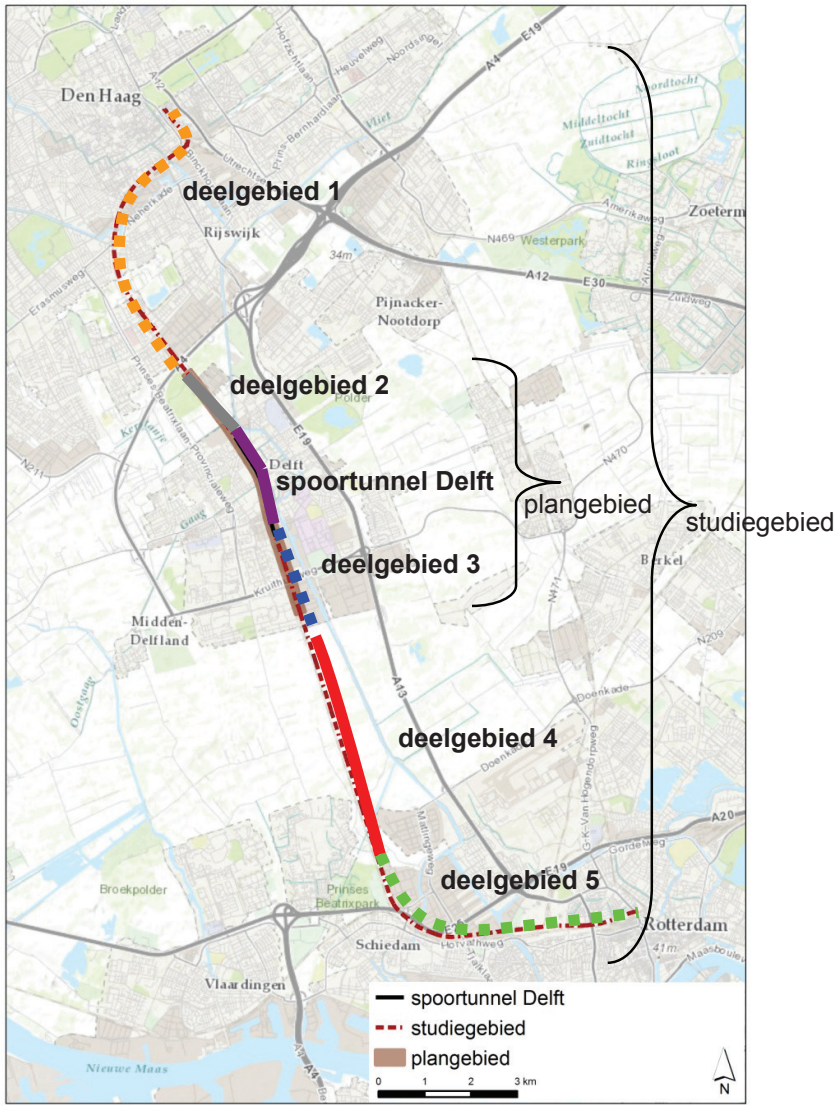
In het plangebied vindt een wijziging in spoor-layout plaats. De uitbreiding van het spoor van 2 naar 4 sporen kan hierdoor tot wijziging in trillingsniveaus leiden. Dit resulteert in een waarneembaar effect en dient zodoende te worden onderzocht. Echter, ook de toename van treinaantallen levert een mogelijk waarneembaar effect. Het gaat dan niet zozeer om de maximaal optredende trillingsniveaus, maar de gemiddelde waarde over alle treinpassages. Dit geldt voor het gehele traject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal. Voor het trillingsonderzoek wordt daarom het gehele studiegebied beschouwd.

Ten behoeve van het trillingsonderzoek is het studiegebied opgedeeld in een aantal deelgebieden:
- deelgebied 1: Den Haag Centraal - Rijswijk (km 67.000);
- deelgebied 2: Rijswijk (km 67.000) - Delft noordelijke tunnelmond;
- deelgebied 3: Zuidelijke tunnelmond - Delft Zuid (km 17.2000);
- deelgebied 4: Delft Zuid (km 17.2000) - Schiedam (km 78.500);
- deelgebied 5: Schiedam (km 78.500) - Rotterdam Centraal;

- spoortunnel in Delft.

De deelgebieden 2 en 3 betreffen het plangebied exclusief de spoortunnel. De deelgebieden 1, 4 en 5 betreffen het studiegebied exclusief het plangebied. Deelgebied 4 betreft poldergebied tussen Schiedam en Delft en blijft in de plansituatie tweesporig. In figuur 1.2 worden de verschillende deelgebieden op de kaart weergegeven. De spoortunnel in Delft wordt separaat besproken.

Figuur 1.2. Opdeling studiegebied PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid volgens Notitie Reikwijdte en Detailniveau [lit. 1][1]



Omdat in het trillingsonderzoek de spoortunnel separaat wordt beschouwd wordt wanneer in dit rapport over het studiegebied wordt gesproken het studiegebied exclusief spoortunnel bedoeld. Dit geldt eveneens voor het plangebied. In onderstaande tabel wordt dit samengevat.

1 Bron: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community

Tabel 1.1. Opdeling studiegebied zoals gehanteerd in dit trillingsonderzoek

subgebied	deelgebieden die onderdeel uitmaken van subgebied
plangebied	deelgebied 2, deelgebied 3
studiegebied	deelgebied 1, deelgebied 2, deelgebied 3, deelgebied 4, deelgebied 5
spoortunnel	spoortunnel

1.4. Voorgenomen activiteit

Het voornemen is de aanleg en het gebruik van vier sporen tussen Rijswijk en Delft Zuid en de seinoptimalisatie nabij Delft Zuid, ten behoeve van de beoogde toename van het aantal reizigers- en goederentreinen.

Hierbij maken we onderscheid tussen:
- de aanlegfase: trillingsveroorzakende bouwactiviteiten ten behoeve van de aanleg van de infrastructuur;
- de gebruiksfase: de trillingseffecten van de spoorverdubbeling tussen Rijswijk en Delft Zuid, tezamen met de toename in treinpassages op het traject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal.

1.5. Opdeling in tweetal separate trillingsonderzoeken

Het trillingsonderzoek is opgesplitst in twee deelonderzoeken omdat de referentiesituatie voor de spoortunnel in afwijking van het overige studiegebied niet gemeten maar berekend moet worden. Om de referentiesituatie te meten moet de spoortunnel eerst helemaal afgebouwd worden. Dat is volgens planning niet eerder dan 2017, wanneer naast de oostelijke tunnelbuis ook de westelijke tunnelbuis in ruwbouw is aangelegd. De westelijke tunnelbuis kan pas worden aangelegd als eerst het viaduct wordt afgebroken.

De opdeling in deelonderzoeken is daarom als volgt:
1. onderzoek traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid- Rotterdam Centraal;
2. onderzoek Spoortunnel Delft.

In het deelonderzoek voor het traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid- Rotterdam Centraal wordt gekeken naar de invloed van de wijziging van het bestaande bovengrondse spoor (van twee naar viersporig) en de wijziging in treinaantallen. In het deelonderzoek van de spoortunnel wordt specifiek gekeken naar trillingsniveaus als gevolg van een toename van het treinverkeer in de spoortunnel en het gewijzigd spoorgebruik.

1.6. Leeswijzer

Dit rapport is in een drie delen ingedeeld:
- deel I beschrijft het Trillingsonderzoek traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid- Rotterdam Centraal;
- deel II beschrijft het Trillingsonderzoek Spoortunnel Delft;
- deel III beschrijft de overall beoordeling.

Alvorens deel I wordt beschreven wordt in hoofdstuk 2 de wetgeving en het algemeen beleid voor trillingen beschreven. Vervolgens vangt deel I Trillingsonderzoek traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid- Rotterdam Centraal aan met hoofdstuk 3 waarin het beoordelingskader en de onderzoeksmethode voor het traject beschreven wordt. In hoofdstuk 4 worden de huidige, de referentie- en de plansituatie beschreven. Het in kaart brengen en de effectbeschrijving van de verwachte trillingsniveaus voor het traject wordt vervolgens in hoofdstuk 5 beschreven. Vervolgens vangt deel II aan Trillingsonderzoek Spoor-

tunnel Delft met hoofdstuk 6 waar ingegaan wordt op het beoordelingskader en de onderzoeksmethode voor de spoortunnel. In hoofdstuk 7 wordt de huidige situatie, de referentiesituatie en de plansituatie voor de spoortunnel beschreven waarna in hoofdstuk 8 ingegaan wordt op de effectbeschrijving. Vervolgens vangt het derde deel aan waarin de overall resultatenbeoordeling wordt behandeld met in hoofdstuk 9 de effectbeschrijving en beoordeling. Een doorkijk naar de verschillende oplossingsrichtingen ’t Haantje worden in hoofdstuk 10 besproken waarna in hoofdstuk 11 wordt ingegaan op mogelijke mitigerende maatregelen. Het rapport eindigt met een beschrijving van de betrouwbaarheid van de prognoses in hoofdstuk 12.

2. WETGEVING EN BELEID

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de wetgeving en het beleid ten aanzien van met betrekking tot de aanleg van railinfrastructuur. Eerst wordt ingegaan op de SBR-richtlijn trillingen die vanwege afwezigheid van een normstelling in Nederland, in de afgelopen jaren veel is gebruikt om te toetsen of er een mogelijke kans op trillingshinder dan wel schade in een woning ontstaat. Vervolgens wordt ingegaan op de Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts) [lit. 3.] waarvan op 26 maart 2014 een gewijzigde versie is gepubliceerd.

2.1. SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade

Ter voorkoming van schade aan gebouwen als gevolg van trillingen is door de Stichting Bouw Research een richtlijn opgesteld waarin grenswaarden worden gepresenteerd voor toelaatbare trillingsniveaus. In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt in type gebouw en of het trillingsignaal kortdurend, herhaald kortdurend of continu is. De voorgeschreven grenswaarden hangen hierbij af van de frequentie van het trillingssignaal. De onderste grenswaarde voor een optredend trillingsniveau aan de fundering van een gebouw bedraagt volgens de richtlijn 3 mm/s. De waarde geldt voor gebouwen uit categorie 3 (slecht onderhouden monumentale panden). De grenswaarde geldt voor een trillingssignaal met zeer lage frequenties tussen de 0 en 10 Hz. Voor hogere frequenties loopt de grenswaarde op.

De onderste grenswaarde van 3 mm/s ter voorkoming van schade blijkt hoger te liggen dan de bovenste grenswaarde ter voorkoming van trillingshinder die in de volgende paragrafen wordt gepresenteerd. De toetsing van hinder blijkt wat betreft toelaatbare trillingsniveaus maatgevend ten opzichte van toetsing van schade. Voor de gebruiksfase is in dit onderzoek daarom getoetst op trillingshinder. Voor de aanlegfase (waarvoor de toetsingscriteria voor hinder anders zijn dan voor de gebruiksfase) dienen de trillingsniveaus wel te worden getoetst op schade.

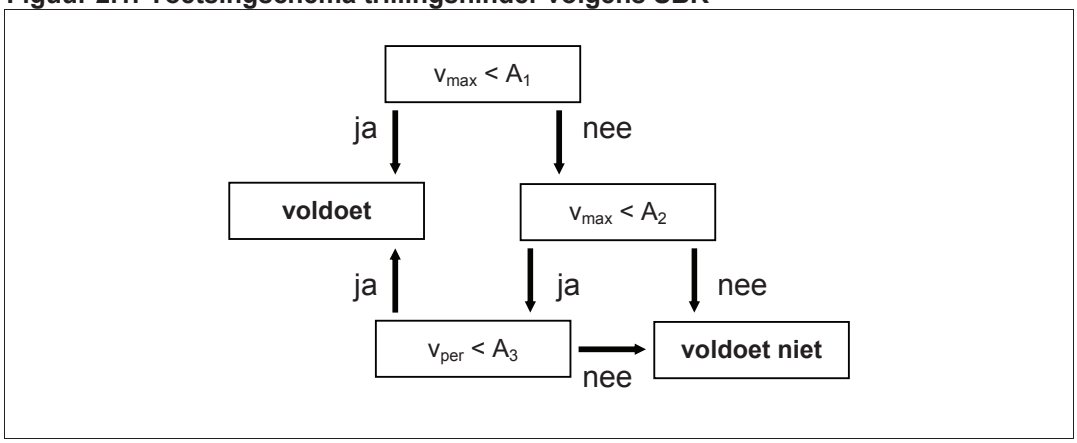
2.2. SBR-richtlijn trillingen deel B: Hinder

Door de Stichting Bouw Research is een meet- en beoordelingsrichtlijn opgesteld voor hinder van personen in gebouwen door trillingen [lit. 2.]. Deze richtlijn is vanwege afwezigheid van een normstelling in Nederland, in de afgelopen jaren veel gebruikt om te toetsen of er een mogelijke kans op trillingshinder in een woning ontstaat.

In de richtlijn wordt beschreven hoe op basis van een optredend trillingssignaal in een woning het maximum van een gewogen voortschrijdende effectieve waarde (v_{max}) kan worden berekend. Vervolgens wordt een toetsingsprocedure gegeven waarin zowel v_{max} als een gemiddelde waarde (v_{per}) wordt getoetst.

Figuur 2.1 toont de toetsingsprocedure conform de richtlijn. In eerste instantie wordt de maximale effectieve snelheid v_{max} getoetst aan de onderste streefwaarde A_1. Wanneer v_{max} een lagere waarde heeft dan A_1, wordt voldaan aan de richtlijn. Voor een hogere waarde wordt v_{max} getoetst aan A_2, de bovenste streefwaarde. Hiernaast moet v_{per} worden afgeleid, een gemiddelde waarde van het trillingsniveau. Alleen wanneer v_{max} kleiner is dan A_2 en v_{per} kleiner dan A_3, wordt voldaan aan de SBR-richtlijn.

Figuur 2.1. Toetsingschema trillingshinder volgens SBR



De richtlijn presenteert streefwaarden die afhankelijk zijn van de gebouwfunctie (onder andere gezondheidszorg, wonen, kantoor). Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen een bestaande situatie en een nieuwe situatie.

Voor trillingen door ondergronds railverkeer geeft de richtlijn in artikel 10.5.3.5 aan dat altijd uitgegaan dient te worden van toetsing van de streefwaarden voor de nieuwe situatie.

2.3. Beleidsregel Trillingshinder Spoor (Bts)

2.3.1. Definities Bts

De Beleidsregel trillinghinder spoor is opgesteld om spoorse tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillingen. Daartoe vult de Beleidsregel op een aantal onderdelen de SBR-richtlijn B aan en bevat op een aantal onderdelen een nadere uitwerking van beleid.

Daar waar de SBR enkel spreekt over streefwaarden definieert de Bts A_1 als streefwaarde voor v_{max}, maar A_2 als grenswaarde voor v_{max} en A_3 als grenswaarde voor v_{per}. Daarnaast maakt de Bts onderscheid tussen bestaande, nieuwe, plan- en referentiesituaties.

De definities in de Bts zijn als volgt gedefinieerd:
- referentiesituatie:
  - situatie vóór uitvoering Tracébesluit;
- 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;
- plansituatie:
  - 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.

De Bts geeft in toelichting Tracébesluit (artikel 4) aan dat in het geval dat er een nieuwe situatie wordt onderzocht er een beschrijving van de optredende v_{max} in de plansituatie bij het Tracébesluit dient te worden toegelicht. In het geval van een bestaande situatie bevat de toelichting:

a) de v_{max} en de v_{per} in bestaande situatie;
b) de v_{max} en de v_{per} in de plansituatie;
c) de toename van v_{max} in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie.

Vervolgens worden voor de nieuwe situatie (artikel 5) en bestaande situatie (artikel 6) toetsingswaarden voor v_{max} gegeven. Aangezien in de huidige milieueffectenstudie een studiegebied wordt onderzocht waar reeds een spoorlijn aanwezig is die tot trillingen in de omgeving leidt, is er sprake van een bestaande situatie. Om deze reden wordt nader ingegaan op artikel 6. Voor de spoortunnel wordt echter, conform de SBR-richtlijn, getoetst als ware het een nieuwe situatie. Daarom wordt ook ingegaan op artikel 5 van de Bts.

De Bts maakt onderscheid tussen een viertal situaties. Voor de huidige PHS studie geldt dat er twee situaties moeten worden onderzocht: De referentiesituatie en de plansituatie. De **referentiesituatie** behelst de situatie met daarin de autonome ontwikkeling op en langs de corridor tot rond het jaar 2030. Op te merken valt dat de referentiesituatie (voor uitvoering van het Tracébesluit) volgens de Bts een **bestaande situatie** is omdat er al sprake is van trillingen door railverkeer. De **plansituatie** betreft de situatie met daarin de gewijzigde spoorinfrastructuur en de beoogde treindienst.

2.3.2. Toetsing v_{max} Bts (artikel 5 en 6)

Volgens artikel 5 mogen maatregelen in een nieuwe situatie ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien de v_{max} in de plansituatie voldoet aan de streefwaarden zoals opgenomen in tabel 2.1.

Tabel 2.1. Grens- en streefwaarden v_{max} nieuwe situatie

gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A_1	A_2	A_1	A_2
gezondheidszorg en woonruimte	0,1	0,2	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

Volgens artikel 6 mogen maatregelen in een bestaande situatie ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien:

a) de v_{max} in de plansituatie voldoet aan de streefwaarden zoals opgenomen in tabel 2.2;
b) de toename van de trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30 procent of minder bedraagt.

Tabel 2.2. Grens- en streefwaarden v_{max} bestaande situatie

Gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A_1	A_2	A_1	A_2
gezondheidszorg en woonruimte	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

Indien v_{max} in de plansituatie groter is dan A_1, kleiner is dan A_2 maar meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 %.

Indien v_{max} in de plansituatie groter is dan A_1, groter is dan A_2 en meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 % of zoveel meer als nodig om overschrijding van A_2 te voorkomen.

2.3.3. Toetsing v_{per} (artikel 7 Bts)

Volgens artikel 7 mogen maatregelen ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien v_{per} in de plansituatie voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 2.2.

Tabel 2.3. Grens- en streefwaarden v_{per} bestaande situatie

gebouwfunctie	dag en avond	nacht
	A_3	A_3
gezondheidszorg en woonruimte	0,1	0,1
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,15

Indien in de bestaande situatie de optredende waarde van v_{per} voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 2.3, maar in de plansituatie niet, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van de trillingssterkte tot die grens wordt teruggebracht.

Indien in de bestaande situatie en in de plansituatie de optredende waarde van v_{per} niet voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 2.3, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van trillingssterkte wordt voorkomen.

De bepaling van v_{per} dient volgens de Bts conform de SBR-richtlijn deel B te geschieden. De definitie volgens de SBR-richtlijn luidt:

$$v_{per} = v_{per,meet} \bullet \sqrt{\frac{T_b}{T_0}}$$

waarbij:

T_b = totale tijdsduur trillingsbron

T_0 = tijdsduur beoordelingsperiode

$v_{per,meet}$ = de gemeten waarde van v_{per} over de beoordelingsperiode

2.3.4. Gewijzigde Bts gepubliceerd op 26 maart 2014

Op 26 maart 2014 is een besluit tot wijziging van de Bts gepubliceerd. De wijziging gaat in op de verwerking van de meetdataset en de beschrijving van doelmatigheid van maatregelen.

In de wijziging wordt een aantal aspecten beschreven van de uitvoering en verwerking van trillingsmetingen:

- meetduur dient minimaal een week te bedragen;
- er dient een statistisch maximum te worden bepaald volgens een iteratieve procedure;
- ook dient er een onzekerheid van het gevonden resultaat te worden bepaald. Deze onzekerheid dient 10 % of minder te bedragen.

De bepaling van het maximum vindt plaats middels een statistische verwerking. Ook volgt uit de statistische verwerking een onzekerheidspercentage. De statische verwerking wordt niet in de gewijzigde Bts zelf beschreven.

Hiervoor is door Level Acoustics een achtergronddocument opgesteld, zie [lit. 13]. De procedure tot bepaling van Vmax Bts [lit. 13] is toegepast in het voorliggend trillingsonderzoek.

Bepaling Vmax Bts
De procedure ter bepaling van Vmax Bts volgens [lit. 13] kent een iteratieproces om tot een set aan gemeten trillingsniveaus te komen op basis waarvan een statistisch maximum wordt bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in meetrichting.

Het iteratieproces start met de 50 % hoogst gemeten trillingsniveaus over de meetperiode (die minimaal een week bedraagt). In deze set zijn stoortrillingen verwijderd. De set van trillingsniveaus wordt benaderd met een lognormale verdeling. Ook wordt een betrouwbaarheidscoëfficiënt bepaald. Vervolgens wordt gekeken of de set aan een tweetal iteratiecriteria voldoet. Zo niet, dan worden dezelfde stappen doorlopen voor 25 % hoogste waarden, daarna 12,5 % hoogste waarden enzovoort.

Uit de set die wel voldoet aan de iteratiecriteria volgt het statistisch maximum Vmax Bts en volgt ook een reproduceerbaarheid R. Hoe lager de waarde van R hoe kleiner de onzekerheid in de bepaling van Vmax Bts. Gestreefd dient te worden naar een waarde van R onder de 10 %. Is de waarde van R hoger dan 10 % dan kan worden besloten de meetduur te verlengen of de toetswaarde te verzwaren middels een verrekening van R.

Verrekening van de reproduceerbaarheid in de toetswaarde van Vmax Bts vindt als volgt plaats:
- Vmax Bts indien R <=10 %
- (1+R/100%)·Vmax Bts indien R > 10 %

2.4. Grenswaarden laagfrequent geluid: Methodiek van de Ruiter

Voor het toetsen van laagfrequent geluid blijkt nog geen standaard methodiek en richtlijn aanwezig te zijn. Echter, voor railinfrastructuur is door Gemeentewerken Rotterdam een methodiek opgesteld die eerder is toegepast in spoorprojecten. Deze methodiek (methodiek van ‘de Ruiter’, [lit. 11]) geeft grenswaarden per octaafband en een grenswaarde voor het A-gewogen geluidsdrukniveau. De grenswaarden worden weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4. Grenswaarden laagfrequent geluid volgens methodiek ´de Ruiter´

(octaaf)band	woningen	kantoren
10-250 Hz	35 dB(A)	40 dB(A)
16 Hz	80 dB	85 dB
31,5 Hz	68 dB	73 dB
63 Hz	55 dB	60 dB
125 Hz	45 dB	50 dB

DEEL I: TRILLINGSONDERZOEK TRAJECT DEN HAAG CENTRAAL - DELFT NOORD EN DELFT ZUID- ROTTERDAM CENTRAAL

3. BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE

Dit hoofdstuk beschrijft het beoordelingskader en de onderzoeksmethode. Als eerste wordt het beoordelingskader beschreven. Onderscheid wordt gemaakt tussen schade en hinder. Voor trillingen veroorzaakt door ondergrondse infrastructuur kan hinder door laagfrequent geluid ook een rol spelen. Aangezien de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis (3^{e} en 4^{e} spoor) van de spoortunnel in Delft onderdeel uitmaakt van de studie wordt ook ingegaan op hinder door laagfrequent geluid. Vervolgens wordt de onderzoeksmethode beschreven. Onderscheid wordt gemaakt tussen trillingen tijdens de aanlegfase en trillingen tijdens de gebruiksfase. Vervolgens wordt nader ingegaan op de werkwijze hoe de trillingen tijdens de gebruiksfase in kaart zijn gebracht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in trillingen in deelgebieden 1 tot en met 5 en trillingen in de Delftse spoorzone (spoortunnel). Als laatste wordt ingegaan op hoe laagfrequente geluidsniveaus als gevolg van treinverkeer door de spoortunnel zijn onderzocht.

3.1. Beoordelingsaspecten

Er is een tweetal aspecten als gevolg van trillingen dat beoordeeld is in het trillingsonderzoek, namelijk schade en hinder als gevolg van trillingen. Deze 2 aspecten worden kort besproken.

3.1.1. Schade als gevolg van trillingen

Trillingen door toedoen van railverkeer planten zich vanuit de bodem voort in nabijgelegen bebouwing. Een gebouw dat in trilling wordt gebracht kan mogelijk schade ondervinden in het geval de trillingen een bepaalde sterkte bezitten. Om te beoordelen of optredende trillingsniveaus tot schade kunnen leiden is door de Stichting Bouw Research een richtlijn opgesteld [lit. 2.]. De richtlijn bestaat uit 3 delen waarbij Deel A ‘Schade aan gebouwen’ wordt gebruikt bij het hanteren van grenswaarden ter voorkoming van schade aan gebouwen. Trillingen als gevolg van railverkeer leiden zeer zelden tot schade aan nabijgelegen gebouwen omdat de trillingsniveaus in de regel te laag zijn om tot schade te kunnen leiden. Enkel in het geval er woningen op enkele meters van het spoor staan is er mogelijk sprake van kans op schade door trillingen als gevolg van passerend treinverkeer. Hiervan is geen sprake in het studiegebied[1]. Er is daarom geen nader onderzoek naar schade als gevolg van trillingen door treinverkeer uitgevoerd. Bij trillingen als gevolg van bouwwerkzaamheden is toetsing van optredende trillingsniveaus gebruikelijk om schade te voorkomen.

3.1.2. Hinder als gevolg van trillingen

In het geval een gebouw in trilling wordt gebracht vanwege passerend treinverkeer op beperkte afstand van het gebouw kan er sprake zijn van hinder voor personen in het gebouw. In de richtlijn van de Stichting Bouw Research wordt in deel B: ‘Hinder voor personen in gebouwen’ ingegaan op de toetsing van trillingsniveaus ter voorkoming van hinder. De grens- dan wel streefwaarden ter voorkoming van hinder zijn strikter dan ter voorkoming van schade. Nabij spoorlijnen is daarom binnen een afstand van circa 50 tot 100 m (afhankelijk van bodemopbouw, type treinverkeer et cetera) mogelijk sprake van het optreden van trillingshinder.

---

[1] er blijkt uit hoofdstuk 5 dat er een uitzondering is in Kethel. Deze uitzondering betreft een voormalig spoorwachtershuisje dat op 3 m van het spoor staat. Deze woning staat dermate dicht op het spoor dat schade niet kan worden uitgesloten. De kans op schade neemt echter door het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid niet toe.

Begin 2012 is door de minister van Infrastructuur en Milieu een beleidsregel opgesteld welke op 18 april 2012 in werking is getreden. Een besluit tot wijziging van de beleidsregel is gepubliceerd op 26 maart 2014. Deze beleidsregel, Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts) [lit. 3.], is specifiek opgesteld ten behoeve van de vaststelling van Tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg en is daarom voor het huidige onderzoek van toepassing.

3.2. Deelonderzoek trillingen

3.2.1. Trillingen tijdens aanlegfase

Tijdens bouwwerkzaamheden worden trillingen veroorzaakt door bijvoorbeeld het inheien van damwanden of funderingspalen. Voor de aanlegfase van viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid zal dit met name het geval zijn bij de onderdoorgang in Rijswijk (nabij 't Haantje) en de aanpassing van station Delft Zuid.

Voor de bouw van de onderdoorgang worden waarschijnlijk damwanden en funderingselementen geheid of getrild. De exacte bouwwijze is nog onbekend. Voor de noordelijke locatie geldt echter dat er geen bebouwing in de directe nabijheid is zodat er geen sprake is van mogelijke schade aan gebouwen voor deze locatie. Voor de locatie bij 't Haantje is wel een aantal gebouwen aanwezig op korte afstand van het spoor.

Voor de aanpassing van station Delft Zuid geldt dat met name bij de bouw van de fundering van de stijgpunten trillingen veroorzaakt kunnen worden. Mogelijk zal een deel van het perron onderheid moeten worden vanwege de slappe bodemgesteldheid. Bij station Delft Zuid is een aantal gebouwen aanwezig op korte afstand.

In het ontwerp zullen de funderingselementen zo gekozen worden dat tijdens de uitvoering voldaan kan worden aan de vigerende richtlijnen. De SBR-richtlijn deel A: schade aan gebouwen, is hier specifiek voor opgesteld. De optredende trillingsniveaus als gevolg van het bouwproces zullen nauwlettend gemonitord worden om schade te voorkomen. De bouw van de spoortunnel in Delft is reeds in volle gang en valt buiten de scope van het huidige onderzoek.

3.2.2. Trillingen tijdens gebruiksfase

Dit onderzoek richt zich op trillingen tijdens de gebruiksfase, oftewel trillingen die als gevolg van passerende treinen worden veroorzaakt. In de huidige situatie treden er ook trillingen op als gevolg van passerende treinen. Echter, in de toekomstige plansituatie wordt het aantal treinpassages groter en op een aantal locaties worden de te verwachten trillingsniveaus in gebouwen ook hoger omdat het spoor door uitbreiding van 2 naar 4 sporen dichter op bebouwing komt te liggen.

Het doel van het huidige onderzoek betreft het bepalen van maximale en gemiddelde trillingsniveaus die optreden in de referentiesituatie en het bepalen van hoeveel deze niveaus toenemen in de toekomstige plansituatie[1]. Er wordt vervolgens getoetst aan de grenswaarden ter voorkoming van trillingshinder. Om te kunnen toetsen is het belangrijk om te bepalen hoe tot een prognose van trillingsniveaus gekomen kan worden en welke aspecten van belang zijn in het optreden van trillingen door treinverkeer.

---

[1] In het hoofdrapport wordt gesproken over het projectalternatief. In dit rapport wordt het projectalternatief plansituatie genoemd in overeenstemming met de terminologie van de Bts, zie paragraaf 4.3.1.

In het algemeen blijken de volgende aspecten een rol te spelen in de mate van trilling die een persoon in een gebouw ondervindt als gevolg van een passerende trein op nabijgelegen spoor:

- bron:
  - treintype;
  - rail- en wielruwheid;
  - snelheid van de trein;
  - mogelijke aanwezigheid van wissels en kunstwerken;
- overdracht:
  - bodemopbouw;
  - afstand tot aan spoor;
- ontvanger:
  - gebouwfunctie waarin persoon zich bevindt;
  - gebouwtype waarin persoon zich bevindt (funderingtype, bouwmateriaal etc.).

In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd dat bij toetsing van trillingshinder door railverkeer niet alleen gekeken wordt naar het maximale optredende trillingsniveau, maar ook de gemiddelde waarde over alle treinpassages in een dagdeel. De hoeveelheid treinpassages per dagdeel speelt dus naast de bovenstaande aspecten ook een rol. De verschillende aspecten in ogenschouw nemende is voor het studiegebied en de spoortunnel tot een werkwijze van een trillingsprognose gekomen, welke in de volgende paragrafen wordt beschreven.

3.3. Werkwijze

Voor het gehele studiegebied wijzigt het aantal treinpassages en daarmee ook het gemiddelde trillingsniveau (v_{per}). Voor het gehele studiegebied dient het niveau in de referentiesituatie en de wijziging naar de plansituatie te worden bepaald. Per situatie wordt gekeken of er locaties zijn waar de grenswaarde van v_{per} conform de Bts wordt overschreden. De toename van treinaantallen in de plansituatie blijkt ten opzichte van de referentiesituatie enigszins beperkt. De verwachte toename in v_{per} is daarom ook beperkt, maar dient wel in kaart gebracht en getoetst te worden.

Voor het plangebied (deelgebieden 2 en 3 Delft Noord en Zuid) geldt dat het voornemen is de spoorlijn uit te breiden van 2 naar 4 sporen, waardoor bebouwing dichter op het spoor komt te liggen. Daarbij moet een tweetal varianten van de aftakking van het spoor op het DSM-raccordement worden onderzocht. De optredende v_{max} in het plangebied kan door de wijziging toenemen en dient dan ook voor zowel de bestaande situatie als de plansituatie in kaart te worden gebracht.

Voor het overige studiegebied (deelgebieden 1, 4 en 5: Den Haag - Rijswijk en Schiedam - Rotterdam) geldt dat enkel het aantal treinpassages in de plansituatie wijzigt ten opzichte van de bestaande situatie. Snelheidswijzigingen ten opzichte van de referentiesituatie zijn voor deze deelgebieden niet te verwachten. De maximale waarde van v_{max} wijzigt daarom niet. Ingeval er geen toename van v_{max} te verwachten is wordt aan het criterium van de Bts voldaan dat er een toename van v_{max} van minder dan 30 % wordt verwacht. Uit de toetsing van v_{max} volgt op voorhand dat wordt voldaan mits de waarde onder de bovenste grenswaarde van 3,2 ligt. In tabel 2.1 worden de verwachte wijzigingen samengevat.

Tabel 3.1. Toetsing trillingen verschillende deelgebieden

deelgebied	toename in v_{per} te verwachten?	toename in v_{max} te verwachten?
deelgebied 1 Den Haag - Rijswijk	ja	nee
deelgebied 2 Delft Noord/t'Haantje	ja	ja

deelgebied	toename in v_{per} te verwachten?	toename in v_{max} te verwachten?
deelgebied 3 Delft Zuid	ja	ja
deelgebied 4 Polder Noord - Kethel	ja	nee
deelgebied 5 Schiedam - Rotterdam	ja	nee

3.3.1. Prognose op basis van metingen

Het huidige treinverkeer over het spoortraject tussen Den Haag Centraal en Rotterdam Centraal veroorzaakt reeds trillingen. Door deze trillingen op diverse locaties te meten kan een goed beeld van optredende trillingsniveaus gekregen worden. Gekozen is daarom de trillingsprognose op basis van metingen uit te voeren.

In paragraaf 2.2.2 zijn de belangrijkste schakels besproken die moeten worden gekwantificeerd om tot een prognose te komen, namelijk:
- bron;
- bodemoverdracht;
- gebouwoverdracht.

Voor zowel de bron als de bodemoverdracht is gekozen deze op basis van trillingsmetingen te bepalen. Gezien het zeer grote aantal gebouwen is de bepaling van alle gebouwoverdrachten op basis van metingen te omvangrijk. Er is daarom voor de gebouwoverdracht een stapsgewijze benadering gehanteerd, waarbij in de eerste stap is afgezien van metingen en met een bovengrensfactor is gerekend. Vervolgens is voor de locaties waar uit de prognose op basis van de bovengrensfactor overschrijdingen in trillingsniveaus worden gevonden, in de tweede stap nader bepaald wat de werkelijke gebouwoverdrachten zijn door kortdurende trillingsmetingen in de betreffende gebouwen uit te voeren.

3.3.2. Bronbepaling

Wanneer een trein over het spoor rijdt, ontstaat er een complex samenspel van onder andere ruwheid van wielen en rails, aslasten en ondergrond dat uiteindelijk leidt tot uiteenlopende trillingsniveaus in de bodem. Om een goed beeld te krijgen in welke trillingsniveaus de verschillende treinpassages langs het spoortraject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal resulteren is voor een aantal locaties op een referentiepunt op 10 m afstand van de buitenkant van het spoor een tweetal trillingsopnemers geplaatst. Deze trillingsopnemers hebben een week lang (conform de Bts) de optredende trillingsniveaus door het passerende treinverkeer gemeten. De 2 opnemers zijn op enige afstand van elkaar parallel aan het spoor geplaatst. Hiermee is beoogd de mogelijke invloed van zeer lokale effecten, zoals puinresten in de grond, te beperken.

Middels de referentiemetingen wordt een beeld gekregen wat de maximale trillingsniveaus zijn op een afstand van 10 m van het spoor. Er is dan echter nog geen informatie verkregen over welk type trein welk trillingsniveau veroorzaakt. Deze informatie is benodigd om te bepalen in welke mate het gemiddelde trillingsniveau v_{per} toeneemt als er meer sprinters en intercity's gaan rijden in de toekomst. Daarom is er naast het tweetal opnemers ook een camera geplaatst die bewegingsgestuurd videobeelden opneemt. Op deze wijze valt achteraf te analyseren welke treinpassage welk trillingsniveau heeft veroorzaakt. Ook kan met de camerabeelden een inschatting van de snelheid van de desbetreffende trein worden gemaakt.

Op enkele locaties wordt in de plansituatie een wissel voorzien.

Wissels resulteren in een zeer lokale verhoging van optredende trillingsniveaus vanwege onregelmatigheid in het spoor. Hierdoor ontstaat een stootvormige belasting ter plaatse van de wissel die tot verhoging in trillingsniveaus leidt. Het invloedsgebied van wissels blijkt echter beperkt. Om de lokale toename van trillingsniveaus ter plaatse van de voorziene wissels te bepalen is een extra meting uitgevoerd nabij een wissel op een zo representatief mogelijke locatie.

3.3.3. Bodemoverdracht en geologie

Om tot een goede prognose van optredende trillingsniveaus te komen is het van belang de grondopbouw langs het spoortraject in kaart te hebben gebracht. Hiertoe is een quickscan uitgevoerd (zie bijlage I) waarbij de gebieden Rotterdam /Schiedam en Rijswijk/Moerwijk/Den Haag zijn gescand op bodemopbouw. De Delftse grondopbouw is vanuit het project 'Spoorzone Delft' reeds volledig in kaart gebracht (zie ook bijlage I).

Uit het geologisch onderzoek volgt dat het studiegebied wat betreft bodemopbouw grofweg in een viertal grondprofielen verdeeld kan worden. Deze indeling wordt weergegeven in tabel 2.2. Op basis van deze vier geologische profielen zijn de verschillende locaties gekozen waar trillingsmetingen zijn uitgevoerd.

Tabel 3.2. Grove indeling bodemprofielen

profiel	locatie	kenmerkend
profiel 1	Rotterdam Centraal - Schiedam	onder circa -16 m +NAP zand. Daar boven klei met hier en daar wat leem/veen. Bovenste 2-3 m (ophoog) zand
profiel 2	Schiedam - Delft Zuid	polder profiel met bovenste 20 m klei, daaronder zand
profiel 3	Delft	onder circa -19 m +NAP zand. Daar boven klei met hier en daar wat leem/veen. Bovenste 5 m zand met hier en daar klei en puinresten
profiel 4	Rijswijk - Den Haag Centraal	zand vanaf circa -15 m +NAP. Daarboven kleilagen met hier en daar leem. Bovenste 5 m (duin) zand

Uit de tabel volgt dat er grofweg 4 bodemprofielen te onderscheiden zijn langs het spoortraject. Voor elk van deze bodemprofielen was in eerste instantie voorzien om een trillingsmeting ter bepaling van de afstandsdemping uit te voeren. Echter, voor de deelgebieden 2 en 3 waar een fysieke wijziging aan het spoor plaatsvindt en die beide onder bodemprofiel 3 vallen is een nauwkeurige bepaling van de afstandsdemping erg belangrijk omdat uitbreiding van het spoor van 2 naar 4 sporen in deze 2 deelgebieden resulteert in een toename van het trillingsniveau die hoofdzakelijk afhangt van de gehanteerde afstandsdemping. Aangezien bodemprofielen 1 en 4 behoorlijk op elkaar lijken is uiteindelijk besloten de afstandsdemping voor bodemprofiel 3 op 2 locaties te bepalen (ten noorden en ten zuiden van de tunnel) en de afstandsdemping van bodemprofiel 1 te bepalen als de meest ongunstige demping van bodemprofielen 3 en 4. Profiel 2 betreft poldergebied en dit gebied is niet representatief voor profiel 1. De trillingsmetingen ter bepaling van de afstandsdemping zijn zogenaamde dwarsraaimetingen waarbij op een aantal verschillende afstanden van het spoor synchroon trillingsmetingen zijn uitgevoerd. Hoofdstuk 5 gaat hier verder op in.

3.3.4. Stapsgewijze benadering gebouwoverdracht

Middels de bron en bodemoverdracht kan het trillingsniveau op maaiveld worden bepaald. Het trillingsniveau in een nabijgelegen woning kan echter behoorlijk verschillen van het niveau op maaiveld. In veel gevallen blijkt het trillingsniveau in het gebouw lager dan op maaiveld. Echter, er kan ook sprake zijn van een toename in trillingsniveau. In dat geval is er sprake van opslingering.

Vanwege de grote verscheidenheid aan woningen langs het spoortraject en het grote aantal woningen vergt de bepaling van een overdrachtsfactor per gebouw uitzonderlijk veel arbeid. Er is daarom een stapsgewijze benadering gehanteerd in de hantering van gebouwoverdrachten. Hierbij is in de eerste stap een prognose van te verwachten trillingsniveaus gemaakt op basis van een bovengrenswaarde van de te verwachten gebouwoverdrachtsfactor van 3,0. Deze factor is gebaseerd op de toelichting op artikel 9 van de Bts. In deze toelichting wordt aangegeven dat bij de bepaling van de effectiviteit van maatregelen er van uit dient te worden gegaan dat woningen een versterkingsfactor van hooguit 3 kennen. Daar waar op basis van de globale prognose van stap 1 woningen een overschrijding laten zien, is in stap 2 de gebouwoverdracht nader bepaald middels trillingsmetingen om zodoende tot een verfijnde prognose te komen. Beide stappen worden nader besproken.

Stap 1: Globale trillingsprognose studiegebied
In de globale trillingsprognose is voor de gebouwoverdrachtsfactor een bovengrenswaarde van 3,0 gehanteerd voor woningen. Uit voorgaande studies (zie onder andere [lit. 7.]) blijkt dat bij een op betonnen palen gefundeerd gebouw de trillingsoverdracht kleiner is dan bij een op staal gefundeerde woning. Er is een aantal relatief nieuwe kantoorgebouwen langs het spoortracé aanwezig, die deze kenmerken bezitten. Voor deze kantoorgebouwen is een overdrachtsfactor van 2,0 gehanteerd. Fabriekshallen worden in de toetsing op hinder in principe niet meegenomen. Voor een aantal fabriekshallen dat dicht op het spoor komen te liggen in de plansituatie is wel een schatting gemaakt van toename in trillingsniveau. Voor fabriekshallen is een overdrachtswaarde van 1,0 aangehouden.

De bovengrenswaarden voor de gebouwoverdrachtsfactor worden gehanteerd voor de bepaling van het maatgevende trillingsniveau v_{max}. Voor de bepaling van het gemiddelde trillingsniveau (v_{per}) geldt echter dat niet elke treinpassage leidt to dezelfde opslingering. De hoeveelheid opslingering is namelijk afhankelijk van het spectrum[1] welke varieert per treinpassage. Indien de bovengrenswaarden ook voor v_{per} gehanteerd worden, wordt het gemiddelde trillingsniveau daarom behoorlijk overschat. Er is om die reden nader gekeken naar factoren voor de toetsing van v_{per}.

[1] Met het spectrum wordt bedoelt welke frequenties in het trillingssignaal als gevolg van een treinpassage dominant zijn.

Bepaling gemiddelde gebouwoverdrachten ten behoeve van v_{per}
Opslingering in een pand vindt plaats doordat de eigenfrequentie van een vloer wordt aangeslagen. Dit kan grofweg gemodelleerd worden door een enkel massaveersysteem (zie bijlage IX). Indien door een treinpassage de vloer wordt opgeslingerd, betekent dit niet dat dit voor alle treinpassages plaatsvindt. Vaak resulteert de ene treinpassage wel in opslingering en de andere passage niet. Door een factor 3 voor alle passages te hanteren wordt daarom v_{per} overschat. De treinpassages gemeten tijdens de dwarsraaimeting zijn gebruikt om te bepalen in welke mate de waarde van v_{per} op deze wijze wordt overschat. Hierbij is voor een zevental vooraf gedefinieerde eigenfrequenties van de vloer de overdrachtsfactor bepaald voor alle gemeten treinpassages tijdens de dwarsraaimeting. De gehanteerde dempingmaat van het massaveersysteem is zo gekozen dat voor elke eigenfrequentie de maximaal gevonden overdrachtsfactor een waarde 3 heeft. Vervolgens is de verdeling van overdrachtsfactoren over treinpassages bepaald. De resultaten worden in bijlage IX gegeven.

Uit de resultaten in bijlage IX volgt dat daar waar de maximale overdrachtsfactor een waarde drie heeft, de gemiddelde overdrachtsfactor over de treinpassages voor elke gedefinieerde eigenfrequentie onder de 2 ligt. Er is daarom voor de toetsing van v_{per} een maximale overdrachtsfactor van 2 gehanteerd. In tabel 2.3 worden de gehanteerde overdrachtsfactoren bij de toetsing van v_{per} en v_{max} afzonderlijk getoond.

Tabel 3.3. Overdrachtsfactoren gebouwen

type gebouw	factor toetsing v_{max}	factor toetsing v_{per}
woning en kantoren	3.0	2.0
kantoor (beton gefundeerd op palen)	2.0	1.5
fabriekshalen	1.0	1.0

Stap 2: Verfijnde prognose woningen kritische locaties
Daar waar middels de bovengrensbenadering van overdrachtsfactoren in stap 1 volgens de prognose een overschrijding wordt verwacht, is het specifieke gebouw nader onderzocht. Hiertoe zijn de specifieke gebouwoverdrachten bepaald middels trillingsmetingen aan het gebouw. Voor deze woningen wordt vervolgens op basis van de gemeten overdrachten een verfijnde prognose gemaakt van het verwachte trillingsniveau.

3.3.5. Specifieke locaties

Er is een aantal specifieke locaties in het spoortraject. Op deze locaties wordt afgeweken van de standaard situatie waarin bebouwing op enige afstand van het spoor staat. Op de verschillende locaties wordt kort ingegaan.

Ongelijkvloerse kruising ten noorden van ’t Haantje
In de huidige situatie is de kruising met ’t Haantje gelijkvloers en ligt deze naast de waterweg ‘Kerstanje Wetering’. Voor de plansituatie is een drietal oplossingsrichtingen voor de kruising onderkend. Hoofdstuk 8 bespreekt deze oplossingsrichtingen met het oog op trillingen.

Station Rijswijk
Station Rijswijk is een tunnel die gebouwd is als polderconstructie. De zijwanden betreffen diepwanden van circa een meter dik. Bovenop de tunnel is een aantal flatgebouwen aanwezig. Flatgebouwen zijn ten opzichte van woningen stijf en massief. Deze eigenschappen zijn gunstig als het gaat om optredende trillingsniveaus. Daarnaast geldt dat de sprinters halteren op station Rijswijk.

Sprinters veroorzaken daarom ter plaatse het station zeer beperkt trillingen. Aangezien het aantal sprinters in de plansituatie van de verschillende treintypes het meeste toeneemt (van 4 naar 6 per uur per richting ten opzichte van het aantal intercity's van acht naar negen per uur per richting), is de verwachte toename in v_{per} nabij Station Rijswijk kleiner dan op de locaties waar referentiemetingen zijn uitgevoerd. Het station wordt niet maatgevend geacht en is daarom buiten de beschouwing gelaten.

Trillingsgevoelige apparatuur

In het studiegebied is voor zover bekend op een tweetal locaties trillingsgevoelige apparatuur aanwezig. De locaties waar de apparatuur aanwezig is betreffen een fabriekshal van Prysmian Cables aan de Schieweg en het terrein van DSM waar een viertal centrifuges staan (ten oosten van het spoor) en een opstelling die ten behoeve van penicilline chromatografie (ten westen van het spoor) aanwezig is. Op de trillingsgevoelige locatie van Prysmian en ter plaatse van de centrifuges op het DSM-terrein zijn tijdens bouwwerkzaamheden aan de spoortunnel trillingen gemonitord. Voor beide locaties bleken de trillingsniveaus door toedoen van het aanbrengen van damwanden niet tot schade aan de apparatuur te leiden. Aangezien de trillingsniveaus die optreden tijdens het aanbrengen van damwanden een orde hoger liggen dan de niveaus ten gevolge van treinpassages, bestaat de verwachting dat mogelijke toename in trillingsniveaus door verbreding van het spoor niet tot storing aan de apparatuur kan leiden. Voor de locatie op het DSM-terrein waar trillingsgevoelige apparatuur ten behoeve van penicilline chromatografie aanwezig is geldt dat tussen deze locatie en het spoor andere gebouwen aanwezig zijn die de trillingen grotendeels blokkeren. De afstand tot aan het spoor van het gebouw is daarbij minimaal 100 m waardoor wordt verwacht dat trillingsniveaus door treinverkeer niet merkbaar zijn. Dit geldt voor de huidige situatie maar is ook de verwachting voor de toekomstige situatie. De specifieke locaties op het DSM-terrein en op het terrein van Prysmian Cables zijn daarom niet nader onderzocht. Op het DSM-terrein is een kantoorgebouw gelegen nabij het spoor (Alexander Fleminglaan 1), dit kantoor is wel meegenomen in de prognose in hoofdstuk 5.

3.4. Relatie met andere deelrapporten

De uitgangspunten die zijn gehanteerd in het deelonderzoek trillingen zijn zoveel mogelijk in overeenstemming met het deelonderzoek geluid.

4. HUIDIGE SITUATIE, REFERENTIESITUATIE EN PLANSITUATIE

Dit hoofdstuk beschrijft de huidige situatie van het studiegebied, de referentiesituatie en de plansituatie (PHS-situatie) waarin meer treinen op het spoor gaan rijden en het spoor wordt verbreed in het plangebied[1]. Eerst wordt ingegaan op de huidige situatie, waarna de referentiesituatie wordt besproken. Vervolgens wordt de wijziging van het spoor in de plansituatie nader beschreven.

4.1. Uitgangspunten

De uitgangspunten die zijn gehanteerd in het deelonderzoek trillingen zijn gebaseerd op de volgende documenten:
- notitie Reikwijdte en Detailniveau [lit. 1.];
- snelheidsprofielen conform het geluidsregister viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid;
- tekeningen plansituatie [lit. 6.].

4.2. Huidige situatie

De spoorlijn Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal betreft een drukbezet spoor. In de huidige situatie rijden er 4 sprinters en 7 intercity's per uur per richting over het spoor. Incidenteel rijdt er een goederentrein. In tabel 4.1 worden de aantallen nader gespecificeerd.

Tabel 4.1. Aantal treinen huidige situatie per uur per richting (autonome groei zonder PHS)

aantal treinen PHS	huidige situatie (vanaf 14 december 2014)
IC Amsterdam - Brussel	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	2
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	4
Goederentrein Schiedam - Delft DSM	2 per dag per richting
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk	2 per dag per richting

Een gedeelte van het spoortraject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal is reeds viersporig. In de jaren negentig is station Rijswijk gebouwd en is het spoor tussen Den Haag HS en Delft viersporig gemaakt. Ten noorden van 't Haantje gaat het spoor in de huidige situatie van 4 over naar 2 sporen. Tussen station Delft en Schiedam is de lijn tweesporig. Bij station Schiedam komt de lijn van Rotterdam Centraal naar Hoek van Holland erbij en wordt het traject weer viersporig. Hierbij loopt het spoor tussen Schiedam en Rotterdam Centraal gedeeltelijk over een viaduct.

4.3. Referentiesituatie

In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' [lit. 1.] wordt ingegaan op de verwachte autonome groei op het spoortraject. De treinaantallen per uur per richting die in de notitie zijn opgenomen worden in tabel 4.2 weergegeven. De treinaantallen voor 2020 en 2030 blijken gelijk te zijn aan de huidige treinaantallen (tabel 4.1), de treinaantallen nemen niet verder toe.

---

[1] Er is dus een duidelijk onderscheid te maken tussen plan*gebied* en plan*situatie*. Het plangebied beschrijft het geografisch gebied waar wijziging aan het spoor plaatsvindt, de plansituatie betreft de toekomstige situatie wanneer het project is gerealiseerd.

De goederentreinaantallen wijken af van de aantallen genoemd in de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' naar aanleiding van de 'Verwerking herijkte goederenprognoses PHS' uit begin 2013.

Tabel 4.2. Aantal treinen referentiesituatie per uur per richting (autonome groei zonder PHS)

aantal treinen PHS	2020	2030
IC Amsterdam - Brussel	1	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2	2
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	2	2
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	4	4
Goederentrein Schiedam - Delft DSM[1]	5,1 per dag beide richtingen samen	5,1 per dag beide richtingen samen
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk[2]	4,5 per dag beide richtingen samen	4,5 per dag beide richtingen samen

Voor het studiegebied vallen er naast de autonome ontwikkeling van treinaantallen in de referentiesituatie geen wijzigingen in het spoorgebruik te verwachten. Voor de referentiesituatie wordt de huidige tweesporige situatie aangehouden

4.4. Plansituatie

PHS is een programma om de capaciteit van het spoor te vergroten. In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' worden voor de toekomstige plansituatie het aantal treinpassages per richting per uur gedefinieerd. In tabel 4.3 worden deze aantallen weergegeven. Voor de goederentreinaantallen volgen de aantallen gelijk aan de aantallen voor de referentiesituatie uit de herijkte prognose van ProRail.

Tabel 4.3. Aantal treinen plansituatie per uur per richting (groei met PHS)

aantal treinen PHS	2020	2030
IC Amsterdam - Brussel	1	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2	2
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	3	3
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	6	6
Goederentrein Schiedam - Delft DSM	5,1 per dag beide richtingen samen	5,1 per dag beide richtingen samen
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk	4,5 per dag beide richtingen samen	4,5 per dag beide richtingen samen

Ten opzichte van de referentiesituatie vindt een toename in treinpassages van intercity's en sprinters plaats. Er is geen groei tussen 2020 en 2030 voorzien. De spoor-layout wijzigt

---

[1] De goederentreinaantallen zijn gebaseerd op het rapport *Verwerking herijkte goederenprognoses PHS* van 22 maart 2013 (kenmerk EDMS#3235055-V1.2) van ProRail Vervoer en Dienstregeling, CV/POV voor het midden scenario '. Bij de verwerking is uitgegaan van het TNO, NEA rapport *Lange termijn perspectief spoorgoederenvervoer* van mei 2012. Bij brief van 17-06-2014 aan de TK over PHS-besluiten is aangegeven dat het hoge scenario voor 2030 minder plausibel is en dat daarom bij de besluitvorming wordt uitgegaan van het midden scenario. Deze uitspraak is gebaseerd op de TNO *Toets plausibiliteit prognoses goederenvervoer* van 15 april 2014 (kenmerk TNO 2015 R10564).

[2] Het goederentreinaantal van Delft DSM richting Rijswijk is enigszins lager dan van Schiedam naar Delft DSM in verband met de incidentele goederentrein die op het DSM-terrein lost en weer richting Schiedam terugkeert.

door het projectalternatief in het plangebied. Het plangebied is het gebied tussen Rijswijk en Delft Zuid.

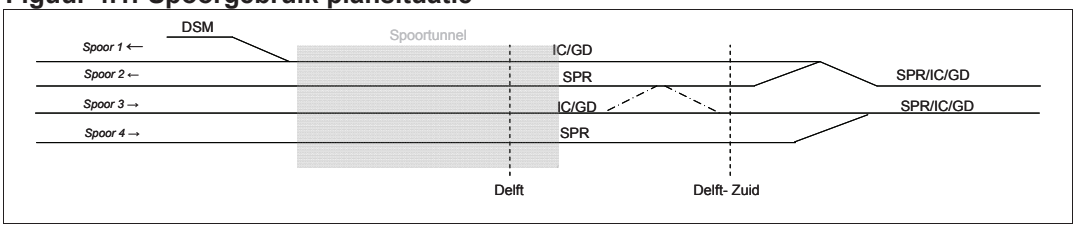
Om de spoorlijn in het studiegebied Den Haag Centraal Rotterdam Centraal geschikt te maken voor de groei in treinaantallen, wordt het spoor in het plangebied van twee naar vier sporen verbreed. Dit heeft een aantal wijzigingen van de spoorinrichting tot gevolg.

Wijziging spoorinrichting
In het plangebied wordt het spoor uitgebreid van twee naar vier sporen. Dit resulteert in de volgende wijzigingen van de spoorlay-out in het plangebied (van noord naar zuid):

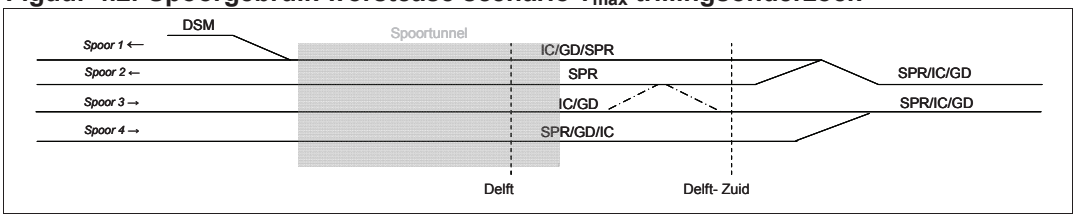
- huidige wissels ter plaatse van kilometrering 66.400 (tussen Delft en Rijswijk) waar het spoor van 2 naar 4 sporen over gaat verdwijnen;
- verbreding van het spoor in het plangebied (buiten de spoortunnel) van 2 naar 4 sporen (aan beide zijden wordt 1 spoor extra aangelegd). Het treinverkeer zal hierdoor dichter op de bebouwing komen te rijden;
- ten zuiden van station Delft Zuid komen wissels te liggen. Op deze locatie gaat het spoor van 4 terug naar 2 sporen;
- inrichting van de westelijke tunnelbuis met het derde en vierde spoor;
- seinoptimalisatie nabij station Delft Zuid;
- watergang tussen Vulcanusweg en het spoor wordt vanwege de verbreding van het spoor verplaatst;
- de huidige gelijkvloerse overweg 't Haantje wordt vervangen door een ongelijkvloerse kruising in een zoekgebied tussen de 0 en 500 m (ten noorden) van de huidige locatie;
- voor de aansluiting op het raccordement van DSM wordt een tweetal varianten onderzocht.

Voor de plansituatie is een basisgebruik van de sporen in Delft voorzien waarin de intercity's ten zuiden van station Delft Zuid niet hoeven te wisselen van spoor. De sprinters wisselen op deze locatie wel van spoor. De spoorindeling in de plansituatie wordt weergegeven in figuur 4.1. Sporen 1 en 4 betreffen de buitenste sporen.

Figuur 4.1. Spoorgebruik plansituatie



Figuur 4.2. Spoorgebruik worstcase scenario v_{max} trillingsonderzoek



Het basis-spoorgebruik voorzien voor de plansituatie wordt in tabel 4.4 weergegeven. Aan de westzijde van het spoor rijden hoofdzakelijk sprinters op het buitenspoor en dus dichter langs de bebouwing. Aan de oostzijde rijden de intercity's op het buitenspoor.

Tabel 4.4. Basis-spoorgebruik toekomstige situatie

trein	spoor
SPR richting Rotterdam	buitenspoor 4
IC richting Rotterdam	binnenspoor 3
SPR richting Den Haag	binnenspoor 2
IC richting Den Haag	buitenspoor 1

Het is echter niet uit te sluiten dat af en toe van het basis spoorgebruik wordt afgeweken.

Voor de bepaling van de maximaal optredende trillingsniveaus wordt daarom uitgegaan van worstcasescenario's waarbij de maatgevende treinen op de buitenste sporen rijden (tabel 4.5).

Tabel 4.5. Spoorgebruik worst case-scenario

trein	spoor
maatgevende trein richting Rotterdam	buitenspoor 4
maatgevende trein richting Den Haag	buitenspoor 1

Wijzigingen snelheidsprofielen
Passagierstreinen rijden conform de huidige dienstregeling niet harder dan 140 km/uur. Voor de toekomstige situatie geldt dit eveneens. Op het traject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal varieert de snelheid van de treinen afhankelijk van het type trein (intercity of sprinter) en de spoor-layout (onder andere wissels verlagen de maximale snelheid). Door de wijziging van de spoorinrichting in het plangebied zijn er ook enkele wijzigingen in snelheden te verwachten. Per deelgebied wordt hier op ingegaan.

Deelgebied 1 Den Haag Centraal - Rijswijk
Voor deelgebied 1 geldt dat er geen wijzigingen in de bestaande situatie worden aangebracht, enkel het aantal treinen neemt toe. Er zijn geen wijzigingen in snelheidsprofielen te verwachten.

Deelgebied 2 Rijswijk - Noordelijke tunnelmond
In de huidige situatie gaat het spoor ten noorden van 't Haantje vanuit Rijswijk richting Delft (km 67.600) over van 4 naar 2 sporen. De maximale snelheid van de treinen die vanuit Rijswijk over de buitenste sporen aan komen rijden (hoofdzakelijk sprinters) is op deze locatie daarom 80 km/uur. In de toekomstige situatie wordt het gehele traject viersporig en worden de wissels verwijderd. De snelheid van de treinen op de buitenste sporen zal hierdoor toenemen van 80 km/uur naar maximaal 140 km/uur.

Deelgebied 3 Zuidelijke tunnelmond - Delft Zuid
Uit de vorige paragraaf volgt dat nabij Delft Zuid de intercity's in de toekomstige situatie op spoor 1 en 3 gaan rijden. Dit zijn beide doorgaande sporen en de verwachte maximum snelheid van treinen over dit spoor bedraagt daarom 140 km/uur. Spoor 4 betreft het westelijke buitenste spoor, spoor 2 betreft het oostelijke binnenspoor. Indien de maatgevende trein over het westelijke buitenspoor rijdt (spoor 4) is de maximale snelheid 80 km/uur vanwege de aanwezigheid van de wissel ten zuiden van Delft Zuid in de plansituatie.

Deelgebied 4 Polder Noord - Kethel (tussen Delft Zuid en Schiedam Noord)
Het snelheidsprofiel van de sprinters wijzigt enigszins ten opzichte van de huidige situatie omdat de wissels ten zuiden van Delft Zuid waar de lijn in de toekomst van vier naar twee sporen overgaat de maximale snelheid beperken tot 80 km/uur. Voor de intercity's over de binnenste sporen blijft de snelheid gelijk ten opzichte van de referentiesituatie.

Deelgebied 5 Schiedam - Rotterdam
Voor deelgebied 5 is er een wijziging nabij Schiedam te verwachten. In de bocht ten noorden van Schiedam (km 79.25 500) neemt de toegestane snelheid op het spoortraject toe van 90 naar 120 km/uur. In de referentiesituatie is deze snelheidsovergang circa 500 m noordelijker in het tracé dan in de plansituatie. Er zijn echter langs het betreffende tracédeel geen woningen/gebouwen dicht op het spoor aanwezig. De wijziging resulteert daarom naar verwachting niet in mogelijk optredende hinder.

Voor de goederentrein geldt voor zowel de huidige situatie als de toekomstige situatie een maximale snelheid van 90 km/uur voor alle deelgebieden.

Civieltechnische kunstwerken
Er zijn 2 locaties waar substantiële civieltechnische werken worden verricht: de vervanging van overweg 't Haantje door een ongelijkvloerse kruising en de aanpassing van station Delft Zuid.

In de gemeente Rijswijk ligt de gelijkvloerse overweg 't Haantje. Deze overweg dient als gevolg van de viersporigheid vervangen te worden door een ongelijkvloerse kruising. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu, ProRail en de gemeente Rijswijk hebben gezamenlijk de meest geschikte locatie voor de ongelijkvloerse kruising onderzocht. Het zoekgebied voor die locatie ligt tussen de 0 en ongeveer 500 m ten noorden van de huidige locatie. Een tweede optie betreft de locatie bij 't Haantje. Deze tweede optie wordt meegenomen in het MER, maar niet als een volwaardige variant. Dit houdt in dat de effecten van de aanlegfase van deze variant worden onderzocht. De aanpassing van station Delft Zuid betreft ruwweg het verbreden van de perrons en het aanpassen van de trappen en/of liften. De oplossingen voor Delft Zuid en 't Haantje worden besproken in hoofdstuk 8.

4.4.1. Nieuwbouw

Op verschillende locaties in het studiegebied is sprake van (mogelijke) toekomstige bebouwing. plannen voor een nieuwbouwwijk naast het spoor in Rijswijk genaamd Rijswijk Buiten (ten noorden van 't Haantje).

In het geval van nieuwbouw nabij bestaand spoor is het van belang projectspecifiek onderzoek te doen ter voorkoming van trillingshinder. In een dergelijk onderzoek wordt gekeken naar het concrete ontwerp van de nieuwbouw en hoe de nieuwe bebouwing reageert op trillingen veroorzaakt door passerend treinverkeer over nabijgelegen spoor. Indien er mitigerende maatregelen getroffen dienen te worden, kan aanpassing van de bouwconstructie namelijk een effectieve maatregel betreffen. Initiatiefnemers van nieuwbouwlocaties nabij het spoor of nabij dan wel op de spoortunnel dienen daarom in het ontwerp rekening te houden met mogelijk optredende trillingen als gevolg van treinverkeer en indien nodig het juist dimensioneren van trillingsreducerende maatregelen.

Voor de concrete voorziene nieuwbouw op en nabij de spoortunnel in Delft zijn daarom reeds trillingsonderzoeken uitgevoerd en indien nodig maatregelen getroffen om hinder (in de plansituatie) te voorkomen. Dit rapport gaat daarom niet verder in op deze concrete voorziene nieuwbouw op en nabij de spoortunnel in Delft. Voor de voorziene nieuwbouwwijk Rijswijk Buiten nabij het spoor is nog geen concreet ontwerp van de nieuwbouw bekend waardoor vooralsnog de mogelijkheid tot een gebouwspecifieke trillingsprognose en de bijbehorende toetsing ontbreekt. De toekomstige nieuwbouwwijk Rijswijk Buiten is daarom buiten beschouwing gelaten in het trillingsonderzoek van het MER PHS Rijswijk - Delft Zuid.

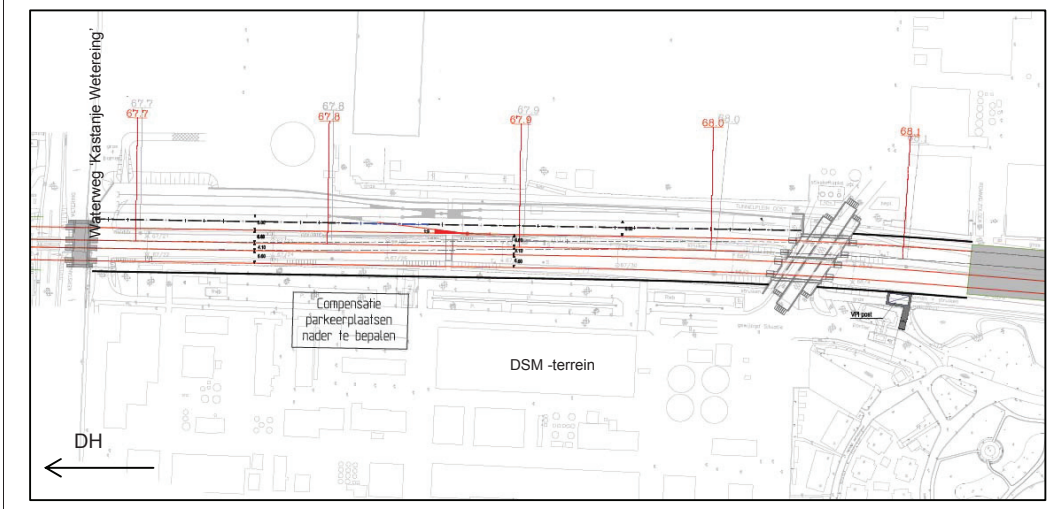
4.4.2. Varianten

Nabij het DSM-terrein dient het hoofdspoor in de plansituatie aan te sluiten op het DSM-raccordement. In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' wordt een tweetal varianten besproken voor deze aftakking waar in de milieueffectenstudie rekening mee gehouden dient te worden. Variant A betreft de aansluiting van het spoor op het DSM-raccordement waarbij de goederentrein vanuit Rotterdam direct uit de tunnel aftakt naar het raccordement (fi-

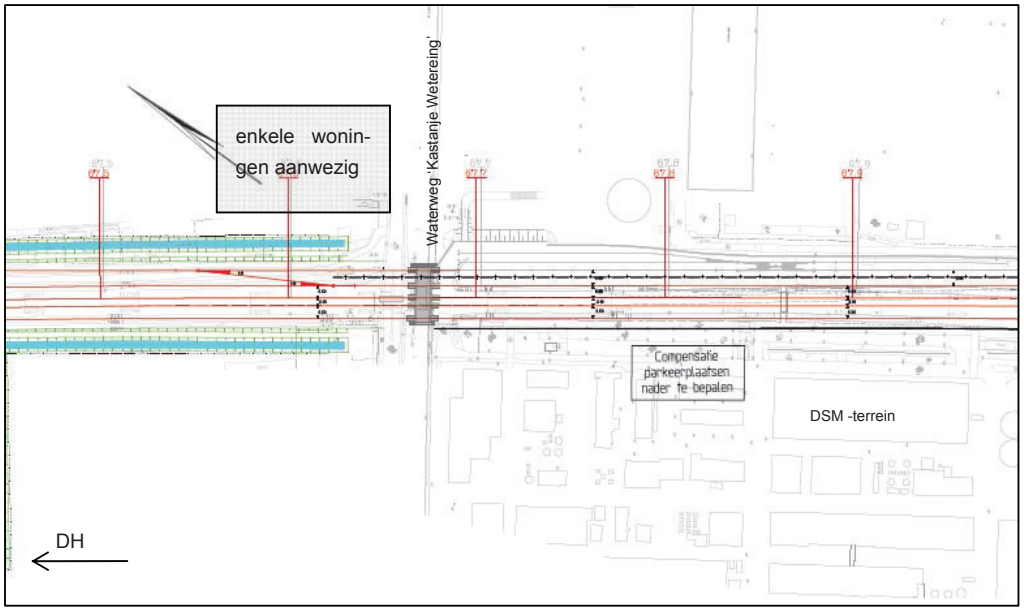
guur 4.4). In variant B vindt aan de noordzijde van ’t Haantje een aftakking op een zijspoor plaats.

Er dient hiervoor dus een extra zijspoor te worden gerealiseerd en de overgang over de waterweg wordt verbreedt met een extra spoor, zie figuur 4.5. Ter plaatse van de aftakking conform variant B zijn enkele woningen op beperkte afstand van het spoor aanwezig.

Figuur 4.3. Variant A



Figuur 4.4. Variant B



5. EFFECTBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op optredende trillingsniveaus in nabijgelegen bebouwing in het studiegebied in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie. Het studiegebied betreft hierbij het gehele tracé van Den Haag Centraal tot aan Rotterdam Centraal uitgezonderd de spoortunnel in Delft die nu gebouwd wordt. Om tot een uitspraak te komen van het effect van het in gebruik hebben van de vier sporen tussen Rijswijk en Delft Zuid en de beoogde treindienst is een predictie van trillingsniveaus gemaakt waarbij een stapsgewijze benadering is gehanteerd.

In de eerste stap is een globale prognose van trillingsniveaus gemaakt. De globale prognose is gebaseerd op een aantal trillingsmetingen in de huidige situatie:
- viertal kortdurende (halve dag) trillingsmetingen waarmee de afstandsdemping op verschillende locaties in het studiegebied is bepaald (dwarsraaimetingen);
- drietal langdurende (minimaal een week) trillingsmetingen waarmee referentietrillingsniveaus op circa 10 m afstand van het spoor zijn bepaald;
- trillingsmeting waarmee de invloed van wissels is bepaald.

De uitkomsten van de trillingsmetingen en daaropvolgend de globale prognose van trillingsniveaus voor de referentie- en plansituatie worden als eerste in dit hoofdstuk besproken.

In de tweede stap is voor een drietal kritiekenlocaties waar op basis van stap 1 overschrijdingen van de grenswaarden conform de Bts worden verwacht een verfijnde trillingsprognose gemaakt. Voor deze verfijnde prognose zijn trillingsmetingen aan het drietal woningen uitgevoerd waarmee de gebouwoverdracht op de drie locaties gebouwspecifiek is bepaald. Vervolgens is met de gemeten gebouwoverdrachten een verfijnde prognose van de trillingsniveaus gemaakt. In het tweede deel van dit hoofdstuk worden de resultaten van de tweede stap besproken.

Stap 1: Globale trillingsprognose studiegebied

5.1. Beschrijving meetmethode

5.1.1. Gebruikte meetapparatuur

Bij zowel de dwarsraaimetingen als de referentiemetingen is gebruik gemaakt van Profound Vibra+ meetsystemen. Deze systemen voeren trillingsmetingen uit conform de SBR-richtlijn, zodat uit het gemeten trillingsignaal direct de v_{max} waarde wordt bepaald. Het is echter ook mogelijk om tracés (het trillingsignaal zelf) met een sampledichtheid van 1.024 Hz op te slaan. Deze functie is gebruikt bij de dwarsraaimetingen.

5.1.2. Trillingsmetingen ter bepaling van afstandsdemping

Op een viertal locaties langs het spoor in het studiegebied zijn trillingsmetingen ter bepaling van de afstandsdemping (dwarsraaimetingen) uitgevoerd om de afname van trillingsniveau met afstand te bepalen. De locaties van de metingen zijn gekozen op basis van geologie, bereikbaarheid en een zo klein mogelijke kans op stoorbronnen. Het viertal gekozen locaties wordt gegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1. Locaties dwarsraaimeting

Locatie	kilometrering	datum meting
locatie 1 Agnetapark (Delft)	68.150	21 juni 2012
locatie 2 Voormalig terrein Delft Instruments	70.350	24 juli 2012
locatie 3 Kethel	77.250	25 juli 2012
locatie 4 Rijswijk	64.100	26 juli 2012

De locaties zijn zo gekozen dat er een zo representatief mogelijk beeld voor de deelgebieden wordt verkregen. Enkel in deelgebied 5 is geen dwarsraaimeting uitgevoerd. In deelgebied 5 loopt het spoor grotendeels over een viaduct of over een talud en is daarom minder maatgevend. Voor deelgebied 5 is een bovengrensbenadering gehanteerd door de meest ongunstige waarden gevonden voor locaties 1, 2 en 4 te hanteren voor deelgebied 5.

De opstelling van de dwarsraai is zo gekozen dat er op een zestal afstanden van het spoor, te weten 10, 20, 30, 40, 50 en 70 m, trillingen op maaiveld door toedoen van treinpassages worden gemeten. In figuur 5.1 wordt de dwarsraaiopstelling ter plaatse van Kethel weergegeven.

Figuur 5.1. Opstelling dwarsraaimeting Kethel

Over een periode van circa een halve dag zijn treinpassages gemeten. Hierbij is per opnemer steeds een trillingssignaal met een hoge sampledichtheid van ongeveer een half uur opgeslagen en dit vervolgens een aantal malen herhaald. Op deze wijze is voor elke afstand een vijftigtal treinpassages gemeten. Na afronding van de meting zijn de passages verwerkt. Hierbij zijn op basis van de meting op 10 m afstand van het spoor tussen de 30 en 40 treinpassages geselecteerd die de hoogste trillingssignalen genereerden. Vervolgens is per passage het bijbehorende signaal op de verschillende afstanden van het spoor in de meetdata opgezocht. Zodoende is per treinpassage het bijbehorende trillingssignaal op verschillende afstanden van het spoor beschikbaar. De meeste treinpassages duren hierbij gemiddeld tussen de 10 en 20 seconden.

5.1.3. Trillingsmetingen ter bepaling van het referentieniveau

Op een drietal locaties zijn referentiemetingen uitgevoerd om een representatief beeld te krijgen van optredende trillingsniveaus op de gekozen referentieafstand van 10 m.

Gezien de bodemopbouw is voor het volgende drietal type bodemprofielen gekozen om de referentieniveaus te bepalen:
- Delftse bodemopbouw (deelgebied 2 en 3);
- polderopbouw nabij Kethel (deelgebied 4);
- Rijswijkse bodemopbouw (deelgebied 1).

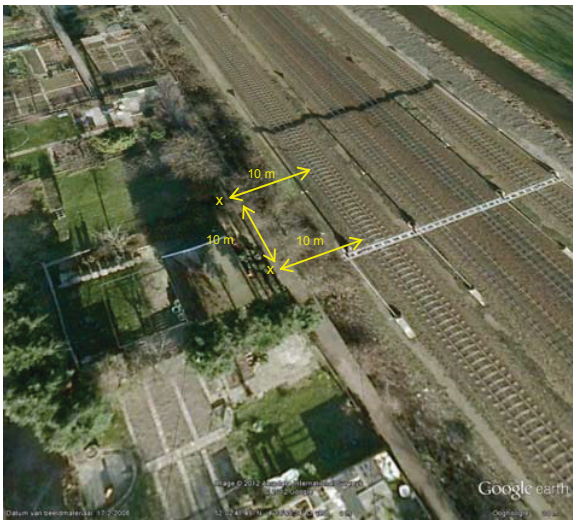
De locaties zijn gekozen in de dichte nabijheid van de locaties van de dwarsraaimetingen. Hierbij is gezien de beperkte variatie in Delftse bodemopbouw voor de deelgebieden 2 en 3 op 1 locatie gemeten. In tabel 5.2 worden de locaties gegeven waar de referentiemetingen zijn uitgevoerd. Volgens de bijlage behorende bij artikel 1 van de Bts dient voor de meetduur waar geen informatie voorhanden is een aaneengesloten periode van minimaal 1 week te worden aangehouden. Om deze reden is driemaal minimaal een week lang metingen uitgevoerd.

Tabel 5.2. Adressen referentiemetingen

adres	locatie	meetperiode
Kruisvaarderspark	Rijswijk	14/08/2012 09.30 - 22/08/2012 18.30
Vulcanusweg 259	Delft	30/07/2012 09.22 - 06/08/2012 09.36
Buitenkerklaan 36/38	Kethel	06/08/2012 13.04 - 13/08/2012 18.26

De metingen zijn als volgt uitgevoerd. Op een afstand van circa 10 m van het spoor is een tweetal opnemers geplaatst. De opnemers zijn steeds een tiental meter parallel aan het spoor uit elkaar gezet. Er is gekozen om twee meters in te zetten om mogelijke zeer lokale effecten (als puinresten in de grond of iets dergelijks) uit te kunnen middelen. In figuur 5.2 wordt de opstelling voor de locatie Rijswijk weergegeven.

Figuur 5.2. Meetopstelling referentiemeting Rijswijk



Naast dat er 2 trillingsopnemers zijn geplaatst, is er ook een camera geplaatst waarmee de treinpassages gedurende de hele week op beeld zijn vastgelegd. Op figuur 5.3 wordt de cameraopstelling ter plaatse van de Vulcanusweg getoond. De camera is geplaatst op de locaties Vulcanusweg en Kethel. Ter plaatse van Rijswijk is de camera vanwege vandalismegevoeligheid uiteindelijk niet geplaatst. Aangezien op deze locatie (deelgebied 1) geen wijzigingen in spoor-layout zijn voorzien en de gegevens van alle treinbewegingen op het spoor nabij Rijswijk via het Prestatie Analyse Bureau van ProRail konden worden opgevraagd, werden camerabeelden voor deze locatie minder noodzakelijk geacht.

Figuur 5.3. Camera op het dak ter plaatse van Vulcanusweg 259

5.1.4. Trillingsmetingen ter bepaling van invloed wissel

In de plansituatie zijn op enkele locaties wissels voorzien. Wissels leiden lokaal tot verhoging van trillingsniveaus. Om de verwachte toename in trillingsniveau te bepalen is een trillingsmeting uitgevoerd bij een bestaand wissel. Hierbij is op verschillende afstanden van de wissel de afname in trillingsniveau ten opzichte van een referentiepunt vlak naast de wissel bepaald. Bij de keuze van locatie van het te meten wissel is rekening gehouden met het belang van een zo representatief mogelijke ondergrond. Op basis van de resultaten is de mate van verhoging van trillingsniveaus nabij de wissel bepaald.

5.2. Analyse meetresultaten

5.2.1. Bepaling afstandsdemping

Bij bepaling van de relatie tussen de afstand van het spoor en de afname van het trillingsniveau is de volgende aanpak gehanteerd:

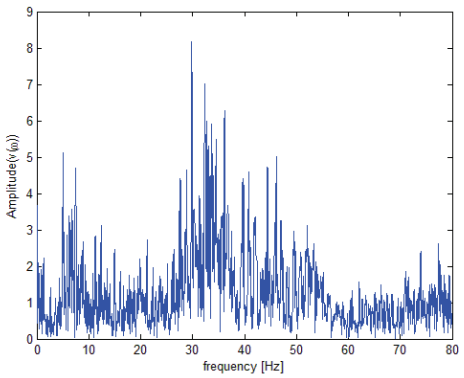
1. per gemeten treinpassage is het trillingssignaal voor de verschillende afstanden verwerkt, zodat per tertsband[1] de inhoud is verkregen;
2. de signalen op verschillende afstanden van het spoor zijn per passage per tertsband met elkaar vergeleken;
3. de afname van trillingssterkte is zodoende voor elke treinpassage per tertsband per afstand bepaald. De afname is bepaald op logaritmische schaal ten opzichte van het tien meter punt;

[1] een tertsband is een bepaalde bandbreedte in het frequentiespectrum en betreft een derde octaafband

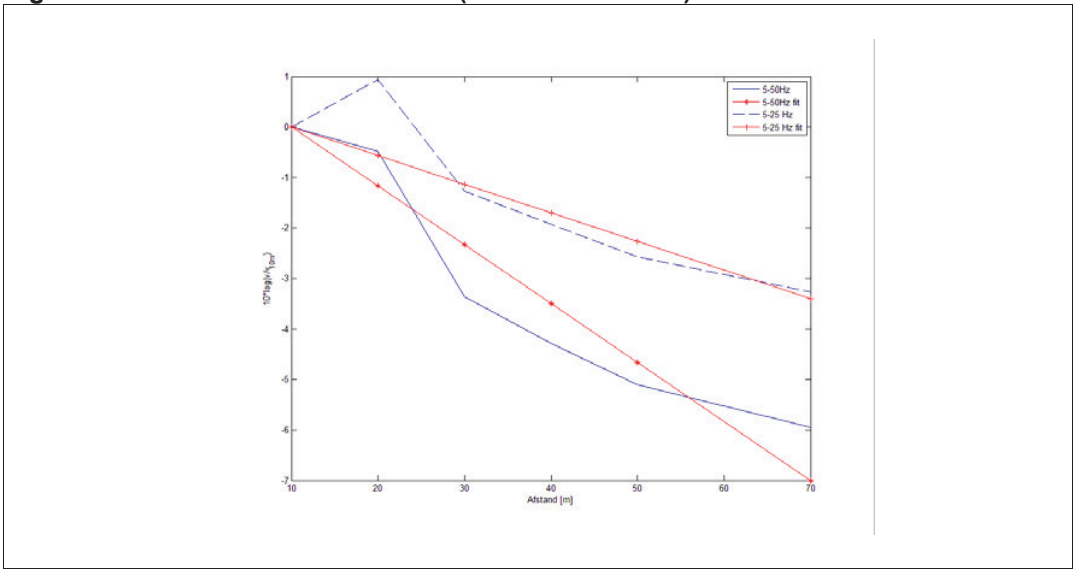
4. per tertsband is een gemiddelde afname over afstand over de treinpassages berekend;
5. vervolgens is per tertsband gekeken of hoe de verdeling van gevonden afstandsdemping er uitziet en zijn per tertsband uitschieters uit de dataset verwijderd;
6. een gemiddelde demping is bepaald door de tertsbanden 5 - 50 Hz te middelen;
7. vervolgens is de gemiddelde afname uitgezet tegen de afstand en door een rechte lijn benaderd middels de kleinste kwadraten methode. Op deze wijze is een gemiddelde afname van de trilling met afstand gevonden.

Ad 6.
De tertsbanden 5 tot 50 Hz zijn gekozen op basis van een aantal treinsignalen die op frequentie-inhoud zijn bekeken op verschillende afstanden van het spoor. In figuur 5.4 wordt een voorbeeld signaal ter plaatse van locatie 2 (Delft Instruments) getoond. Op 10 meter afstand van het spoor zijn voor een groot aantal passages veel frequenties tussen de 20 en 50 Hz aanwezig. Echter op grotere afstand van het spoor zijn met name lagere frequenties aanwezig (5 -25 Hz). De afstandsdemping is daarom bepaald voor 5 - 50 Hz, maar ook voor 5-25 Hz. In de prognoses is uitgegaan van de afstandsdemping 5 - 50 Hz.

Figuur 5.4. Frequentie-inhoud treinpassage 10 m afstand locatie 2 Delft



Figuur 5.5. Afstandsrelatie locatie 2 (Delft Instruments)



In figuur 5.6 wordt de afstandsrelatie weergegeven zoals deze uiteindelijk voor de dwarsraailocatie 2 (Delft Instruments) is afgeleid. In bijlage II wordt voor elke gemeten dwarsraailocatie de afstandsrelatie weergegeven. Getalsmatig wordt de demping met afstand op de verschillende dwarsraailocaties weergegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3. Afname trillingsniveau in dB per meter voor viertal locaties

	gemiddelde over frequentiebanden 5 - 50 Hz	gemiddelde over frequentiebanden 5 - 25 Hz
locatie 1 Agnetapark	0.083	0.028
locatie 2 Delft Instruments	0.117	0.057
locatie 3 Kethel	0.257	0.207
locatie 4 Rijswijk	0.136	0.097

Uit tabel 5.3 volgt dat de demping met afstand in het poldergebied (nabij Kethel) verreweg het grootst is. Aangezien van het poldergebied de bovenste circa 20 m uit klei bestaat, is dit in lijn met verwachting. De afstanddemping ter plaatse van Rijswijk blijkt ten opzichte van de 2 locaties in Delft enigszins hoger te liggen. Uit de tabel blijkt ook dat lage frequenties minder snel uitdempen.

5.2.2. Bepaling referentietrillingsniveaus

Om tot een prognose van trillingsniveaus in de gebouwen langs het spoor te komen die variëren in afstand tot het spoor, is als onderdeel het trillingsniveau op een referentieafstand van 10 m van het spoor bepaald middels trillingsmetingen. De trillingsmetingen zijn uitgevoerd conform de gewijzigde Bts. Onderscheid is gemaakt in de bepaling van v_{max} op de referentieafstand en de bepaling van v_{per} op de referentieafstand. De Bts verwijst voor de bepaling van v_{per} naar de SBR-richtlijn deel B. Voor de bepaling van v_{max} is de procedure gevolgd welke in hoofdstuk 3 nader wordt uitgelegd.

Voor de 3 referentielocaties waar de referentiemetingen zijn uitgevoerd is uiteindelijk voor een tweetal opnemers een dataset verkregen waarin de maximale $v_{eff,max}$ per 30-secondeinterval is opgeslagen. Deze datasets zijn nader geanalyseerd. Pieken die niet veroorzaakt zijn door treinsignalen zijn er uit gehaald.

Dat bepaalde pieken niet door treinen zijn veroorzaakt is te achterhalen door de trillingsignalen zelf te bekijken en de bijbehorende camerabeelden te analyseren. Zo is bijvoorbeeld tweemaal een piek van een halve seconden uit de dataset van Kethel verwijderd, dit bleek duidelijk niet om treinpassages te gaan.

Om tot representatieve maatgevende trillingsniveaus op de referentielocaties (10 m afstand) te komen zijn de waarden van beide meetpunten per referentielocatie gemiddeld. Op deze wijze wordt getracht de mogelijke invloed van zeer lokale effecten (zoals puinresten in de bodem) te beperken. De uiteindelijk maatgevende waarden van v_{per} en v_{max} over de gehele week worden per dagdeel weergegeven in tabel 5.4. In bijlage IV en V worden de waarden van v_{max} en v_{per} voor de gehele week uitgewerkt. De dagperiode blijkt voor de waarde van v_{per} maatgevend.

Tabel 5.4. Maatgevende waarden v_{per} en $v_{max,}$op 10 m afstand verticale richting[1]

	v_{per}			Vmax Bts
	dag	avond	nacht	
locatie 1 Delft (Vulcanusweg)	0.079	0.069	0.049	1,33
locatie 2 Kethel	0.197	0.176	0.106	2.18
locatie 3 Rijswijk	0.093	0.084	0.056	0.71

De hoogste niveaus worden gevonden voor locatie 2 Kethel. Daar waar de grootste demping wordt gevonden vanwege de slappe bodem (klei), worden ook de hoogste trillingsniveaus in het referentiepunt gevonden. Voor locatie 3 Rijswijk worden voor het gemiddelde trillingsniveau (v_{per}) enigszins hogere waarden gevonden dan voor locatie 1 Delft. Voor de maximale van Vmax Bts geldt het omgekeerde.

Uit de camerabeelden is afgeleid welk type trein resulteerde in het maatgevende trillingsniveaus op locatie 1 Delft. In tabel 6.5 wordt het type trein gepresenteerd.

Tabel 5.5. Treintype maatgevende treinpassages Vmax Bts Vulcanusweg

locatie	type trein maatgevende waarden Vmax Bts
Vulcanusweg Delft	Goederentrein

5.2.3. Bepaling invloed wissel

Om de toename door toedoen van een wissel in kaart te brengen is ter plaatse van een wissel op verschillende afstanden het trillingsniveau $v_{eff,max}$ gemeten tijdens verschillende treinpassages. De meting is uiteindelijk uitgevoerd nabij een wissel in Nootdorp op de lijn Den Haag - Utrecht. In eerste instantie was de meting voorzien nabij Rijswijk, waar het spoor van vier naar twee overgaat. Uit een visuele inspectie bleek echter dat de wissel in Rijswijk op een duiker ligt waardoor geen representatief beeld van de invloed van een wissel op de optredende trillingsniveaus verkregen kan worden. Er is daarom uitgeweken naar een wissel in de lijn Den Haag - Utrecht ter plaatse van Nootdorp. De grondopbouw nabij het wissel (zie bijlage I) verschilt enigszins met de opbouw langs het spoortraject van het studiegebied, maar geeft een voldoende representatief beeld. De toename in trillingsniveau door de aanwezigheid van de wissel is uiteindelijk bepaald op 50 %. Het invloedsgebied (gebied rondom wissel waarin toename van trillingsniveau als gevolg van het wissel te verwachten is) is bepaald op 50 m. Er is gerekend met een lineaire afname.

[1] omdat in de prognose met een opslingeringsfactor wordt gerekend worden de trillingsniveaus in verticale richting (z-richting) gehanteerd. Bij woningen geldt dat opslingering van vloeren in de z-richting plaatsvindt.

5.3. Globale prognose en toetsing gemiddelde trillingsniveaus (v_{per})

Op basis van de meetresultaten kan voor de verschillende deelgebieden een prognose worden gemaakt van de gemiddelde trillingsniveaus v_{per} voor zowel de referentiesituatie als de plansituatie. Hiertoe dienen de afstanden van de bebouwing tot aan het spoor in de referentiesituatie en de plansituatie bekend te zijn. Middels een Geografisch Informatie Systeem is voor beide situaties in de prognose het gehele studiegebied onderzocht op bebouwing dicht op het spoor. Hierbij zijn contourafstanden bepaald voor zowel de grenswaarde van v_{per} voor woningen als voor kantoorgebouwen. Voor de gemiddelde gebouwoverdracht is in eerste instantie een factor 2 aangehouden (zie tabel 2.3). Per deelgebied wordt ingegaan de prognose van v_{per}. De toename in v_{per} is bepaald op basis van de toename in treinaantallen per type trein en het aandeel per type trein in de totale waarde van v_{per}.

5.3.1. Toename v_{per} plansituatie

Locatie 1 Vulcanusweg Delft Zuid
Om te bepalen wat de invloed van de verschillende type treinen op de maximaal gemeten waarde van v_{per} op de referentielocatie is, is voor de Vulcanusweg middels de camerametingen het maatgevende dagdeel onderzocht. Voor alle 30 seconde-intervallen waarin een $v_{eff,max}$ optrad die groter is dan 0,1, is de bijbehorende treinpassage bekeken. Voor een aantal passages bleek het lastig te bepalen welk treintype de oorzaak was, dit kwam bijvoorbeeld doordat tegelijkertijd uit beide richtingen treinen passeerden. Daar waar geen eenduidige oorzaak van het optredende trillingsniveau gevonden kon worden is de passage buiten de beschouwing gelaten.

Voor de maatgevende periode (uit tabel 5.4 blijkt dat dit de dagperiode is) zijn uiteindelijk 86 sprinters, 192 intercity's, en 4 goederentreinpassages geïdentificeerd die in een $v_{eff,max,30,i}$ boven de 0,1 resulteerde. In tabel 5.6 wordt de som van de kwadraten gegeven zodat procentueel duidelijk wordt wat de bijdrage van de verschillende type treinen is.

Tabel 5.6. Aandeel treintypes in bepaling v_{per} maatgevend dagdeel Vulcanusweg

treintype	SPR	IC	GD
som $v_{max,30,i}^2$	1.38	5.29	1.42
percentage van totaal	17 %	65 %	18 %

De totale waarde van v_{per} wordt berekend volgens:

$$v_{per,meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \bullet \sum_{i=1}^{n} v^2_{eff,\max,30,i}\right]} = \sqrt{\frac{1}{1440}\left[1.38 + 5.29 + 1.42\right]} = 0.075$$

Deze waarde ligt iets lager dan de waarde in tabel 5.4 omdat een aantal passages niet is meegenomen. Uit tabel 5.3 volgt dat in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie het dat aantal sprinters per uur per richting toeneemt van 4 naar 6, oftewel een toename van 50 %. Het aantal intercity's (inclusief HSA) neemt toe van 7 naar 8 per uur per richting, oftewel een toename van 14 %. Welk treintype welk aandeel heeft in de toegenomen waarde van v_{per} in de situatie dat de treinsnelheden niet wijzigen wordt weergegeven in tabel 5.7.

Tabel 5.7. Bepaling toename v_{per} maatgevend dagdeel Vulcanusweg

treintype	SPR	IC	GD
som $v_{max,30,i}^2$ (PHS)	1.5x1.38=2.07	1.14x5.29=6.03	1.42
percentage bijdrage (PHS)	22 %	63 %	15 %

De toegenomen totale waarde van v_{per} bedraagt:

$$v_{per,meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \bullet \sum_{i=1}^{n} v^2{}_{eff,\max,30,i}\right]} = \sqrt{\frac{1}{1440}\left[2.07 + 6.03 + 1.42\right]} = 0.081$$

Hieruit blijkt dat voor de referentielocatie Vulcanusweg de toename in treinpassages in de plansituatie slechts tot een toename van 8,4 % van v_{per} van het maatgevende dagdeel leidt ten opzichte van de referentiesituatie.

Locatie 2 Kethel
Voor de referentielocatie nabij Kethel is op gelijke wijze de toename in v_{per} berekend. Voor de dagperiode zijn uiteindelijk 102 sprinters, 201 intercity's, en 4 goederentreinpassages geïdentificeerd die in een $v_{eff,max,30,i}$ boven de 0,1 resulteerde. Dit aantal ligt enigszins hoger dan de meting op de locatie 1 Delft Zuid. Dit komt omdat de trillingsniveaus nabij Kethel hoger liggen dan op locatie 1 Delft Zuid en daardoor met name de sprinters nabij Kethel vaker worden meegeteld in de bepaling van v_{per}.

Tabel 5.8. Bepaling toename v_{per} maatgevend dagdeel Kethel

treintype	SPR	IC	GD
som $v_{max,30,i}^2$	11.4	40.2	1.26[1]
percentage bijdrage	21.6 %	76 %	2,4 %
som $v_{max,30,i}^2$ (PHS)	1.5x11.4=17.1	1.14x40.2=45.8	1.26
percentage bijdrage (PHS)	26,6 %	71.4 %	2,0 %

De totale v_{per} voor het maatgevende dagdeel neemt door de toename in treinverkeer in de plansituatie met 10 % toe.

Locatie 3 Rijswijk
Van de referentiemetingen in Rijswijk zijn geen videobeelden van treinpassages beschikbaar. Via het Prestatie Analyse Bureau van ProRail zijn wel de gegevens beschikbaar welke treinen op welk tijdstip het spoor nabij Rijswijk passeerden. Hieruit is afgeleid welk type trein welk maatgevende trillingssignaal (v_{max}) heeft veroorzaakt.

Voor de bepaling van toename in v_{per} wordt voor de locatie Rijswijk een toename van 10 % in rekening gebracht. Dit komt overeen met de toename die voor Kethel is berekend. De trillingsniveaus door toedoen van de sprinter op de meetlocatie in Kethel zijn het hoogst van de drie referentielocaties vanwege de slappe bodem en relatief hoge snelheid van de treinen. Aangezien van de verschillende treintypes het aantal sprinterpassages in de plansituatie het meeste toeneemt, levert de locatie Kethel de grootste toename in v_{per} op. Voor de locatie Rijswijk zal deze toename (net als voor Delft) minder zijn. Door de toename ter plaatse van Kethel ook voor Rijswijk te hanteren wordt een bovengrens gehanteerd.

Deelgebied 1 Den Haag Centraal - Rijswijk
Op basis van de voorgaande resultaten is bepaald wat de maximale afstand van bebouwing tot aan het spoor bedraagt waarbinnen de waarde van v_{per} in de nabijgelegen bebouwing de grenswaarde van de Bts overschrijdt.

---

[1] Op te merken valt dat v_{max} op de locatie Kethel als gevolg van de goederentrein kleiner is dan op de locatie Vulcanusweg. De oorzaak hiervan is dat op de locatie Kethel het referentiepunt is gekozen aan de oostzijde van het spoor. De goederentrein rijdende over het westelijke spoor blijkt te resulteren in de hoogste trillingsniveaus. Dit is voor de bepaling van toename in v_{per} ter plaatse van Kethel iets ongunstig.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in woningen en kantoorgebouwen. De afstanden worden gegeven in tabel 5.9. De maximale afstand in de referentiesituatie van woningen dient 23,5 m te bedragen. Voor kantoorgebouwen geldt een afstand van 14,7 m. In de plansituatie zijn deze afstanden ongeveer twee meter groter, namelijk 25,5 en 16,7 m.

Tabel 5.9. Toetsing v_{per} deelgebied 1

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$ [1]	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning	0.1	0.093	-0.136	29.8
kantoor	0.15	0.093	-0.136	16.9
woning (PHS)	0.1	0.102	-0.136	32.8
kantoor (PHS)	0.15	0.102	-0.136	19.8

In bijlage VI worden voor deelgebied 1 de contourlijnen gegeven langs het spoor voor de plansituatie. Op de kaart is een aantal gebouwen als afwijkende situatie ingedeeld. Voor deze gebouwen geldt dat de huidige prognose van v_{per} een dermate overschatting is dat de situatie niet representatief is. Dit geldt met name voor de panden nabij de stations waarbij de treinen halteren en de waarde van v_{per} beduidend lager is. Uit de kaart blijkt dat er 1 pand binnen de contourgrenzen valt. Dit betreft het pand (woning) aan de Van Vredenburchweg 158.

Deelgebied 2 Delft noordelijk van tunnel

Voor deelgebied 2 zijn de maximale afstanden gedefinieerd in tabel 5.10. De afstanden blijken vrijwel gelijk te zijn aan deelgebied 1. In deelgebied 2 liggen geen gebouwen met de functie wonen of kantoor binnen de contouren voor zowel de referentiesituatie als in de plansituatie.

Tabel 5.10. Toetsing v_{per} deelgebied 2

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning	0.1	0.079	-0.083	33.9
kantoor	0.15	0.079	-0.083	12.7
woning (PHS)	0.1	0.086	-0.083	38.4
kantoor (PHS)	0.15	0.086	-0.083	17.2

Ter plaatse van ‘t Haantje komt in variant B een extra spoor aan de oostzijde te liggen. Gezien de zeer incidentele goederentreinen die hier op aftakken is dit buiten de toetsing van v_{per} gehouden. In paragraaf 5.5 wordt nader ingegaan op de maximaal ter verwachten trillingsniveaus voor de varianten A en B. Voor het DSM terrein geldt dat er geen kantoorruimten dicht op het spoor aanwezig zijn, op het Flemming house na wat op 30 m afstand van het spoor ligt in de plansituatie en daarmee buiten de contourgrenzen.

Deelgebied 3 Delft zuidelijk van tunnel

Voor deelgebied 3 worden de maximale afstanden gevonden zoals weergegeven in tabel 5.11. Toetsing van v_{per} is enkel uitgevoerd voor kantoorgebouwen en woningen. In deelgebied 3 is ook een aantal fabriekshallen dicht op het spoor aanwezig. Deze zijn buiten de beschouwing gelaten[2].

---

[1] Dit is het maatgevende niveau op de referentieafstand van 10 m. Om tot minimaal benodigde afstanden te komen moet nog met de gebouwfactor (zie tabel 2.3) vermenigvuldigd worden.

[2] Fabriekshallen zijn buiten beschouwing gelaten omdat die niet vallen onder de drie door de Bts genoemde categorieën. In fabriekshallen vindt vaak veel bedrijvigheid plaats met interne trillingsbronnen. Enkel in geval van trillings-

Tabel 5.11. Toetsing v_{per} deelgebied 3

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning	0.1	0.079	-0.117	27.0
kantoor	0.15	0.079	-0.117	11.9
woning (PHS)	0.1	0.086	-0.117	30.1
kantoor (PHS)	0.15	0.086	-0.117	15.1

In bijlage VI wordt voor deelgebied 3 de contouren gepresenteerd. Geen van de gebouwen blijkt binnen de contouren te vallen voor zowel de referentie- als de plansituatie.

Deelgebied 4 Kethel

Voor deelgebied 4 worden de berekende maximale afstanden gegeven in tabel 5.12. De polder blijkt maatgevend als het gaat om maximale afstanden. De afstanden blijken meer dan 10 m groter te zijn dan voor de overige deelgebieden. De oorzaak hiervan is de zeer slappe kleiige ondergrond in de polder.

Tabel 5.12. Toetsing v_{per} deelgebied 4

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning	0.1	0.197	-0.257	33.2
kantoor	0.15	0.197	-0.257	26.3
woning (PHS)	0.1	0.220	-0.257	35.0
kantoor (PHS)	0.15	0.220	-0.257	28.2

In bijlage VI wordt de kaart van deelgebied 4 weergegeven met de bijbehorende contouraf-standen. Er is een tiental woningen dat binnen deze zone valt. De adressen worden weer-gegeven in tabel 5.13.

Tabel 5.13. Woningen binnen de maximale afstand locatie 4

adres	afstand tot spoor (m)
Buitenkerklaan 30	33
Buitenkerklaan 32	29
Buitenkerklaan 34	25
Buitenkerklaan 38	3
Buitenkerklaan 40	3
Kerkweg 96	25
Kerkweg 100	17
Groeneweg 2	12
Groeneweg 4	13
Groeneweg 6[1]	22

Voor deze adressen geldt dat de bovengrensbenadering waarin uitgegaan wordt dat elke treinpassage leidt tot een opslingering in de woning met een factor drie een overschrijding van de grenswaarden conform de Bts oplevert. Deze gebouwen worden is stap 2 nader beschouwd. De adressen Buitenkerklaan 38 en 40 liggen zeer dicht op het spoor. De twee

gevoelige apparatuur is een toetsing nodig. In paragraaf 3.3.5 wordt hier voor de deelgebieden 2 en 3 op in ge-gaan.

[1] Groeneweg 4 en 6 betreft een twee-onder-één-kapwoning, waarbij nr.4 aan de spoorzijde is gelegen.

adressen samen betreffen een voormalig spoorwachtershuisje waar een separate meting is uitgevoerd (zie paragraaf 5.4).

Deelgebied 5 Schiedam - Rotterdam
Voor deelgebied 5 volgen de maximale afstanden conform tabel 5.14. In deelgebied 5 is geen dwarsraaimeting en referentiemeting uitgevoerd. Voor dit deelgebied zijn de meest maatgevende waarden van de 3 deelgebieden 1, 2, en 3 gehanteerd. Dit levert gezien de aanwezigheid van een talud of viaduct waarover het spoor loopt in deelgebied 5, een bovengrensbenadering op.

Tabel 5.14. Toetsing v_{per} deelgebied 5

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning	0.1	0.093	-0.136	29.8
kantoor	0.15	0.093	-0.136	16.9
woning (PHS)	0.1	0.102	-0.136	32.8
kantoor (PHS)	0.15	0.102	-0.136	19.8

Uit de contourkaarten in bijlage VI volgt voor een vijftal kantoorgebouwen aan de Schuttevaerweg een overschrijding van de grenswaarden voor kantoorgebouwen. De overschrijdingen zijn echter beperkt en op deze locatie bevindt het spoor zich op een viaduct, wat over het algemeen gunstig werkt op resulterende trillingsniveaus op maaiveld. De kantoorgebouwen betreffen ook relatief nieuwe kantoorgebouwen waarvoor niet een gemiddelde gebouwfactor van 2, maar van 1,5 conform tabel 2.3 mag worden aangehouden. Voor een gemiddelde gebouwfactor van 1,5 volgen de afstanden gegeven in tabel 5.15.

Tabel 5.15. Toetsing v_{per} deelgebied 5 kantoorgebouwen (overdrachtsfactor =1,5)

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	afname dB/meter	maximale afstand (m)
kantoor	0.15	0.093	-0.136	7.7
kantoor (PHS)	0.15	0.102	-0.136	10.6

De minimale afstand van de kantoorgebouwen aan de Schuttevaerweg tot aan de buitenkant van het spoor bedraagt 10 m. Dit betekent dat de kantoorgebouwen op de grens van de contour liggen indien een gemiddelde gebouwfactor van 1,5 wordt gehanteerd. In overweging nemende de gunstige werking van het viaduct (die niet is meegenomen in de berekening) is er geen overschrijding van v_{per} te verwachten voor de kantoorgebouwen.

Gemiddelde trillingsniveaus huidige situatie
Bij de toetsing van gemiddelde trillingsniveaus is de referentiesituatie vergeleken met de plansituatie. De huidige situatie is niet besproken. Echter, de huidige situatie en de referentiesituatie verschillen wat betreft treinverkeer nauwelijks van elkaar (zie tabel 4.1 en tabel 4.2). Enkel het incidentele goederenverkeer laat een beperkt verschil in aantallen zien. Dit kleine verschil resulteert uiteindelijk in een zeer beperkt verschil in gemiddeld trillingsniveau (circa 1 á 2 procent). De referentiesituatie geeft daarom wat betreft gemiddelde trillingsniveaus ook een goede weergave van de huidige situatie.

5.4. Globale prognose en toetsing maximale trillingsniveaus (v_{max})

5.4.1. Deelgebieden 1, 4 en 5

Voor de deelgebieden 1,4 en 5 is geen toename in Vmax te verwachten. Hierdoor wordt aan de Bts voldaan mits aangetoond is dat de bovenste grenswaarde niet wordt overschreden. Uit de verwerking van de referentiemetingen volgens de Bts 2014 volgt dat voor de referentiemeting in Rijswijk een Vmax Bts wordt gevonden die 0,71 bedraagt. Zie bijlage V voor nadere uitwerking. Dit ligt ver onder de bovenste grenswaarde.Hierdoor bestaat de verwachting dat in deelgebied 1 er geen overschrijding van de bovenste grenswaarde wordt verwacht in woningen langs het spoor, omdat er in dit deelgebied geen woningen op minder dan 10 m afstand van het spoor staan. De referentiemeting in Kethel laat een veel hoger niveau zien. Op deze locatie is echter een aanvullende meting uitgevoerd (zie bijlage XVIII), waaruit blijkt dat in de woningen aan de Buitenkerklaan 38 en 40 een maximaal trillingsniveau in de woning wordt gevonden van 2,02. Aangezien de woningen aan de Buitenkerklaan 38 en 40 verreweg maatgevend zijn voor alle woningen in Kethel blijkt hieruit dat er geen overschrijding van de bovenste grenswaarde te verwachten is voor alle woningen in Kethel.

Tabel 5.16. Vmax Bts op 10 m afstand verticale richting[1]

	Vmax Bts
locatie 2 Kethel (maaiveld)	2.18
locatie 3 Rijswijk (maaiveld)	0.71
aanvullende meting in woning Kethel	2.02

Uit de toetsing op Vmax volgt hiermee dat de woningen langs het traject Den Haag Centraal - Delft Noord en Delft Zuid- Rotterdam Centraal voldoen aan de Bts.

5.4.2. Deelgebieden 2 en 3

De toetsing van v_{max} wordt conform tabel 2.1 uitgevoerd voor deelgebieden 2 en 3. Als eerste wordt ingegaan op deelgebied 2, vervolgens op deelgebied 3. Voor de maatgevende referentieniveaus wordt voor beide gebieden de referentiemeting nabij de Vulcanusweg (locatie 1) aangehouden.

Voor deelgebied 2 en 3 wordt het spoor aangepast van twee naar vier sporen. Dit resulteert in enkele wijzigingen:
- de afstand tussen bebouwing en spoor neemt af;
- op enkele locaties worden wissels geplaatst (zie paragraaf 4.4);
- maximale snelheid ter plaatse van wissels is beperkt.

Prognose v_{max}
Om tot een prognose van maatgevende optredende trillingsniveaus te komen (v_{max}) is de statistische bewerking conform [lit. 13.] uitgevoerd. Uit de verwerking volgt een gemiddelde waarde van Vmax Bts van 1,33[2]. De meest maatgevende treinpassages blijken goederentreinen te betreffen. Voor goederentreinen geldt dat de maximale voor zowel de referentie als de plansituatie 90 km/h betreft. Dit geldt voor de doorgaande sporen.

---

[1] Omdat in de prognose met een opslingeringsfactor wordt gerekend worden de trillingsniveaus in verticale richting (z-richting) gehanteerd. Bij woningen geldt dat opslingering van vloeren in de z-richting plaatsvindt.

[2] Gemiddelde van de statistisch bepaalde maximumwaarde Vmax Bts van de noordelijke en zuidelijke opnemer, zie bijlage V.

Echter, ter plaatse van Delft Zuid wordt een worstcasescenario gehanteerd (zie paragraaf 4.4.1) waarin goederentreinen ook over het meest westelijke spoor rijden. Dit is niet het doorgaande spoor en het westelijke spoor takt ten zuiden van station Delft Zuid aan op het doorgaande spoor. Voor dit westelijke spoor geldt vanwege het wissel een maximale snelheid van 80 km/h. De invloed van deze wijziging in snelheid is bepaald op basis van een snelheidsrelatie welke in bijlage VII wordt besproken. De snelheid van de verschillende treinpassages tijdens de referentiemeting is hierbij onderzocht doormiddel van camerabeelden.

Op basis van de gevonden snelheidsrelatie is het 10-meter niveau Vmax Bts van 1,33 aangepast voor 80 km/h. In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven. Op te merken valt dat er plaatse van het wissel lokaal een toename te verwachten is vanwege het wissel. Zowel de snelheidsaanpassing als de invloed van het wissel zijn meegenomen in de prognose.

Tabel 5.17. Aangepaste referentieniveaus aan maximale snelheid Vulcanusweg

locatie	**V_{max}**	
type trein	GD	GD
snelheid	80 km/uur	90 km/uur
maximale $v_{eff,max}$	1.16	1.33

Prognose deelgebied 2 Delft noordelijk van tunnel

In deelgebied 2 staat een aantal gebouwen op beperkte afstand van het spoor. In tabel 5.18 worden de adressen van de gebouwen, de huidige afstand en de toekomstige afstand (plansituatie) weergegeven. De afstanden zijn bepaald met behulp van een Geografisch Informatie Systeem (arcGis).

Tabel 5.18. Gebouwen nabij spoor deelgebied 2 (zonder aftakking)

adres	**afstand ref (m)**	**afstand plan (m)**	**verschil afstand (m)**
Haantje 20	73,7	67,1	6,6
Haantje 18	63,5	56,9	6,6
Haantje 17b	83,0	76,4	6,6
Haantje 17c	47,6	41,0	6,6
Haantje 16	68,5	61,9	6,6
Haantje 18c	54,5	47,9	6,6
J.C van Markenweg 1	63,7	63,9	-0,2
Frederik Mathestraat 45	50,1	50,0	0,1
Alexander Fleminglaan 1 (kantoor DSM)	37,2	30,8	6,4

Aan de J.C. van Markenweg zijn veel meer woningen aanwezig. Het adres J.C. van Markenweg 1 is echter maatgevend als het om afstand tot aan het spoor gaat. Zoals uit tabel 5.18 blijkt neemt de afstand tot het spoor voor de gebouwen aan de J.C. van Markenweg en de Frederik Mathestraat vlak nabij de zuidelijke tunnelmond in de plansituatie echter niet toe. Er is dan ook geen toename in trillingsniveaus voor deze woningen te verwachten. Op het DSM terrein is een kantoorgebouw (ook wel Fleming house genoemd) op nabije afstand van het spoor aanwezig. Voor dit kantoorgebouw geldt dat het spoor circa 6,5 m dichter op het gebouw komt te staan in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie.

Tabel 5.19. Prognose toename trillingsniveau V_{max}

adres	**$v_{max,ref}$**	**$v_{max,plan}$**	**% toename**
Haantje 20	1,18	1,34	13

adres	$v_{max,ref}$	$v_{max,plan}$	% toename
Haantje 18	1,43	1,63	13
Haantje 17b	0,99	1,12	13
Haantje 17c	1,94	2,20	13
Haantje 16	1,30	1,48	13
Haantje 18c	1,70	1,93	*13*
Alexander Fleminglaan 1 (kantoor DSM)[1]	1,00	1,25	*26*

NB: Prognose is op basis van de afstandsdemping 5 - 50 Hz.

In tabel 5.19 wordt de procentuele toename tussen referentiesituatie en plansituatie voor de gebouwen aan 't Haantje en het Fleming house weergegeven. Hierbij is de afstandsdemping gehanteerd bepaald voor 5 - 50 Hz. Zou de afstandsdemping voor 5 -25 Hz worden gehanteerd dan zou de procentuele toename nog sterk verminderen.

In de prognose is geen rekening gehouden met een mogelijke aftakking op het zijspoor die op het DSM-raccordement aansluit. Dit wordt in paragraaf 5.5 nader besproken.

Prognose deelgebied 3 Delft zuidelijk van tunnel
In deelgebied 3 is ten opzichte van deelgebied 2 een groter aantal gebouwen aanwezig dat dicht op het spoor staat. De gebouwen variëren van gebruikersfunctie: er zijn woningen, kantoren maar ook fabriekshallen aanwezig. In figuur 5.7 worden de verschillende gebouwen genummerd weergegeven (zie ook bijlage XVI).

Figuur 5.6. Bebouwing deelgebied 3 Delft zuidelijk van tunnel

Een enkel gebouw betreft in sommige gevallen meerdere adressen. Voor de prognose van deelgebied 3 geldt voor het buitenste westelijke spoor een andere maximale snelheid dan voor het oostelijke buitenste spoor in verband met de aanwezigheid van wissels. Ook geldt

[1] Het Fleming house betreft een groot kantoorgebouw van circa 100 m lang. Voor dit kantoorgebouw is op basis van par. 3.2.5. een gebouwfactor van 2.0 gehanteerd. Voor de woningen is een factor van 3.0 gehanteerd. Beide factoren zijn in de meeste gevallen een overschatting van de overdrachtsfactor.

dat lokaal nabij een wissel een verhoging van trillingsniveaus optreedt. Deze aspecten in beschouwing nemende is voor elk gebouw afzonderlijk een prognose van optredende trillingsniveaus berekend. Tabel 5.19 geeft de berekeningsresultaten weer voor de panden die een kantoor- of woonfunctie hebben.

De overige panden betreffen een fabriekshal of opslaghal[1] en zijn niet in de toetsing meegenomen. In bijlage VIII wordt de prognose van alle gebouwen gegeven.

Tabel 5.20. Prognose maximale toename optredende v_{max}

	adres	bedrijftype	$afstand_{ref}$	$afstand_{plan}$	V_{max_ref}	V_{max_plan}	% toename
1	Minervaweg 21-37	flat	48,0	47,7	0,48	0,42	-12
2	Vulcanusweg 257	vuilverwerking	56,3	55,1	0,38	0,34	-10
3	Vulcanusweg 259-263	opslag/kantoor	26,1	24,7	1,72	1,56	*-9*
4	Vulcanusweg 269	bedrijven+loods	65,5	60,3	0,30	0,30	0
5	Vulcanusweg 265A	moskee	45,1	39,2	1,01	1,06	*4*
7	Vulcanusweg 309	kantoor	37,8	30,0	1,26	1,35	*8*
8	Tanthofdreef 2	kantoor	52,1	44,1	0,86	0,93	*8*
9	Tanthofdreef 5A	kantoor (wasstraat naast)	29,4	16,3	1,58	1,66	*6*
10	Tanthofdreef 7	kantoor	24,5	18,7	1,80	1,83	*2*
11	Tanthofdreef 9	kantoor	24,4	21,1	1,81	2,06	*14*
12	Tanthofdreef 13	kantoor	23,4	22,9	1,85	2,39	*29*
13	Tanthofdreef 15	kantoor	23,8	24,0	1,83	1,82	*0*
14	Tanthofdreef 17	kantoor	29,5	29,6	1,57	1,57	*0*
15	Tanthofdreef 21	kantoor	23,4	23,5	1,86	1,85	*0*
16	Tanthofdreef 27	kantoor	23,4	23,4	1,85	1,85	*0*
17	Tanthofdreef 29	kantoor	35,4	35,4	1,34	1,34	*0*
20	Ampereweg 17-27	kantoor	29,7	21,5	1,57	1,75	*12*
21	Ampereweg 20-28	kantoor	29,7	21,7	1,56	1,74	*11*

Uit de resultaten volgt dat er geen enkel kantoorgebouw ten zuiden van station Delft een verwachte toename van meer dan 30 % laat zien. Het kantoorgebouw aan de Tanthofdreef 15 blijkt hierbij het meest maatgevend, maar voldoet aan de Bts. De resultaten uit tabel 5.20 gelden voor een gemiddelde afstandsdemping 5-50 Hz. Op te merken valt dat vanwege de gehanteerde opslingeringsfactoren de waarde van v_{max} naar verwachting een sterke overschatting is.

Maximale trillingsniveaus huidige situatie
In de toetsing van trillingsniveaus is gekeken naar de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie. De huidige situatie wordt niet getoetst. In de prognose is er echter uitgegaan van het rijden van dezelfde type treinen in de referentiesituatie als in de huidige situatie. De maximale trillingsniveaus in de huidige situatie zijn daarom gelijk aan de maximale niveaus in de referentiesituatie.

5.5. Variantenstudie

Nabij het DSM-terrein dient het hoofdspoor in de plansituatie aan te sluiten op het DSM-raccordement. In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' wordt een tweetal varianten besproken voor deze aftakking waar in de milieueffectenstudie rekening mee gehouden dient te worden. Variant A betreft de aansluiting van het spoor op het DSM-raccordement waarbij de goederentrein vanuit Rotterdam direct uit de tunnel aftakt naar het raccordement (zie figuur 5.4). In variant B vindt aan de noordzijde van 't Haantje een aftakking op een zijspoor plaats. Er dient hiervoor dus een extra zijspoor te worden gerealiseerd en de overgang over de waterweg wordt verbreedt met een extra spoor.

[1] Zie voetnoot pagina 49.

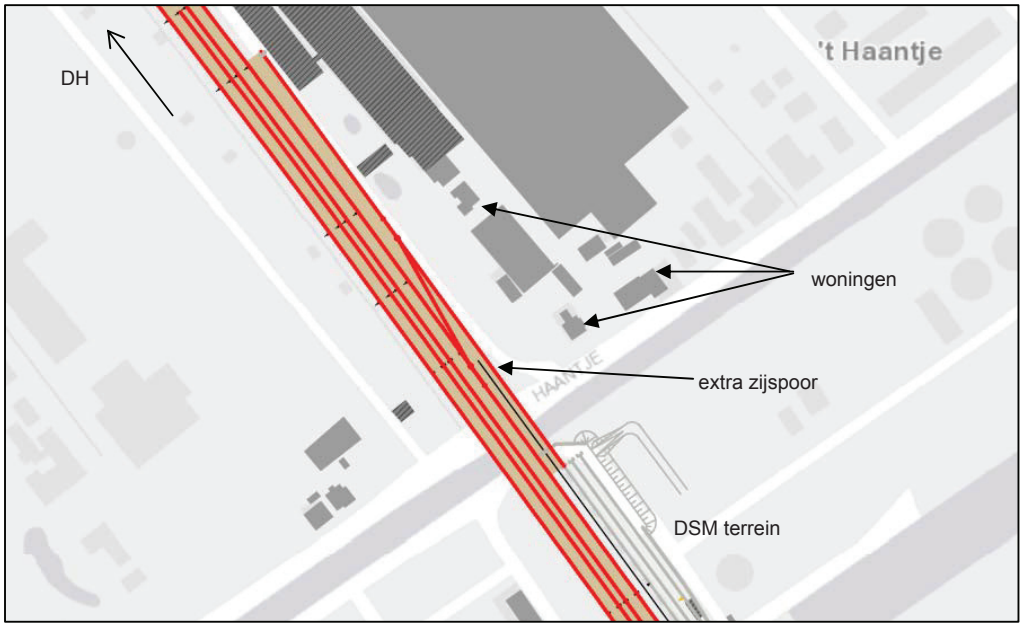
Voor variant B wordt echter een aftakking net aan de noordzijde van ‘t Haantje beoogd (zie figuur 5.5).

Voor de nabijgelegen bebouwing geldt daarom een mogelijke toename van trillingsniveaus bovenop de spooruitbreiding van 2 naar 4 sporen. De aftakking voor variant B wordt aan de oostzijde beoogd. Voor de bebouwing aan de westzijde valt vanwege de afstand geen extra hinder te verwachten. Voor de bebouwing aan de oostzijde geldt echter dat het zijspoor nog dichterbij komt te liggen dan de verbrede 4-sporige spoorlijn. De extra afname in afstand bedraagt 8,1 m.

Het ter plaatse beoogde wissel betreft een 1:9 wissel. De maximale snelheid waarmee een trein over dit wissel mag rijden bedraagt 40 km/uur. Ten opzichte van de maximale snelheid van 90 km/uur over het hoofdspoor is dit een behoorlijke afname. Om de invloed te bepalen is ook voor de goederentrein een snelheidsrelatie afgeleid (zie bijlage VII). Op basis van de relatie volgt een verwachte reductie van circa 60 %. De extra verbreding van het zijspoor resulteert in een toename van trillingsniveau in de nabijgelegen bebouwing van 43 %. Oftewel, door de zeer beperkte snelheid van de goederentrein op het zijspoor bestaat de verwachting dat ten opzichte van het hoofdspoor de snelheidsafname in een grotere reductie van trillingsniveaus leidt dan de toename door de verbreding van het spoor.

Echter, de invloed van de wissel is hierbij niet in rekening genomen. Het invloedsgebied van een wissel is echter beperkt. Uit de trillingsmeting nabij een wissel is een invloedsgebied van 50 m afgeleid. De afstand tot aan de wissel van de dichtstbijzijnde woning bedraagt circa 40 m. Hieruit volgt een toename van trillingsniveau van 1,1. De totale toename door toedoen van de wissel en extra spoorverbreding bedraagt dan 57 % en is vrijwel gelijk aan afname door de verlaagde snelheid. Er wordt daarom geen toename verwacht in trillingsniveaus door goederentreinen die aftakken op het zijspoor ten opzichte van goederentreinen die over het hoofdspoor rijden.

Figuur 5.7. Aftakking op zijspoor (variant B)



Voor variant A volgt dat de aftakking naar het DSM-raccordement volledig naast het DSM terrein aan de oostzijde van het spoor is beoogd.

Voor het aftakken van een goederentrein op het DSM-raccordement bestaat dezelfde de verwachting als voor variant B wat betreft optredende trillingsniveaus. De goederentrein op het hoofdspoor op volle snelheid is wat betreft optredende trillingsniveaus maatgevender. Op basis hiervan bestaat de verwachting dat als gevolg van variant A er geen toename in trillingsniveaus op het DSM-terrein te verwachten is ten opzichte van goederenverkeer op het hoofdspoor.

Stap 2: Verfijnde prognose woningen kritieke locaties

5.6. Trillingsmetingen gebouwoverdrachten 3 woningen

Uit de resultaten van de globale prognose van stap 1 volgt de verwachting dat 1 enkel pand in Rijswijk, namelijk aan de Vredenburchweg 158, niet voldoet van de grenswaarden van de Bts voor het gemiddelde trillingsniveau v_{per} en een tiental panden in Kethel (nabij Schiedam). In de prognose is met een scenario gerekend waarbij is uitgegaan van een gemiddelde gebouwoverdracht van 2,0 voor alle treinpassages.

Verwacht wordt dat dit een bovengrensbenadering is. Er zijn daarom op beide locatie trillingsmetingen uitgevoerd ter bepaling van de in werkelijkheid optredende gemiddelde gebouwoverdrachtsfactor. Hierbij zijn aan een drietal woningen trillingsmetingen uitgevoerd. Het drietal woningen betreft de twee meest maatgevende woningen in Kethel en de woning in Rijswijk.

5.6.1. Uitvoering trillingsmetingen

Als vervolg op de resultaten van de prognose in de eerste stap is voor een aantal maatgevende gebouwen de gebouwoverdracht bepaald middels kortdurende trillingsmetingen. De gemeten adressen worden in figuur 5.9 weergegeven en betreffen:

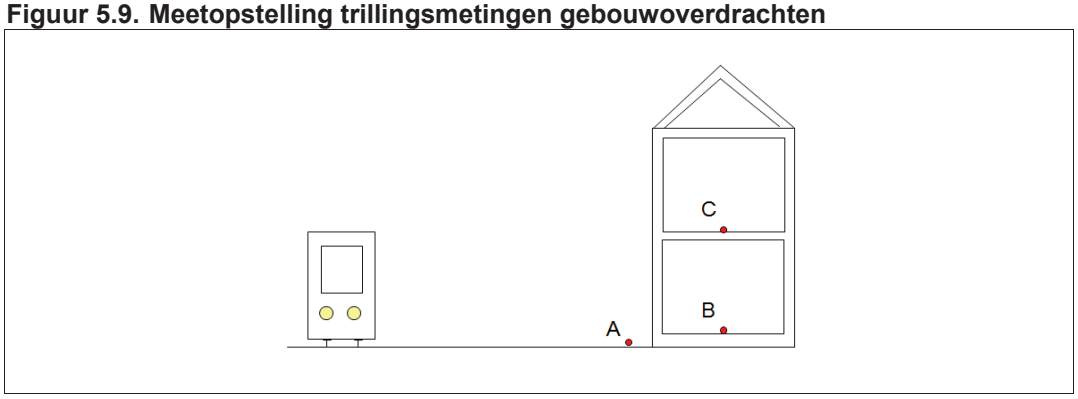
1. woning aan de Groeneweg 4 (Kethel);
2. woning aan de Groeneweg 2 (Kethel);
3. woning aan de Vredenburchweg 158 (Rijswijk).

Figuur 5.8. Adressen meting gebouwen. linksboven: Groeneweg 4, rechtsboven: Groeneweg 2, linksonder Vredenburchweg 158

De eerste 2 woningen betreffen de meest maatgevende woningen van het tiental woningen in Kethel (nabij Schiedam) waar een overschrijding van v_{per} wordt verwacht op basis van de globale prognose (stap 1). Hierbij is het voormalig spoorwachtershuisje buiten beschouwing gelaten, omdat deze dermate dicht op het spoor staat dat moeilijk een algemene overdrachtsfactor te bepalen is[1]. De oorzaak is de kleine afstand van de woningen tot aan het spoor en de slappe ondergrond (polder). De derde woning betreft een woning vlak langs het spoor in Rijswijk waarvoor eveneens een overschrijding van v_{per} wordt verwacht. Voor de bepaling van de overdrachtsfactor is zowel op maaiveld vlak voor de woning als in de woning op de vloer van de begane grond en de eerste verdieping gemeten. Door de optredende v_{max} waarden op maaiveld te vergelijken met de optredende waarden in het gebouw, wordt een beeld van de overdrachtsfactor verkregen. In figuur 5.10 wordt de meetopstelling weergegeven.

[1] In het voormalig spoorwachtershuisje (Buitenkerklaan 36 en 38) is een meting uitgevoerd om te bepalen of de bovenste grenswaarde wordt overschreden. Dit bleek niet het geval, zie bijlage XVIII.

Figuur 5.9. Meetopstelling trillingsmetingen gebouwoverdrachten



Per adres is circa een halve dag gemeten. Door de meettechnicus is tijdens de metingen zoveel mogelijk gerapporteerd welke treintypes op welk tijdstip passeerden.

5.6.2. Meetresultaten

Per adres wordt voor het drietal locaties A, B en C in figuur 5.10 over een periode van enkele uren de gemeten v_{max} waarden vergeleken. Doordat de trillingsopnemers gesynchroniseerd zijn behoren de gemeten v_{max} waarden van de verschillende opnemers op hetzelfde tijdstip bij dezelfde treinpassage, mits er geen stoorsignalen aanwezig zijn.

Tijdens de metingen is gevraagd aan de bewoners om rekening te houden met de trillingsopnemers. Dit blijkt voor de 2 van de 3 locaties goed te zijn gebeurd. Voor het derde adres (Vredenburchweg) bleek echter er zeer veel stoorsignalen in de meetdata aanwezig was. Er is getracht deze stoorsignalen zo veel mogelijk uit te sluiten door de maatgevende signalen zowel in het tijdsdomein als het frequentiedomein te analyseren. Echter, voor de woning aan de Vredenburchweg in Rijswijk is het niet uitgesloten dat er in de bepaling van de gebouwoverdracht enkele stoorsignalen aanwezig zijn in de trillingsmetingen van de begane grond en eerste verdieping. Dit resulteert echter in een overschatting van de overdrachtsfactor en daarmee een conservatieve benadering van de overdrachtsfactor. In de meetdata van de opnemer op de begane grond waren echter dermate veel stoorsignalen aanwezig dat de meting onbruikbaar is geworden.

In bijlage XIII wordt de bepaling van de gemiddelde overdrachtsfactoren nader uitgewerkt. Bij de berekening van het gemiddelde is rekening gehouden met het feit dat de waarde van v_{per} word berekend aan de hand van de wortel van de som van alle gekwadrateerde waarden van $v_{eff,max,30,i}$. De gevonden gemiddelde overdrachtsfactoren worden weergegeven in tabel 5.20.

Tabel 5.21. Gemiddelde overdrachtsfactoren trillingsmetingen

adres	overdrachtsfactor begane grond	overdrachtsfactor eerste verdieping
Groeneweg 2	0.9	1.0
Groeneweg 4	0.6	1.4
Vredenburchweg 158	-	1.1

Uit de meetresultaten blijkt dat de gehanteerde gebouwoverdracht in de globale prognose van trillingsniveaus (stap 1) van 2,0 een bovengrens is. De grootste gemeten gebouwoverdrachtsfactor blijkt 1,4 te bedragen.

Voor de Vredenburchweg 158 is enkel de overdrachtsfactor voor de eerste verdieping gehanteerd, omdat de trillingsmeting van de begane grond vanwege te veel stoorsignalen onbruikbaar was.

5.7. Verfijnde prognose en toetsing v_{per} kritieke locaties

Op basis van de gemeten maatgevende gebouwoverdrachtsfactoren zijn opnieuw contourafstanden berekend waarbinnen niet aan de grenswaarde conform de Bts wordt voldaan. In tabel 5.21 zijn deze maximale afstanden weergegeven.

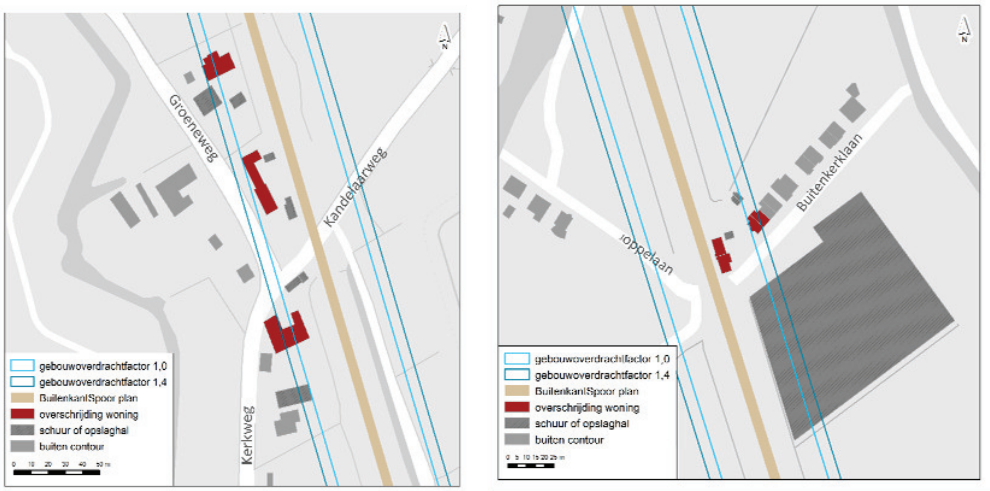
Tabel 5.22. Contourafstanden verfijnde prognose Vper

gebouwfunctie	grenswaarde v_{per}	$v_{per,ref}$	gebouwoverdracht	afname dB/meter	maximale afstand (m)
woning Groeneweg 2	0.1	0.220	**1,0**	0.257	23,3
woning Groeneweg 4	0.1	0.220	**1,4**	-0.257	29,0
Vredenburchweg 158	0.1	0.102	**1,1**	-0.136	13,7

Uit de verfijnde prognose blijkt dat de benodigde afstand om aan de grenswaarde van de Bts te voldoen voor de woning aan de Vredenburchweg 158 13,7 m bedraagt. De afstand van de woning tot aan het spoor bedraagt 12,5 m. Voor deze woning wordt daarom verwacht dat niet aan de grenswaarde van de Bts wordt voldaan in de plansituatie.

Voor de 2 woningen in Kethel volgen maximale afstanden van respectievelijk 29,0 en 23,3 m. De woningen liggen echter dichter op het spoor en vallen dan ook binnen de contourafstanden. Voor deze woningen wordt verwacht dat niet aan de grenswaarde voor v_{per} volgens de Bts wordt voldaan. Indien uitgegaan wordt dat de andere woningen in Kethel vergelijkbare gebouwoverdrachten tonen is er nog een zestal woningen dat binnen de contourgrenzen valt. In figuur 5.11 worden de twee contourgrenzen op basis van de gemeten gebouwoverdrachten van de woningen aan de Groeneweg 2 en 4 op een kaart weergegeven.

Figuur 5.10. Contourlijnen Vper=0,1 verfijnde prognose woningen deelgebied 4



Uit de kaart blijkt dat naast de woningen aan de Groeneweg 2 en de Groeneweg 4 ook de woning aan de Groeneweg 6, aan de Kerkweg 100 en aan de Buitenkerklaan 38, 36, 34 en 32 binnen de contourlijnen vallen wanneer van een gebouwoverdrachtsfactor van 1,4 wordt uitgegaan. Voor een gebouwoverdracht van 1,0 ligt de woning aan de Buitenkerklaan 32 buiten de contourgrens en de Buitenkerklaan 30 op de grens. In tabel 5.23. worden de resultaten samengevat.

Tabel 5.23. Resultaten verfijnde prognose woningen Kethel

	afstand tot buitenkant spoor (m)	gebouwfactor 1,0		gebouwfactor 1,4		gebouwfactor 2,0	
		v_{per_ref}	v_{per_plan}	v_{per_ref}	v_{per_plan}	v_{per_ref}	v_{per_plan}
Buitenkerklaan 32	29	0,06	0,07	0,09	0,10	0,13	0,14
Buitenkerklaan 34	25	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18
Buitenkerklaan 38	*3*	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Buitenkerklaan 40	*3*	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Kerkweg 100	17	**0,13**	**0,15**	**0,18**	**0,21**	0,26	0,29
Groeneweg 2	12	**0,18**	**0,20**				
Groeneweg 4	13			**0,23**	**0,26**		
Groeneweg 6	22	**0,10**	**0,11**	**0,14**	**0,15**	0,19	0,22

Voor de woningen aan de Groeneweg 2 en 4 zijn de overdrachten bepaald aan de hand van metingen. Voor de overige vier adressen die volgens de globale prognose binnen de contourgrenzen liggen wordt de meest maatgevende overdrachtsfactor van de 2 gemeten waarden gehanteerd, oftewel een overdrachtsfactor van 1,4. Voor deze woningen wordt op basis van de verfijnde prognose verwacht dat niet voldaan wordt aan de Bts. Voor deze woningen moet een afweging worden gemaakt of mogelijke mitigerende maatregelen getroffen kunnen worden en of deze doelmatig zijn.

De adressen Buitenkerklaan 38 en 40 (spoorwachterhuisje) laten forse overschrijdingen zien. Dit ligt in de lijn der verwachting vanwege de zeer dichte ligging op het spoor. De nauwkeurigheid van de prognose voor deze 2 adressen is echter beperkt, omdat zo vlak bij het spoor lokale effecten van zowel woning als spoor een grote rol spelen die niet in de prognose zijn meegenomen. Aan de adressen Buitenkerklaan 38 en 40 is een aanvullende metingen uitgevoerd ter bepaling van Vmax Bts zie paragraaf 5.4.

DEEL II: TRILLINGSONDERZOEK SPOORZONE DELFT

6. BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE

Dit hoofdstuk beschrijft het beoordelingskader en de onderzoeksmethode voor de spoortunnel. Als eerste wordt het beoordelingskader beschreven. Onderscheid wordt gemaakt tussen schade en hinder. Voor trillingen veroorzaakt door ondergrondse infrastructuur kan hinder door laagfrequent geluid ook een rol spelen. Aangezien de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis (3^e en 4^e spoor) van de spoortunnel in Delft wordt onderzocht, wordt ook ingegaan op hinder door laagfrequent geluid. Vervolgens wordt de onderzoeksmethode beschreven. Onderscheid wordt gemaakt tussen trillingen tijdens de aanlegfase en trillingen tijdens de gebruiksfase. Vervolgens wordt nader ingegaan op de werkwijze hoe de trillingen tijdens de gebruiksfase in kaart zijn gebracht. Als laatste wordt ingegaan op hoe laagfrequente geluidsniveaus als gevolg van treinverkeer door de spoortunnel zijn onderzocht.

6.1. Beoordelingsaspecten

Er is een drietal aspecten als gevolg van trillingen dat beoordeeld is in het trillingsonderzoek, namelijk schade, hinder en hinder door laagfrequent geluid als indirect gevolg van trillingen. Deze drie aspecten worden kort besproken.

6.1.1. Schade als gevolg van trillingen

Trillingen door toedoen van railverkeer en bouwwerkzaamheden planten zich vanuit de bodem voort in nabijgelegen bebouwing. Een gebouw dat in trilling wordt gebracht kan mogelijk schade ondervinden in het geval de trillingen een bepaalde sterkte bezitten. Om te beoordelen of optredende trillingsniveaus tot schade kunnen leiden is door de Stichting Bouw Research een richtlijn opgesteld [lit. 2.]. De richtlijn bestaat uit 3 delen waarbij Deel A ‘Schade aan gebouwen’ wordt gebruikt bij het hanteren van grenswaarden ter voorkoming van schade aan gebouwen. Trillingen als gevolg van railverkeer leiden zeer zelden tot schade aan nabijgelegen gebouwen omdat de trillingsniveaus in de regel te laag zijn om tot schade te kunnen leiden. Enkel in het geval er woningen op enkele meters van het spoor staan is er mogelijk sprake van kans op schade door trillingen als gevolg van passerend treinverkeer. Er is daarom geen nader onderzoek naar schade als gevolg van trillingen door treinverkeer uitgevoerd. Bij trillingen als gevolg van bouwwerkzaamheden is toetsing van optredende trillingsniveaus gebruikelijk om schade te voorkomen.

6.1.2. Hinder als gevolg van trillingen

In het geval een gebouw in trilling wordt gebracht vanwege passerend treinverkeer in een tunnel op beperkte afstand van het gebouw kan er sprake zijn van hinder voor personen in het gebouw. In de richtlijn van de Stichting Bouw Research wordt in deel B: ‘Hinder voor personen in gebouwen’ ingegaan op de toetsing van trillingsniveaus ter voorkoming van hinder. De grens- dan wel streefwaarden ter voorkoming van hinder zijn strikter dan ter voorkoming van schade. Nabij spoorlijnen is daarom binnen een afstand van circa 50 tot 100 m (afhankelijk van bodemopbouw, type treinverkeer et cetera) mogelijk sprake van het optreden van trillingshinder.

Begin 2012 is door de minister van Infrastructuur en Milieu een beleidsregel opgesteld welke op 18 april 2012 in werking is getreden. Een besluit tot wijziging van de beleidsregel is gepubliceerd op 26 maart 2014. Deze beleidsregel, Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts) [lit. 3.], is specifiek opgesteld ten behoeve van de vaststelling van Tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg en is daarom voor het huidige onderzoek van toepassing.

In hoofdstuk 2 worden de toetsingsprocedures en grens- en streefwaarden volgens de Bts besproken. Voor de plansituatie van de spoorzone gelden de streef- en grenswaarden voor een bestaande situatie. In de referentiesituatie is immers de oostelijke tunnelbuis reeds in gebruik. De te hanteren toetswaarden worden in onderstaande tabel weergegeven. Is er sprake van minder dan 30 % toename, dan geldt de A2 grenswaarde als toetsingsniveaus waaronder moet worden gebleven. De voor de spoortunnel te hanteren grenswaarde voor Vper bedraagt 0,1.

Tabel 6.1. Grens- en streefwaarden v_{max} spoortunnel Delft (bestaande situatie)

Gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A_1	A_2	A_1	A_2
gezondheidszorg en woonruimte	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

6.1.3. Hinder als gevolg van laagfrequent geluid

Een gebouw dat in trilling wordt gebracht kan niet alleen in hinder resulteren als gevolg van het in beweging brengen (‘het trillen’) van personen, maar kan mogelijk ook resulteren in hinder door laagfrequent geluid als gevolg van het afstralen van geluid van trillende wanden en/of vloeren van het gebouw. De ervaring leert dat mogelijke hinder als gevolg van laagfrequent geluid kan optreden wanneer het ‘gewone’ geluid van treinen volledig wordt afgeschermd doordat de trein bijvoorbeeld in een tunnel rijdt. Laagfrequent geluid als gevolg van treinverkeer in de toekomstige spoortunnel is daarom meegenomen in het onderzoek.

Er is in Nederland geen wettelijk kader voor onderzoek en beoordeling van laagfrequent geluid vastgesteld. Door Bob de Ruiter van Gemeentewerken Rotterdam is tijdens de bouw van de Willemspoortunnel een methode ontwikkeld om hinder als gevolg van het optreden van laagfrequent geluid van infrastructuur te kunnen beoordelen. Hierbij wordt een curve gehanteerd van een maximaal toelaatbaar binnenniveau voor lage frequenties in woningen van 35 dB(A). Deze methode houdt rekening met het feit dat railinfrastructuur geen continue geluidbron is. De curve ligt boven de gehoordrempel voor laagfrequent geluid. Laagfrequent geluid door treinpassages kan dus nog wel waarneembaar zijn. Deze methode is bij verschillende ondergrondse spoorinfraprojecten in Nederland toegepast.

De methodiek (hier verder aangeduid als methodiek van ‘De Ruiter’) geeft grenswaarden per octaafband en een grenswaarde voor het A-gewogen geluidsdrukniveau[1]. De methode is toegepast in het huidige onderzoek.

6.2. Deelonderzoek trillingen spoortunnel

6.2.1. Trillingen tijdens aanlegfase

Tijdens bouwwerkzaamheden worden trillingen veroorzaakt door bijvoorbeeld het inheien van damwanden of funderingspalen. De ruwbouw van de oostelijke en westelijke tunnel is echter inmiddels afgerond. Trillingen tijdens de bouw van de tunnel worden daarom niet nader besproken.

---

[1] A-gewogen geluidsdrukniveau betreft het geluidsdrukniveau waarbij een A-weging in het frequentiedomein is toegepast. Bij geluidmetingen wordt een elektronisch A-filter gebruikt dat net zo verzwakt als het menselijk oor.

6.2.2. Trillingen tijdens gebruiksfase

Dit onderzoek richt zich op trillingen tijdens de gebruiksfase, oftewel trillingen die als gevolg van passerende treinen in de tunnel worden veroorzaakt in de plansituatie. In de plansituatie is naast de oostelijke buis ook de westelijke buis in gebruik genomen. In de referentiesituatie is enkel de oostelijke buis in gebruik. In hoofdstuk 7 worden de referentie- en plansituatie voor de spoortunnel nader uitgewerkt.

In het algemeen blijken de volgende aspecten een rol te spelen in de mate van trilling die een persoon in een gebouw ondervindt als gevolg van een passerende trein in een nabijgelegen spoortunnel:

- bron:
  - treintype;
  - rail- en wielruwheid;
  - snelheid van de trein;
  - type bovenbouw tunnel
- overdracht:
  - bodemopbouw;
  - constructiewijze spoortunnel;
  - afstand tot de tunnel;
- ontvanger:
  - gebouwfunctie waarin persoon zich bevindt;
  - gebouwtype waarin persoon zich bevindt (funderingtype, bouwmateriaal et cetera).

In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd dat bij toetsing van trillingshinder door railverkeer niet alleen gekeken wordt naar het maximale optredende trillingsniveau, maar ook de gemiddelde waarde over alle treinpassages in een dagdeel. Het aantal treinpassages per dagdeel speelt dus naast de bovenstaande aspecten ook een rol. De verschillende aspecten in ogenschouw nemende is voor de spoortunnel tot een werkwijze van een trillingsprognose gekomen, welke in de volgende paragrafen wordt beschreven.

6.3. Werkwijze

In het deelonderzoek trillingen PHS Rijswijk - Delft Zuid dient in kaart te worden gebracht wat het effect van de plansituatie is op de optredende trillingsniveaus en wat het verschil is ten opzichte van de referentiesituatie. Hierbij geldt dat de referentiesituatie de situatie behelst waarin het treinverkeer door de oostelijke tweesporige tunnel rijdt. In de plansituatie neemt het aantal treinen per uur toe en rijden de treinen zowel in de oostelijke als westelijke spoortunnel.

Het trillingsonderzoek voor de spoortunnel wijkt af van het trillingsonderzoek van het overige studiegebied omdat de referentiesituatie niet in kaart kan worden gebracht met trillingsmetingen. Er rijden immers nog geen treinen door de oostelijke tunnelbuis. De referentiesituatie is daarom in kaart gebracht met het reeds beschikbare rekenmodel. Vanwege (onder andere) een gewijzigd toetsingskader (namelijk de Bts) heeft aanvullend onderzoek plaatsgevonden om de verschillende schakels die in het rekenmodel aanwezig zijn toe te snijden op het trillingsonderzoek PHS viersporigheid Rijswijk - Delft. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op het rekenmodel.

6.3.1. Prognose op basis van beschikbare rekenmodel

6.3.2. Rekenmodel spoortunnel

Om tot een prognose van trillingsniveaus als gevolg van een wijziging van het spoorgebruik te komen is het gebruikelijk trillingsmetingen uit te voeren om de huidige situatie in kaart te brengen. Vervolgens wordt zo goed mogelijk de verandering van het trillingsniveau door wijziging van het spoorgebruik bepaald. Voor het traject Den Haag Centraal - Delft Noord plus Delft Zuid- Rotterdam Centraal is deze benadering toegepast.

In het geval van de spoortunnel in Delft is echter de huidige situatie niet representatief omdat het treinverkeer nog over het viaduct rijdt. Er kunnen geen trillingsmetingen in spoorzone worden uitgevoerd ter bepaling van de referentiesituatie.

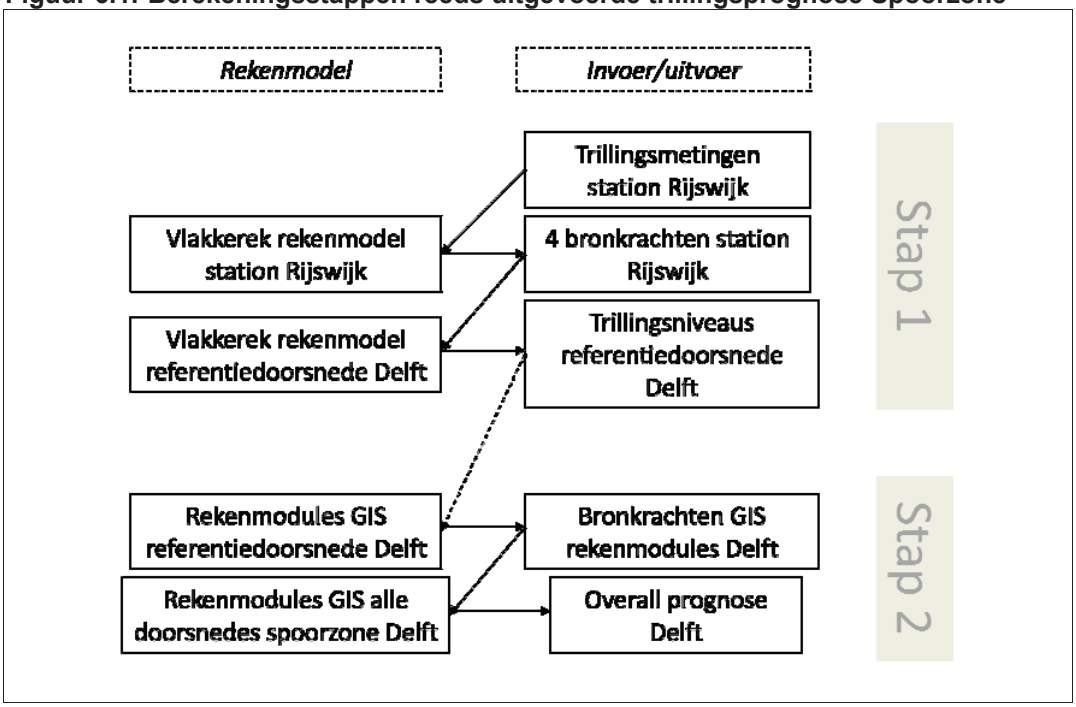
Er is daarom in de periode 2005-2009 voorafgaand aan het opstellen van het rekenmodel onderzocht op welke wijze het rekenmodel zo kon worden ingestoken dat tot een goede prognose van trillingsniveaus wordt gekomen.

Hiertoe is getracht een zo vergelijkbare situatie als uitgangspunt te nemen en daar metingen uit te voeren. De tunnel in Rijswijk is hierbij gekozen omdat:
- de tunnel in Rijswijk een vergelijkbare geometrie kent;
- het treinverkeer dezelfde is als in Delft.

Om de vertaling van de Rijswijkse situatie naar de Delftse situatie te maken is middels een rekenmodel van de Rijswijkse tunnel inclusief het omringende grondlichaam en eenzelfde model voor de Delftse situatie een omrekening gemaakt van verwachte trillingsniveaus. De berekeningsstrategie om tot een prognose van trillingsniveaus in de spoorzone Delft te komen kent verscheidene stappen, onderverdeeld in een tweetal hoofdstappen. In de eerste stap is een prognose van trillingsniveaus in een referentiedoorsnede vlakbij de binnenwatersloot (kilometrering 69.100) gemaakt op basis van vlakkerek rekenmodellen[1] met geodynamische software en trillingsmetingen nabij station Rijswijk. Voor vier type treinpassages is een prognose voor de Delftse situatie gemaakt. Vervolgens is deze prognose gebruikt om met behulp van een tweetal rekenmodules gekoppeld aan een Geografisch Informatie Systeem (GIS) een prognose van trillingsniveaus in de gehele spoorzone te maken voor zowel maaiveldpunten als punten in de nabijgelegen gebouwen. In figuur 6.1 worden de rekenstappen weergegeven.

[1] Een vlakkerek rekenmodel is een rekenmodel waarin de aanname wordt gemaakt dat de rek loodrecht op het vlak nul is.

Figuur 6.1. Berekeningsstappen reeds uitgevoerde trillingsprognose Spoorzone



Bij zowel het opstellen van de rekenmodellen met geodynamische software als de rekenmodules gekoppeld aan het GIS is een vlakkerek benadering gehanteerd. Deze benadering is gekozen omdat een passerende trein op enige afstand van de tunnel als een lijnlast fungeert en de trillingsoverdracht zodoende middels een vlakkerek model kan worden benaderd.

Voor de prognose met behulp van het GIS (rekenstap 2) is om de trillingsoverdracht vanuit de bodem naar het maaiveldniveau en paalpuntniveau te bepalen is door Deltares een rekenmodule opgesteld. Daarnaast is voor rekenstap 2 een gebouwmodule opgesteld waarmee de overdracht van trillingen op maaiveld (en voor een aantal panden op paalpuntniveau) naar vloeren in een gebouw wordt berekend. De gebouwmodule is opgesteld door Peutz b.v. Om uiteindelijk de prognose te kunnen maken is ook een bronkracht bepaald. Deze bronkracht betreft een verticale puntlast die aangrijpt op diepte in de rekenmodule van de bodemoverdracht. De bronkracht is bepaald aan de hand van de resultaten van de rekenmodellen met geodynamische software (rekenstap 1). De verschillende schakels worden nader besproken.

Bodemoverdracht (rekenmodule GIS)
Om de variatie in bodemoverdracht in de Delftse spoorzone in rekenstap 2 in kaart te brengen is door Deltares een rekenmodule opgesteld waarmee voor een groot aantal doorsnedes langs het spoortunneltracé de trillingsoverdracht is bepaald. Per doorsnede is de laagopbouw van de ondergrond als invoer in de rekenmodule ingevoerd. Hierbij zijn voor elke laag de verschillende laageigenschappen (stijfheid, demping et cetera) afgeleid en ingevoerd. Middels een Geografisch Informatie Systeem (GIS) is de laagopbouw langs het tracé van de spoortunnel in kaart gebracht. Het rekenmodel van de bodemoverdracht is gekoppeld aan het GIS systeem zodat per doorsnede de bijbehorende bodemoverdracht kon worden bepaald.

Gebouwoverdracht (rekenmodule GIS)
De rekenmodule waarmee de trillingsoverdracht per gebouw in rekenstap 2 is berekend betreft een numeriek rekenmodel waarbij de gebouwafmetingen, de materiaaleigenschappen, aantal etages, funderingstype en het trillingssignaal op maaiveld en paalpuntniveau als invoer dienen. Voor een honderdtal gebouwen dat dicht op de spoortunnel staat, zijn deze gegevens gebouwspecifiek bepaald en is vervolgens het trillingsniveau in het gebouw bepaald.

Bronkracht
Om tot rekenstap 2 te komen is eerst rekenstap 1 uitgevoerd. In rekenstap 1 is op basis van een viertal bronkrachten een prognose van trillingsniveaus in de referentiedoorsnede in Delft gemaakt. Hiertoe is aan de hand van trillingsmetingen over een periode van vier dagen nabij het station in Rijswijk een viertal bronkrachten afgeleid. De afleiding is als volgt uitgevoerd. Op een tweetal afstanden, namelijk 14 en 38 m tot aan de tunnel, is in een vlak loodrecht op de tunnel in Rijswijk zowel op diepte als op maaiveld het trillingssignaal als gevolg van passerende treinen gemeten. De signalen zijn als invoer gehanteerd in een tweedimensionaal vlakkerek rekenmodel met geodynamische software van een doorsnede van de spoortunnel in Rijswijk met omringende bodem. Per trillingsignaal is middels het model teruggerekend welke verticale kracht als functie van de tijd op de tunnelvloer tot het gemeten trillingsignaal leidt. Voor elke treinpassage is van de vier meetpunten de meest maatgevende bronkracht bepaald. Uiteindelijk zijn voor een viertal type treinen maatgevende bronkrachten afgeleid.

In de rapportage van Deltares [lit. 11] wordt nader ingegaan op de bronkrachten, waarbij wordt ingegaan op de frequentie-inhoud van de bronkrachten. Het verschil in inhoud blijkt tussen de opnemers op 14 en 38 meter relatief weinig verschil te tonen. Uit de verschillende type treinen blijkt dat de inhoud van de goederentreinbronkracht hoofdzakelijk lage frequenties toont (tot 10 Hz) en de passagierstreinen ook inhoud bij hogere frequenties tonen.

Vervolgens is een rekenmodel van de Delftse referentiesituatie opgesteld met daarin de bodemopbouw en tunnelgeometrie ter plaatse van een gekozen referentiedoorsnede vlak-

bij de Binnenwatersloot in Delft (kilometrering 69.100). Hiermee zijn vervolgens trillingssignalen gesimuleerd op het maaiveld en op diepte op basis van de 4 bronkrachten. Zodoende is voor de representatieve doorsnede in Delft een prognose van trillingsniveaus gemaakt. De 2 rekenmodules gekoppeld aan het GIS zijn vervolgens in rekenstap 2 gebruikt om op basis van de prognose van de referentiedoorsnede (resultaten rekenstap 1) een overall prognose voor de gehele spoorzone te maken.

Deltares heeft vervolgens op basis van de metingen uit 1996 en 2008 voor vier type treinen, namelijk de intercity, de dubbeldekker, de Thalys[1] en de goederentrein een maatgevende bronkracht bepaald. Deze bronkracht betreft een representatieve verticale kracht die op de tunnelvloer werkt van een tweedimensionaal rekenmodel. Ook is door Deltares een module ontwikkeld om de trillingsoverdracht vanuit de tunnel door de ondergrond naar het maaiveld en/of paalpunten van de nabijgelegen bebouwing te bepalen. Middels de module en de bronkrachten is door DRB een prognose van trillingsniveaus op maaiveld gemaakt. De predictie van trillingniveaus op vloerniveau in de nabijgelegen panden is gemaakt met behulp van een rekenmodule voor de gebouwen, opgesteld door Peutz b.v.[2]

In de gehanteerde aanpak ter bepaling van de bronkrachten wordt de passerende trein losgeknipt van de onderliggende spoorbaan/spoortunnel en wordt de trein als het ware vervangen door een equivalente bronkracht. Deze methode wordt daarom ook wel de methode van de equivalente bronkracht genoemd. In deze aanpak wordt hiermee impliciet aangenomen dat de trein en de onderbouw als ontkoppelde systemen fungeren, terwijl dit in werkelijkheid niet het geval is. Dit betekent dat de kracht die de trein op de tunnelvoer uitoefent op basis van de metingen en het rekenmodel van station Rijswijk niet identiek hoeft te zijn aan de kracht die dezelfde trein op de tunnelvloer in Delft uitoefent omdat er mogelijk sprake is van een stijfheidsverschil tussen wat de trein in Rijswijkse tunnel 'voelt' en wat de trein in Delftse tunnel 'voelt'. Dit verschil wordt ook wel impedantieverschil genoemd. In de huidige beschouwing is dit impedantieverschil niet beschouwd en is dus aangenomen dat de kracht in Rijswijk en Delft identiek is. Hierbij speelt voor de spoortunnel in Delft dat de verwachting bestaat dat de sporenligging in de Delftse tunnel beter zal zijn dan in de Rijswijkse tunnel. Dit zal mogelijk een gunstig effect hebben op de grootte van de bronkracht.

6.3.3. Validatie rekenmodel middels metingen

Het gehanteerde rekenmodel voor de Spoortunnel is gebaseerd op tweedimensionale rekenmodellen. Algemeen bekend is dat bij prognoses op basis van rekenmodellen er een mate van onzekerheid aanwezig is die niet kan worden verwaarloosd. In onderzoeken waarbij dergelijke rekenmodellen worden gehanteerd (omdat bijvoorbeeld de huidige situatie geen tunnel kent en daarmee trillingsmetingen in de huidige situatie niet representatief zijn zoals in Delft) is daarom gezocht naar validatie van het rekenmodel en prognose. Er is hiertoe een aantal onderzoeken uitgevoerd:

1. onderzoek naar de berekende overdachten middels een trillingsproef;
2. aanvullende trillingsmetingen bij station Rijswijk om te bepalen in hoeverre de door Deltares afgeleide bronkrachten tot een door de Bts 2014 gedefinieerde Vmax Bts leiden;

In hoofdstuk 8 worden de resultaten van de verschillende onderzoeken besproken alvorens er tot toetsing wordt overgegaan.

---

[1] ten tijde van de trillingsmetingen reed de Thalys over het traject Delft - Rotterdam. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op hoe een passage van een Thalys zich verhoudt tot de andere treintypes die over het traject rijden

[2] Peutz b.v. is een adviesbureau op het gebied van akoestiek, lawaaibeheersing en trillingstechniek

6.4. Werkwijze laagfrequent geluid spoortunnel

Naast trillingen als gevolg van railverkeer in de nabijgelegen spoortunnel, kan er mogelijk laagfrequent geluid optreden in woningen als indirect gevolg van trillingen. Het trillen van de vloer, wanden of plafond van een woning kan namelijk tot laagfrequent (constructie) geluid leiden. Men spreekt hierbij over laagfrequent geluid omdat het over geluid met frequenties in het frequentiegebied van circa 30 to 250 Hz gaat terwijl het menselijk gehoor gevoelig is voor frequenties tussen de 20 en 20.000 Hz.

Om een indruk te krijgen welke laagfrequente geluidsniveaus te verwachten zijn is een prognose van laagfrequente geluidsniveaus gemaakt op basis van de reeds uitgevoerde trillingsprognose van de spoortunnel. Hiertoe zijn voor alle gebouwen in de Spoorzone waarvoor in de reeds uitgevoerde prognose trillingsniveaus zijn bepaald, laagfrequente geluidsniveaus afgeschat. De laagfrequente geluidsniveaus zijn afgeschat op basis van een empirische relatie welke in hoofdstuk 8.6.1 wordt beschreven.

6.5. Relatie met andere deelrapporten

De uitgangspunten die zijn gehanteerd in het deelonderzoek trillingen zijn zoveel mogelijk in overeenstemming met het deelonderzoek geluid.

7. HUIDIGE SITUATIE, REFERENTIESITUATIE EN PLANSITUATIE

Dit hoofdstuk beschrijft de huidige situatie van het studiegebied, de referentiesituatie en de plansituatie (PHS-situatie) waarin meer treinen op het spoor gaan rijden en het spoor wordt verbreed in het plangebied[1]. Eerst wordt ingegaan op de huidige situatie, waarna de referentiesituatie wordt besproken. Vervolgens wordt de wijziging van het spoor in de plansituatie nader beschreven.

7.1. Uitgangspunten

De uitgangspunten die zijn gehanteerd in het deelonderzoek trillingen zijn gebaseerd op de volgende documenten:
- notitie Reikwijdte en Detailniveau [lit. 1.];
- snelheidsprofielen conform het geluidsregister viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid;
- tekeningen plansituatie [lit. 6.].

7.2. Huidige situatie

De spoorlijn Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal betreft een drukbezet spoor. In de huidige situatie rijden er 4 sprinters en 7 intercity's per uur per richting over het spoorviaduct. Incidenteel rijdt er een goederentrein. In tabel 7.1 worden de aantallen nader gespecificeerd.

Tabel 7.1. Aantal treinen huidige situatie per uur per richting

aantal treinen PHS	huidige situatie (vanaf 14 december 2014)
IC Amsterdam - Brussel	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	2
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	4
Goederentrein Schiedam - Delft DSM	2 per dag per richting
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk	2 per dag per richting

Referentiesituatie

In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' [lit. 1.] wordt ingegaan op de verwachte autonome groei op het spoortraject. De treinaantallen per uur per richting die in de notitie zijn opgenomen worden in tabel 4.2 weergegeven. De treinaantallen voor 2020 en 2030 blijken gelijk te zijn aan de huidige treinaantallen (tabel 7.2), de treinaantallen nemen niet verder toe. De goederentreinaantallen wijken af van de aantallen genoemd in de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' naar aanleiding van de 'Verwerking herijkte goederenprognoses PHS' van 22 maart 2013 van ProRail.

Tabel 7.2. Aantal treinen referentiesituatie per uur per richting (autonome groei zonder PHS)

aantal treinen PHS	2020	2030
IC Amsterdam - Brussel	1	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2	2

[1] Er is dus een duidelijk onderscheid te maken tussen plan*gebied* en plan*situatie*. Het plangebied beschrijft het geografisch gebied waar wijziging aan het spoor plaatsvindt, de plansituatie betreft de toekomstige situatie wanneer het project is gerealiseerd.

aantal treinen PHS	2020	2030
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	2	2
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	4	4
Goederentrein Schiedam - Delft DSM[1]	5,1 per dag beide richtingen samen	5,1 per dag beide richtingen samen
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk[2]	4,5 per dag beide richtingen samen	4,5 per dag beide richtingen samen

In de huidige situatie waarin de spoortunnel in aanbouw is rijden de treinen nog over het viaduct in Delft. De verwachting is dat in 2015 de oostelijke tunnel in gebruik genomen kan worden. Het treinverkeer zal vanaf die tijd door de oostelijke tunnelbuizen rijden. Vervolgens wordt het viaduct afgebroken. De westelijke tunnel is naar verwachting in 2017 klaar en wordt ingericht zodra het Tracébesluit ten behoeve van dit project is vastgesteld. Conform artikel 3.1 van de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' maken projecten in de omgeving die los staan van de voorgenomen activiteit, die al in uitvoering zijn of waarbij redelijk zicht is op realisatie deel uit van de referentiesituatie.

De referentiesituatie die in de deze planstudie gehanteerd wordt betreft daarom de toekomstige situatie waarin het treinverkeer (inclusief autonome ontwikkelingen) over de twee sporen in de oostelijke tunnel rijdt. De ingebruikname van de oostelijke tunnel is reeds op milieueffecten (waaronder trillingen) beoordeeld in de MER-beoordeling van het spoortunnelproject [lit. 4.].

7.3. Plansituatie

PHS is een programma om de capaciteit van het spoor te vergroten. In de 'Notitie Reikwijdte en Detailniveau' worden voor de toekomstige plansituatie het aantal treinpassages per richting per uur gedefinieerd. In tabel 7.3 worden deze aantallen weergegeven. Voor de goederentreinaantallen volgen de aantallen gelijk aan de aantallen voor de referentiesituatie uit de herijkte prognose van ProRail.

Tabel 7.3. Aantal treinen plansituatie per uur per richting (groei met PHS)

aantal treinen PHS	2020	2030
IC Amsterdam - Brussel	1	1
IC Amsterdam - Leiden - Dordrecht	2	2
IC Amsterdam - Leiden - Vlissingen	2	2
IC Den Haag Centraal - Eindhoven	3	3
Sprinter Den Haag Centraal - Dordrecht	6	6
Goederentrein Schiedam - Delft DSM	5,1 per dag beide richtingen samen	5,1 per dag beide richtingen samen
Goederentrein Delft DSM - Rijswijk	4,5 per dag beide richtingen samen	4,5 per dag beide richtingen samen

[1] De goederentreinaantallen zijn gebaseerd op het rapport *Verwerking herijkte goederenprognoses PHS* van 22 maart 2013 (kenmerk EDMS#3235055-V1.2) van ProRail Vervoer en Dienstregeling, CV/POV voor het midden scenario '. Bij de verwerking is uitgegaan van het TNO, NEA rapport *Lange termijn perspectief spoorgoederenvervoer* van mei 2012. Bij brief van 17-06-2014 aan de TK over PHS-besluiten is aangegeven dat het hoge scenario voor 2030 minder plausibel is en dat daarom bij de besluitvorming wordt uitgegaan van het midden scenario. Deze uitspraak is gebaseerd op de TNO *Toets plausibiliteit prognoses goederenvervoer* van 15 april 2014 (kenmerk TNO 2015 R10564).

[2] Het goederentreinaantal van Delft DSM richting Rijswijk is enigszins lager dan van Schiedam naar Delft DSM in verband met de incidentele goederentrein die op het DSM-terrein lost en weer richting Schiedam terugkeert.

Ten opzichte van de referentiesituatie vindt een toename in treinpassages van intercity's en sprinters plaats. Er is geen groei tussen 2020 en 2030 voorzien. De spoor-layout wijzigt door het projectalternatief in het plangebied. Het plangebied is het gebied tussen Rijswijk en Delft Zuid.

Wijziging spoorinrichting
In het plangebied wordt het spoor uitgebreid van twee naar vier sporen. Dit resulteert in de volgende wijzigingen van de spoorlay-out in het plangebied (van noord naar zuid):
- inrichting van de westelijke tunnelbuis met het derde en vierde spoor.

Voor de plansituatie is een basisgebruik van de sporen voorzien welke wordt beschreven in paragraaf 4.4. Voor de spoortunnel geldt hetzelfde basisgebruik. Aan de westzijde van het spoor rijden hoofdzakelijk sprinters op het buitenspoor en dus dichter langs de bebouwing. Aan de oostzijde rijden de intercity's op het buitenspoor.

Tabel 7.4. Basis-spoorgebruik toekomstige situatie spoortunnel

trein	spoor
SPR richting Rotterdam	buitenspoor 4
IC richting Rotterdam	binnenspoor 3
SPR richting Den Haag	binnenspoor 2
IC richting Den Haag	buitenspoor 1

Het is echter niet uit te sluiten dat af en toe van het basis spoorgebruik wordt afgeweken. Voor de bepaling van de maximaal optredende trillingsniveaus in de spoorzone wordt daarom uitgegaan van worstcasescenario's waarbij de maatgevende treinen op de buitenste sporen rijden (tabel 7.5).

Tabel 7.5. Spoorgebruik worst case-scenario

trein	spoor
maatgevende trein richting Rotterdam	buitenspoor 4
maatgevende trein richting Den Haag	buitenspoor 1

Wijzigingen snelheidsprofielen
Passagierstreinen rijden conform de huidige dienstregeling niet harder dan 140 km/uur. Voor de toekomstige situatie geldt dit eveneens. Op het traject Den Haag Centraal - Rotterdam Centraal varieert de snelheid van de treinen afhankelijk van het type trein (intercity of sprinter) en de spoor-layout (onder andere wissels verlagen de maximale snelheid). Door de wijziging van de spoorinrichting in het plangebied zijn er ook enkele wijzigingen in snelheden te verwachten.

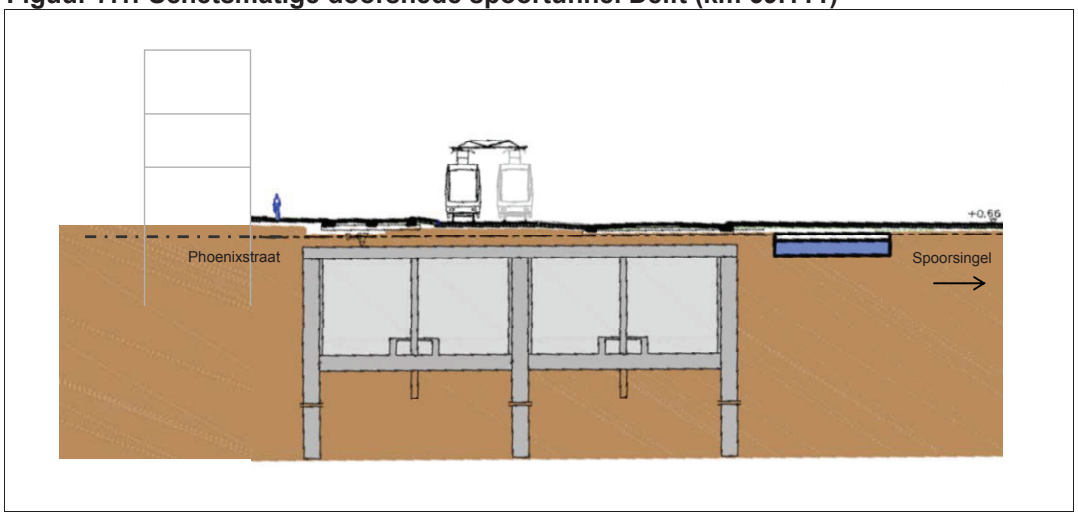
Op station Delft halteren in de huidige situatie het grootste deel van de intercity's. Enkel de HSA stopt niet. Voor de referentie- en plansituatie geldt hetzelfde. De maximale snelheden van treinen zijn hetzelfde voor zowel de referentie- als de plansituatie. In de huidige situatie halteren de treinen bovengronds, in zowel de referentie- als de plansituatie halteren de treinen ondergronds.

Voor de goederentrein geldt voor zowel de huidige situatie als de toekomstige situatie een maximale snelheid van 90 km/uur voor alle deelgebieden.

Daar waar in de referentiesituatie uitgegaan wordt van de ingebruikname van enkel de oostelijke tunnel (2 sporen), behelst de plansituatie de viersporig ingerichte spoortunnel in Delft. Het verschil tussen de referentie- en de plansituatie betreft dus afgezien van de toe-

name in treinverkeer, de ingebruikname van de westelijke tunnel en daarmee een gewijzigd spoorgebruik.

Figuur 7.1. Schetsmatige doorsnede spoortunnel Delft (km 69.111)



In figuur 7.1 is een schetsmatige doorsnede van de spoortunnel gegeven in de plansituatie. De spoortunnel bestaat uit een tweetal tunnels. De tunnels zijn opgebouwd uit diepwanden, een tunnelvloer en een tunneldak. Beide tunnels bezitten een tussenwand zodat er uiteindelijk vier sporen gerealiseerd kunnen worden. De diepwanden van de tunnels zijn 1.000 mm dik en hebben een diepte tot circa 25 m onder maaiveld. De vloer en het tunneldak zijn beide 900 mm dik.

Aan de zijde van de Phoenixstraat (oostelijke zijde) ligt de spoortunnel dicht op de bebouwing. Op sommige plekken bedraagt de afstand slechts enkele meters. De westelijke tunnelbuis is naast de oostelijke tunnelbuis gebouwd en ligt op grotere afstand van de bebouwing. Over een groot gedeelte van het tracé wordt tussen de bebouwing aan de zijde van de Spoorsingel en de westelijke tunnel een parkeergarage gebouwd.

7.3.1. Nieuwbouw

Op verschillende locaties in het studiegebied is sprake van (mogelijke) toekomstige bebouwing. Voorbeelden hiervan zijn het nieuw te bouwen stadskantoor dat deels op de spoortunnel komt te staan, evenals molen de Roos die volledig op de spoortunnel wordt gefundeerd. Ook is voorzien dat er een appartementencomplex naast de spoortunnel in Delft wordt gerealiseerd.

In het geval van nieuwbouw nabij bestaand spoor is het van belang projectspecifiek onderzoek te doen ter voorkoming van trillingshinder. In een dergelijk onderzoek wordt gekeken naar het concrete ontwerp van de nieuwbouw en hoe de nieuwe bebouwing reageert op trillingen veroorzaakt door passerend treinverkeer over nabijgelegen spoor. Indien er mitigerende maatregelen getroffen dienen te worden, kan aanpassing van de bouwconstructie namelijk een effectieve maatregel betreffen. Initiatiefnemers van nieuwbouwlocaties nabij het spoor of nabij dan wel op de spoortunnel dienen daarom in het ontwerp rekening te houden met mogelijk optredende trillingen als gevolg van treinverkeer en indien nodig het juist dimensioneren van trillingsreducerende maatregelen.

Voor de concrete voorziene nieuwbouw op en nabij de spoortunnel in Delft zijn daarom reeds trillingsonderzoeken uitgevoerd en indien nodig maatregelen getroffen om hinder (in de plansituatie) te voorkomen. Dit rapport gaat daarom niet verder in op deze concrete voorziene nieuwbouw op en nabij de spoortunnel in Delft.

8. EFFECTBESCHRIJVING

Onderdeel van het deelonderzoek trillingen MER PHS Rijswijk - Delft Zuid is het in kaart brengen van het effect van de plansituatie op de optredende trillingsniveaus in de Delftse Spoorzone en wat het verschil is ten opzichte van de referentiesituatie. Hierbij geldt dat de referentiesituatie de situatie behelst waarin het treinverkeer door de oostelijke tweesporige tunnel rijdt. In de plansituatie neemt het aantal treinen per uur toe en rijden de treinen zowel in de oostelijke als westelijke spoortunnel.

Het trillingsonderzoek voor de spoortunnel wijkt af van het trillingsonderzoek van het overige studiegebied omdat de referentiesituatie niet in kaart kan worden gebracht met trillingsmetingen. Er rijden immers nog geen treinen door de oostelijke tunnelbuis. De referentiesituatie is daarom in kaart gebracht met het reeds beschikbare rekenmodel welke is besproken in hoofdstuk 6. Vanwege (onder andere) een gewijzigd toetsingskader (namelijk de Bts) heeft aanvullend onderzoek plaatsgevonden naar de bronkrachten middels aanvullende metingen en naar de overdrachten middels de trillingsproef:

- de Bts 2014 stelt eisen aan de reproduceerbaarheid van metingen. De beschikbare bronkrachten zijn door Deltares bepaald op basis van metingen in 2008. Zijn de metingen op basis waarvan de bronkrachten zijn bepaald in overeenstemming met de recent opgestelde procedure tot bepaling van Vmax volgens de Bts 2014?
- de trillingsoverdracht van tunnelvloer naar ontvangerpunten op maaiveld: hoe nauwkeurig zijn de berekende overdrachten?
- de trillingsoverdracht binnen het gebouw: hoe nauwkeurig zijn de berekende gebouwoverdrachten in de trillingsprognose van de spoortunnel?

In het trillingsonderzoek PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid is op bovenstaande vragen nadere invulling gegeven middels een trillingsproef die is uitgevoerd in de ruwbouw van de oostelijk tunnel en middels een onderzoek waarin de metingen uit 2008 zijn geanalyseerd en vervolgmetingen zijn uitgevoerd.

Dit hoofdstuk beschrijft als eerste de resultaten van de aanvullende onderzoeken die zijn uitgevoerd ter onderbouwing van het rekenmodel. Vervolgens wordt ingegaan op de prognose van trillingsniveaus en laagfrequente geluidsniveaus.

8.1. Metingen ter onderbouwing schakels rekenmodel spoortunnel

In hoofdstuk 6 worden de verschillende schakels van het rekenmodel besproken. De aanvullende onderzoeken hebben betrekking op deze schakels. Per schakel worden de onderzoeken besproken, te weten de bronkracht en vervolgens de bodem- en gebouwoverdracht.

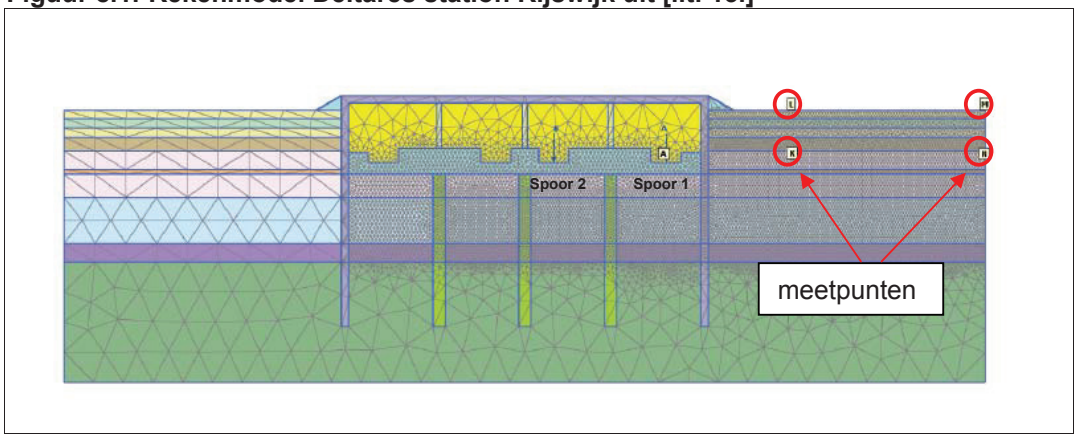
8.2. Bronkracht rekenmodel

8.2.1. Trillingsmetingen station Rijswijk 2008

Voor de bepaling van de bronkrachten zijn door Deltares de resultaten van trillingsmetingen nabij station Rijswijk onderzocht. De trillingsmetingen hebben plaatsgehad van 3 november tot 7 november 2008 en in de ochtenden van 12 en 14 november 2008. Op basis van deze trillingsmetingen is destijds de gehanteerde bronkracht voor de goederentrein afgeleid. De bronkrachten voor de dubbeldekker, intercity en Thalys waren op eerdere trillingsmetingen nabij station Rijswijk gebaseerd.

Op een viertal locaties zijn in 2008 trillingsopnemers geplaatst. De locaties zijn op circa 14 meter afstand van de tunnel op maaiveld en op 6 meter diepte en op circa 38 meter afstand van de tunnel op maaiveld en 6 meter diepte. Van alle vier de locaties is de meetdata door Deltares geanalyseerd en hieruit is uiteindelijk één maatgevende bronkracht bepaald.

Figuur 8.1. Rekenmodel Deltares station Rijswijk uit [lit. 13.]



In figuur wordt het rekenmodel weergegeven waarmee de bronkrachten op basis van de meetsignalen zijn bepaald. Ook worden in de figuur de locaties van de meetpunten getoond.

In maart 2014 is de gewijzigde BTS gepubliceerd [lit. 3.] met daarin beschreven dat de bepaling van Vmax volgens een statistische verwerking dient plaats te vinden. Hierbij dient ingegaan te worden op onder andere de reproduceerbaarheid van de meetdataset. Een achterliggende memo van Level Acoustics [lit. 13.] beschrijft de naverwerkingsmethode. Uit de memo blijkt dat minimaal een week gemeten dient te worden (en zo nodig langer) om voldoende reproduceerbaarheid van de dataset na te streven. Een minimale meetduur van een week wordt in de gewijzigde versie van de Bts voorgeschreven. Door Deltares is onderzocht [lit. 12] in hoeverre de metingen uit 2008 op basis waarvan de bronkrachten zijn afgeleid, voldoen aan de eisen van de Bts. Aangezien de metingen niet aan de eisen voldeden is besloten aanvullende metingen uit te voeren nabij station Rijswijk.

8.2.2. Aanvullende trillingsmetingen station Rijswijk juli 2014

In augustus 2014 zijn op dezelfde locatie als waar in 2008 door Deltares metingen zijn uitgevoerd, opnieuw metingen uitgevoerd. Hierbij zijn enkel opnemers op maaiveld geplaatst. De meting heeft plaatsgevonden over een meetduur van twee weken, waarbij naast twee opnemers op maaiveld ook een opnemer in de tunnel is geplaatst om achteraf stoorrillingen op maaiveld te kunnen identificeren.

De meetresultaten op maaiveld zijn vervolgens verwerkt volgens de naverwerkingsmethode beschreven in de memo van Level Acoustics [lit. 13.]. Vervolgens zijn de bepaalde maximale trillingsniveaus vergeleken met de niveaus die op basis van de bronkrachten op dezelfde locatie als de opnemers zijn bepaald door Deltares. Hierbij bleek de z-richting maatgevend, welke in onderstaande tabel wordt gepresenteerd.

Tabel 8.1. Vergelijking Vmax Bts metingen 2014 met resultaten bronkrachten (verticale richting)

	Vmax Bts meting 2014	maximale Vmax als gevolg van bronkracht	factor
14 meter van spoor	0.29	0.19	1.55
38 meter van spoor	0.30	0.21	1.45

Uit de vergelijking blijkt dat de aanvullende metingen tot een hoger trillingsniveaus leiden waaraan wordt getoetst dan trillingsniveaus berekend als gevolg van de bronkracht (in dit geval de maatgevende goederentrein). De bovenstaande resultaten zijn daarom in de door Deltares afgeleide bronkracht voor het rekenmodel verdisconteerd om te waarborgen dat de trillingsprognose voor de Delftse spoortunnel op basis van het rekenmodel een voldoende bovengrens betreft. De uitvoering van de metingen en de meetresultaten worden nader beschreven in bijlage XVII.

8.2.3. Vertaling naar bronkrachten Delft

De bronkrachten voor het rekenmodel voor de Delftse spoortunnel zijn bepaald op basis van de Rijswijkse situatie. De spoortunnel in Delft verschilt van station Rijswijk op een aantal punten waarbij voor het trillingsonderzoek voornamelijk van belang is dat:
1. in Rijswijk de stationstunnel geen betonnen vloer bezit en de Delftse tunnel wel;
2. de snelheden van de treinen in Rijswijk verschillen met die in Delft;
3. de spoorligging in Delft is waarschijnlijk beter dan in Rijswijk.

Het verschil in overdrachten tussen de Rijswijkse situatie en de Delftse situatie als gevolg van het niet aanwezig zijn van een tunnelvloer zit impliciet in de trillingsoverdrachten verwerkt. Uit de trillingsproef blijkt dat er een onzekerheid in de berekende overdrachten aanwezig is. Dat de tunnel in Rijswijk geen vloer bezit een de tunnel in Delft wel, resulteert ook in een impedantieverschil wat invloed heeft op de bronkracht. Dit is in pararaaf 6.3 besproken.

Voor het tweede punt geldt dat de snelheden van de treinen waarop de bronkrachten zijn gebaseerd behoorlijk hoog zijn. De snelheden van deze treinen zijn gegeven in [lit. 11.] en worden weergegeven in tabel 8.2.

Tabel 8.2. Snelheden treinpassages bronkrachten[1]

type trein	snelheid
Dubbeldekker	126 km/uur
intercity	104 km/uur
Thalys	119 km/uur

Aangezien station Delft een intercity station betreft, stoppen de stoptreinen en sneltreinen nu en in de toekomst op het station op uitzondering van de HSA. De snelheden conform tabel 6.1 zijn daarom (afhankelijk van hoe ver men zich in de Spoorzone van het station af bevindt) aan de hoge kant. Aangezien het trillingsniveau toeneemt met snelheid (zie bijlage VII) is daarom de verwachting dat de trillingsniveaus als gevolg van de bronkrachten voor met de passagierstreinen in Delft hierdoor mogelijk enigszins worden overschat.

[1] De goederentreinpassages zijn separaat gemeten. De snelheden van de goederentreinpassages zijn niet bekend.

De verwachting is dat de spoorligging in Delft beter is dan in Rijswijk vanwege de nieuwe tunnel. Dit heeft mogelijk een positief effect op de grootte van de bronkracht.

8.3. Overdrachten rekenmodel

Op 7 september 2012 is op een drietal locaties in de ruwbouw van de oostelijke spoortunnel in Delft een trillingsproef uitgevoerd. Middels deze proef is de trillingsoverdracht (transmissie) voor een aantal vooraf gedefinieerde ontvangerpunten bepaald. Hierbij is de overdacht gemeten vanaf het aangrijpingspunt van de stootbelasting op de tunnelvloer tot aan ontvangerpunten op maaiveld en tot aan ontvangerpunten in nabijgelegen gebouwen. De resultaten van de proef hebben inzicht gegeven in de werkelijk optredende overdrachtsfuncties. De meetresultaten zijn vergeleken met de resultaten van de rekenmodellen om zodoende een indruk te krijgen hoe nauwkeurig de rekenmodellen zijn. Door zowel op maaiveld als in de gebouwen te meten is ook een indruk verkregen van de gebouwoverdrachten.

8.3.1. Resultaten trillingsproef 2012: Validatie bodemoverdracht

In bijlage XI worden de resultaten van de berekende en gemeten bodemoverdrachten met elkaar vergeleken. Uit de vergelijking blijkt dat verschillen aanwezig zijn tussen meting en berekening. Per frequentieband varieert hierbij het verschil tussen berekende en gemeten overdracht. Voor de ene frequentieband kan de berekening gunstig en voor de andere frequentieband ongunstig zijn als het gaat om uiteindelijk resulterend trillingsniveau. Omdat trillingssignalen veroorzaakt door treinverkeer een meerbandig spectrum beslaan (dit volgt ook uit de trillingsmetingen uitgevoerd voor het studiegebied, zie paragraaf 4.2) is het gemiddelde verschil tussen meting en berekening over de frequentiebanden 10 tot 80 Hz bepaald. Door dit gemiddelde te bepalen wordt een indruk verkregen van mogelijke totale verschillen in optredende trillingniveaus volgens de prognose als gevolg van onzekerheidheid in de berekende bodemoverdracht.

Het gemiddelde verschil tussen meting en berekening over alle meetpunten blijkt 5,0 dB te bedragen. Hierbij blijkt het verschil tussen meting en berekening de ene keer positief en de andere keer negatief te zijn. Oftewel, de ene keer resulteert het rekenmodel in te gunstige en de andere keer in te ongunstige trillingsniveaus. Een verschil van 5 dB resulteert in een mogelijk verschil in trillingsniveau van circa 80 % (factor 1,8) en levert daarmee een behoorlijke bandbreedte op de resultaten van de prognose op. Uit literatuur blijkt dat met dergelijke verschillen rekening moet worden gehouden [lit. 10.]. Deze bandbreedte is daarom in de resultaten van de reeds uitgevoerde prognose verwerkt.

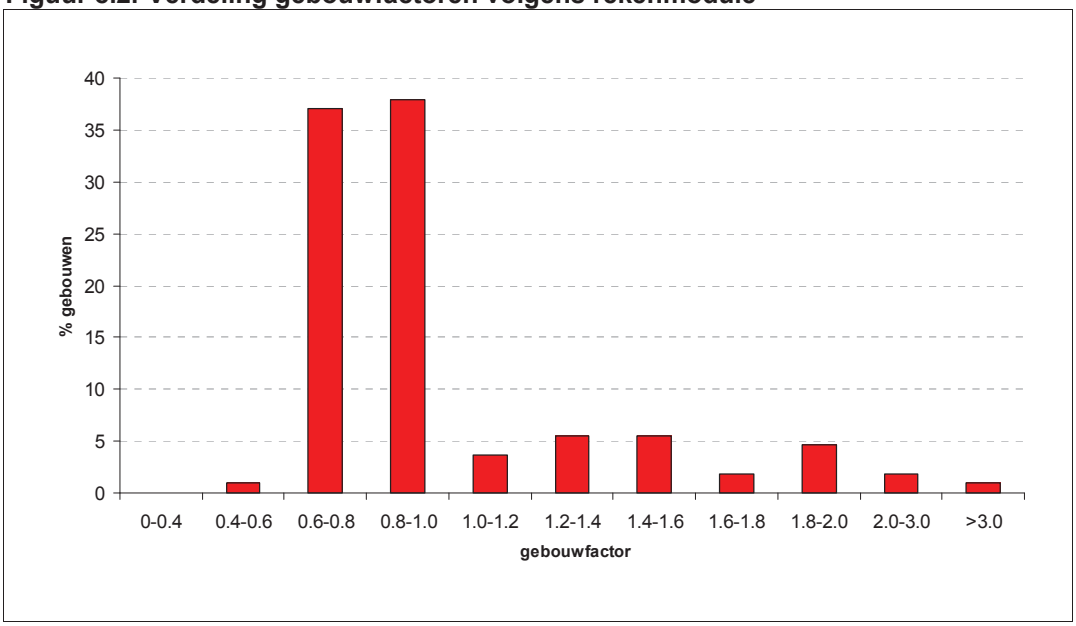
8.3.2. Resultaten trillingsproef 2012: validatie gebouwoverdracht

De resultaten van de vergelijking tussen de gemeten en berekende gebouwoverdrachten voor het zestal gemeten gebouwen worden in bijlage XII gepresenteerd. Uit de vergelijking blijken de gemeten en berekende gebouwoverdrachten te verschillen. Daar waar volgens de rekenmodule gebouwoverdrachten groter dan 1,0 worden gevonden blijkt dit uit de proefresultaten niet, maar ook andersom blijkt voor de gebouwen aan de Phoenixstraat 32 volgens de meting een behoorlijk grotere gebouwoverdrachtsfactor dan volgens de rekenmodule. Kijken we naar de gemiddelde gebouwoverdrachtsfactor dan vinden we een vergelijkbare waarde.

Deze resultaten geven aanleiding om niet zozeer naar een specifiek pand te kijken maar naar de verdeling van overdrachtsfactoren van de panden. Op deze wijze kan procentueel gezien een uitspraak worden gedaan over mogelijk optreden van een overschrijding.

Aangezien er voor meer dan honderd panden een gebouwfactor middels de rekenmodule is afgeleid is bekeken hoe de verdeling van de overdrachtsfactoren volgens de gebouwmodule er voor alle panden uitziet. Figuur 8.2 geeft deze verdeling weer. Het grootste deel van de gebouwfactoren blijkt volgens de gebouwmodule onder de 1,0 te liggen. Slechts voor een beperkt aantal gebouwen (25 %) is een factor hoger dan 1,0 gevonden.

Figuur 8.2. Verdeling gebouwfactoren volgens rekenmodule



Uit de resultaten van de trillingsproef wat betreft de gebouwfactor volgt dat voor het zestal beschouwde gebouwen de werkelijk gemeten overdrachtsfactoren verschillen van de berekende waarden. Echter, het gemiddelde en de variatie in grootte van waarden blijkt voor beide gevallen vergelijkbaar. De verdeling van berekende en gemeten overdrachten is dus vergelijkbaar, de exacte locatie waar de hoogste overdracht optreedt niet. Indien naar de verdeling van berekende gebouwoverdrachten voor het honderdtal gebouwen wordt gekeken, bestaat daarom de verwachting dat de verschillen in meting en berekening procentueel gezien nauwelijks verandering in de prognose van trillingsniveaus opleveren, de locaties waar de hoogste overdrachten optreden wel.

Middels de trillingsproef is voor een zestal panden aan de Phoenixstraat de overdrachtsfactor gemeten. Indien er voor meer dan zes panden een overdrachtsfactor bepaald zou worden middels een meting zou de berekende verdeling van overdrachten uitgebreider kunnen worden getoetst. Omdat de orde van grootte van de berekende en gemeten gebouwoverdrachten geen verschillen laten zien, zijn er geen aanvullende gebouwoverdrachtmetingen uitgevoerd.

8.4. Prognose en toetsing maximale trillingsniveaus (v_{max})

Uit de resultaten van de trillingsproef en de metingen nabij station Rijswijk uit 2014 blijken de volgende resultaten:

1. de gebouwoverdrachten verschillen in waarden tussen de meting en de berekening. De ene keer blijkt de berekening te gunstig te andere keer te ongunstig. Echter, kijkt men naar de verdeling en niet zozeer naar een specifieke locatie dan volgt een vergelijkbaar resultaat;
2. de onbetrouwbaarheid in bodemoverdrachten tussen meting en berekening is gemiddeld 5 dB. Het verschil tussen berekening en meting blijkt de ene keer gunstig en de andere keer ongunstig te zijn met het oog op het resulterende trillingsniveaus conform de prognose. Er is geen systematische over of onderschatting gevonden;
3. uit de metingen van 2014 over een periode van 2 weken volgt een maatgevend trillingsniveau dat bepaald is volgens de Bts 2014, die maximaal een factor 1,55 hoger ligt dan berekend met de bronkrachten. Om de v_{max} met de gemeten bronkrachten in overeenstemming te brengen met de Bts moeten deze met een factor 1,55 vermenigvuldigd worden.

Omdat uit de aanvullende onderzoeken blijkt dat de overdrachten (en daarmee de trillingsniveaus) die berekend zijn voor een specifieke locatie in werkelijkheid behoorlijk kunnen afwijken van de berekeningen, maar dat over meerdere locaties een gemiddeld beeld wel goed overeenkomt, geven de resultaten aanleiding om een nadere statistische uitwerking van de resultaten van het rekenmodel uit te voeren.

8.4.1. Statistische uitwerking

Wordt naar de prognose op een statistische wijze gekeken dan dienen de verschillende schakels in het rekenmodel nader te worden beschouwd. Uit figuur 6.1 volgt dat het rekenmodel bestaat uit 2 stappen:

stap 1:

$$F_{bronkracht} = O_{Delft} * {O_{Rijswijk}}^{-1} * v_{metingRijswijk}$$

stap 2:

$$v_{gebouw} = O_{Delft_bodem} * H_{gebouw} * F_{bronkracht}$$

waarvoor geldt:

$F_{bronkracht}$	is de door Deltares afgeleide bronkracht;
O_{Delft}	is de berekende overdracht voor de Delftse referentiedoorsnede;
$O_{Rijswijk}^{-1}$	is de inverse van de overdracht voor de Rijswijkse doorsnede;
$v_{metingRijswijk}$	is de maatgevende gemeten trillingssnelheid in Rijswijk;
H_{gebouw}	is de berekende gebouwoverdracht met GIS-module per pand in Delft;
O_{Delft_bodem}	is de berekende bodemoverdracht in Delft per dwarsdoorsnede met GIS-module.
v_{gebouw}	is de uiteindelijke trillingsnelheid in het gebouw, welke is omgerekend naar een v_{max} waarde conform de SBR-richtlijn.

Om te bepalen met welke kans v_{gebouw} een bepaalde streef- of grenswaarde overschrijdt dient per bovengenoemde schakel de kansverdeling bekend te zijn.

Door de trillingsproef uit te voeren is een indruk verkregen in de onzekerheid in de bodemoverdracht in Delft: $O_{Delft.}$ De factor gevonden factor bedraagt 1,8. Hierin is zowel parameter- als modelonzekerheid aanwezig.

Hierin is zowel model- als parametervariatie aanwezig. Uit de trillingsproef volgt ook dat de gebouwoverdrachten een gemiddelde en variatie vertonen die vergelijkbaar is met de berekeningen.

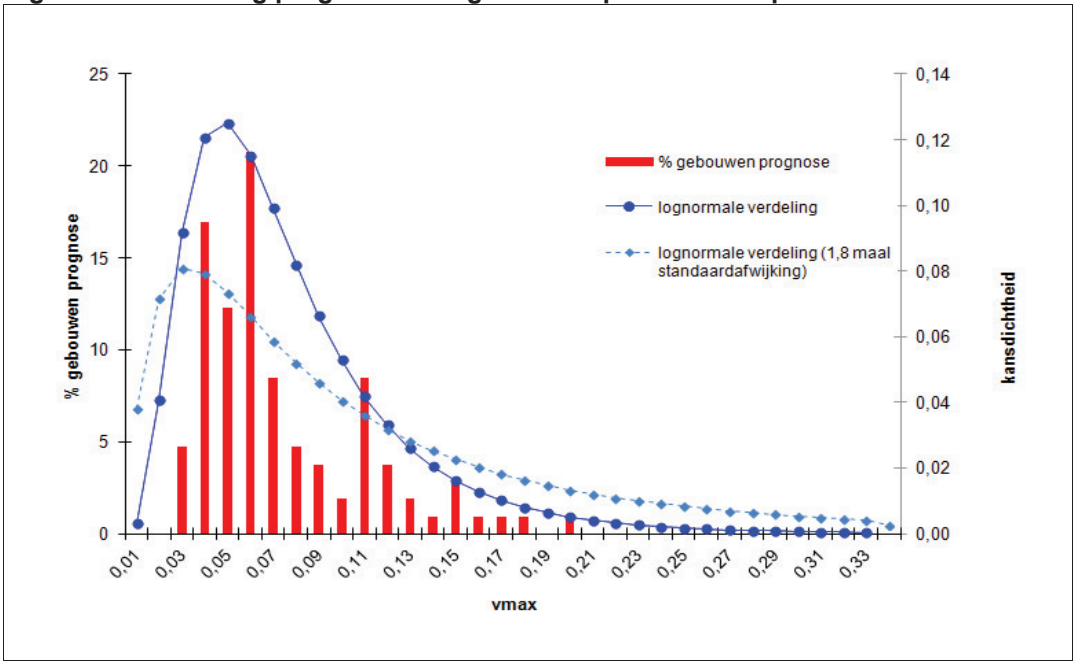
Door voor een honderdtal panden het trillingsniveau te berekenen op basis van de GIS-modules (stap 2), wordt een set aan trillingsniveaus gevonden waarin de verschillende variaties aanwezig zijn. De afstand is hierbij per woning bepaald op basis van de GIS database en de overdachten zijn berekend met grondparameter eigenschappen die door Deltares zijn afgeleid en in de GIS database aanwezig zijn. Hiermee is impliciet een kansverdeling met daarin de onzekerheid van O_{Delft_bodem} en H_{gebouw} verkregen.

Voor de bronkracht geldt dat op basis van de aanvullende metingen een factor 1,55 is bepaald, waarmee de bronkracht een bovengrens betreft. De overdracht in Rijswijk ($O_{Rijswijk}$) om de bronkracht voor de Delftse situatie af te leiden is bepaald op basis van een gelaagd vlakkerek model met tunnelconstructie. In het model zijn vooraf bepaalde parameters ingevoerd en zijn parameter- en modelonzekerheid niet nader in rekening gebracht. In de uiteindelijk afgeleide bronkracht voor de Delftse situatie blijft dus een mate van onzekerheid zitten.

8.4.2. Verdeling trillingsniveaus Delft

De berekende trillingsniveaus voor het honderdtal panden is benaderd met een lognormale verdeling. Hierbij valt op te merken dat de nauwkeurigheid van de verdeling afhangt van de grootte van de set. In de verdeling blijft dus een mate van onzekerheid aanwezig. De prognose van trillingsniveaus over het honderdtal panden worden als een verdeling weergegeven in figuur 8.3. Hierbij wordt de originele verdeling en de verdeling met een verhoogde standaardafwijking (factor 1,8) gepresenteerd.

Figuur 8.3. Verdeling prognose trillingsniveaus plansituatie spoorzone Delft

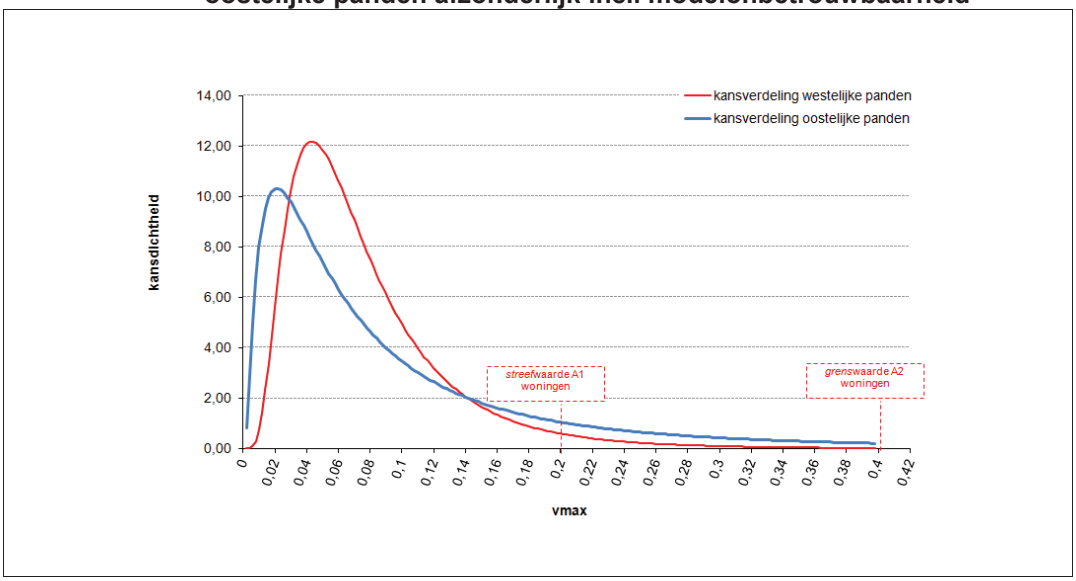


Bovenstaande verdeling is bepaald op basis van:
- het maximum van de vier bronkrachten afgeleid door Deltares uit metingen uit 2008;
- een toeslag op de gehanteerde bronkracht met een factor 1,55 op basis van aanvullende metingen station Rijswijk uit 2014 om aan de eisen van de Bts te voldoen;
- per pand een gebouwspecifieke berekende gebouwfactor;
- per pand een locatiespecifieke bodemoverdachtsberekening.

De lognormale verdelingen tonen het verloop van de kansdichtheid. Om te bepalen hoe groot het percentage panden is dat onder een bepaalde waarde blijft moet de functie worden geïntegreerd tot aan die waarde. Voor zowel de lognormale verdeling als de lognormale verdeling met een 1,8 maal grotere standaardafwijking geldt dat het oppervlak onder de totale grafiek 1 is.

Bovenstaande verdeling geldt voor de dataset waarin alle woningen in de spoorzone zijn meegenomen. Voor de studie PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid geldt echter dat de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis leidt tot een toename in trillingsniveaus enkel voor panden aan de westzijde van het spoor. Deze panden liggen in de plansituatie structureel verder van het spoor dan de oostelijke panden. Om dit in kaart te brengen is dezelfde lognormale verdeling bepaald voor enkel panden aan de westzijde en enkel panden aan de oostzijde. De verdelingen worden weergegeven in onderstaande figuur.

Figuur 8.4. Verdeling prognose trillingsniveaus spoortunnel plansituatie westelijk en oostelijke panden afzonderlijk incl. modelonbetrouwbaarheid



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de verdeling voor de westelijke panden er anders uit ziet dan voor de oostelijk panden. Het structurele verschil in afstanden tot de tunnel wordt hiermee zichtbaar. De verdeling voor de westelijk panden is uiteindelijk gebruikt voor de toetsing. De westelijke panden liggen onderling grotendeels op vergelijkbare afstand van de tunnel.

Op basis van de verdeling voor de westelijke panden waarbij een vergrote standaardafwijking (factor 1,8) wordt gehanteerd volgt de verwachting dat voor circa 4 % van de woningen in de spoorzone die dicht op de spoortunnel staan (en daarmee in het rekenmodel zijn meegenomen) een overschrijding van de streefwaarde van 0,2 te verwachten is. Dit geldt voor een willekeurig woning direct grenzend op de tunnel aan de westelijke zijde (Spoorsingel). Voor kantoorgebouwen ligt de streefwaarde op 0,3 en ligt het percentage onder de 1 %. Tabel 8.1 vat de resultaten samen.

Tabel 8.1. Toetsing v_{max} plansituatie westelijk zijde

grenswaarde	percentage panden onder streefswaarde	percentage onder grenswaarde
woning	96 %	>99 %
kantoor	>99 %	>99 %

Metingen trillingsniveaus huidige situatie 2011

In de toetsing van trillingsniveaus wordt gekeken naar de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie. De huidige situatie wordt niet getoetst. De huidige situatie in de spoorzone betreft de situatie waarin het treinverkeer nog over het viaduct rijdt. Er is in 2011 een aantal trillingsmetingen in gebouwen aan de Spoorsingel en Phoenixstraat uitgevoerd, waarmee een indruk is verkregen wat de trillingsniveaus zijn in de situatie dat het spoorviaduct in gebruik is. De gemeten maximale trillingsniveaus worden in onderstaande tabel voor de Spoorsingel weergegeven. Uit de tabel volgt dat in de huidige situatie de trillingsniveaus voor de drie gemeten panden aan de Spoorsingel tussen de 0,27 en 0,42 liggen. Alle drie liggen de niveaus boven de streefwaarde van 0,2.

Tabel 8.2. Trillingsmeting situatie spoorviaduct

adres	v_{max} meting huidige situatie (spoorviaduct in gebruik)
Spoorsingel 20/21	0.38
Spoorsingel 79	0.27
Spoorsingel 25D/25E	0.42

Verwachte toename westelijke zijde

Op basis van de afstandsdemping gevonden voor de deelgebied 2 en 3 (tabel 5.3) is een toename afgeschat voor de woningen aan de westelijke zijde van de spoortunnel. Door de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis komt het spoor circa 14 meter dichter op de woningen te liggen. Uit de gevonden afstandsdemping (deelgebieden 2 en 3) volgt dat een afname van 14 meter tot een toename leidt van mogelijk meer dan 30 % leidt.

8.5. Prognose en toetsing gemiddelde trillingsniveaus (v_{per})

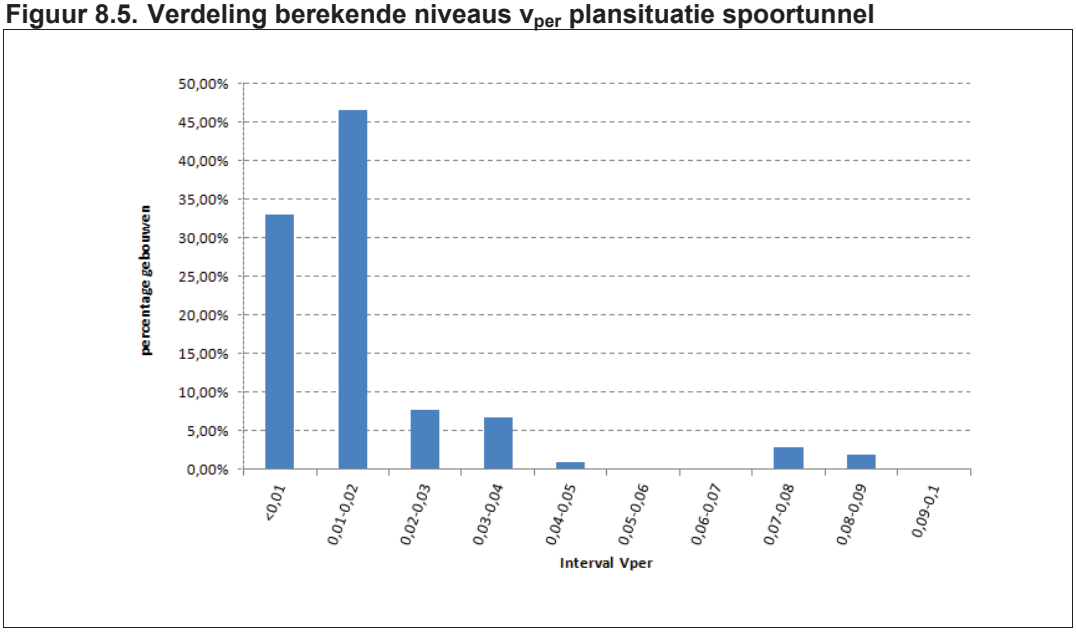
Voor de toetsing van v_{per} wordt een gemiddelde genomen van alle optredende trillingsniveaus in een dagdeel. De waarde van v_{per} wordt voor de spoortunnel waarin de gehele dagperiode de trillingsbron aanwezig is, als volgt vastgesteld:

$$v_{per} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \bullet \sum_{i=1}^{n} v^2_{eff,\max,30,i}\right]}$$

Waarin n het aantal van 30 seconden in de meetperiode is. Voor de maatgevende dagperiode (van 07.00 tot 19.00 uur) geldt n=1440.

Uit tabel 7.3 volgt het aantal treinpassages per uur per type. Omdat met het rekenmodel voor een viertal type bronkrachten per woning een maximaal trillingsniveaus is berekend, kan op basis van het berekende trillingsniveau per type trein en het aantal maal per uur dat deze trein passeert een waarde voor v_{per} berekend worden. De door Deltares afgeleide bronkrachten betreffen echter geen gemiddelde waarden maar bovengrenswaarden. Door de aanname te doen dat elke treinpassage een trillingsniveau tot gevolg heeft gelijk aan het berekende niveau als gevolg van de bronkracht behorende bij het type trein, wordt een overschatting van de waarde van v_{per} gevonden. In figuur 8.5 wordt een verdeling van de berekende v_{per} waarden over het honderdtal panden weergegeven. Hierin is geen onderscheid gemaakt tussen panden aan de oostzijde en panden aan de westzijde van de tunnel.

Figuur 8.5. Verdeling berekende niveaus v_{per} plansituatie spoortunnel



Uit de resultaten van de berekening volgt dat voor geen enkel pand een waarde voor v_{per} van meer dan 0,09 wordt gevonden. Meer dan 95 % ligt onder 0,05. Hierbij geldt dat:

- de bronkrachten niet tot gemiddelde trillingsniveaus resulteren maar een hogere waarde;
- alle bronkrachten gebaseerd zijn op treinpassages met een hoge snelheid, terwijl de meeste treinen in Delft halteren.

Verwacht wordt dan ook dat de berekende v_{per} niveaus eerder een overschatting dan een onderschatting betreffen. De prognose voor v_{per} betreft daarom een bovengrens.

8.6. Laagfrequente geluidsniveaus spoortunnel

Naast trillingen als gevolg van railverkeer in de spoortunnel in Delft, kan er mogelijk laagfrequent geluid optreden in woningen als indirect gevolg van trillingen. Het trillen van de vloer, wanden of plafond van een woning kan namelijk tot laagfrequent (constructie) geluid leiden. Men spreekt hierbij over laagfrequent geluid omdat het over geluid met frequenties in het frequentiegebied van circa 30 to 250 Hz gaat.

Dat laagfrequente geluidsniveaus tot hinder kunnen leiden is onder andere het gevolg van het feit dat het 'gewone' geluid volledig geblokkeerd wordt door de tunnel. Het blijkt dat in het geval van een spoortunnel laagfrequent geluid maatgevender kan zijn wat betreft hinderbeleving dan trillingen [lit. 14.]. Voor de spoortunnel in Delft is echter op basis van de trillingspredicties reeds besloten een ballastmat toe te passen in de tunnel. Kenmerkend voor een ballastmat is dat deze trillingen vanaf circa 30 tot 40 Hz. dempt. Veelal is bij geval van hinder door laagfrequente geluidsniveaus het dominante frequentiegebied tussen de 30 en de circa 100 Hz. Voor optredende laagfrequente geluidsniveaus als gevolg van treinpassages bestaat daarom de verwachting dat de ballastmat effectief de niveaus reduceert.

Om een indruk te krijgen welke laagfrequente geluidsniveaus te verwachten zijn is een prognose van laagfrequente geluidsniveaus gemaakt op basis van de reeds uitgevoerde trillingsprognose van de spoortunnel voor de situatie inclusief ballastmat.

8.6.1. Prognose en toetsing laagfrequente geluidsniveaus op basis van trillingsniveaus

In de vorige paragraaf is de prognose van trillingsniveaus in de omringende bebouwing van de spoortunnel in Delft besproken.

De trillingsniveaus die optreden in een gebouw kunnen resulteren in laagfrequent geluid. Een gebruikelijke methode (zie [lit. 10.]) om het geluidsdrukniveau in dB (re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa) van afgestraalde vloeren dan wel wanden te schatten is om aan de hand van onderstaande formule het trillingsniveau om te rekenen naar geluidsdrukniveau:

$$L_p = L_v + 10\log_{10}(\sigma) - 10\log_{10}(H) - 20 + 10\log_{10}(T_{60})$$

Hierbij is L_v het trillingsniveau in decibel re 10^{-9} m/s,en H=V/S is de hoogte van de betreffende kamer. Voor de afstraalfactor σ kan als schatting een bovengrenswaarde van 1,0 gehanteerd worden en de nagalmtijd T_{60} wordt conform [lit. 10.] op 0,5 seconden geschat. Zodoende volgt een schatting van het geluidsdrukniveau om te kunnen toetsen conform methode de Ruiter.

Het trillingsniveau L_v is in dit geval niet gebaseerd op de v_{max} waarde (gewogen effectieve waarde), maar de topwaarde van de trillingsnelheid. Voor het circa honderdtal panden in de Spoorzone waarvoor een prognose van trillingsniveaus is gemaakt, is op basis van bovenstaande vergelijking een indruk verkregen in te verwachten geluidsniveaus. Hierbij is per octaafband gekeken naar het te verwachten geluidsniveau.

De procedure om de te verwachten geluidsniveaus uit te rekenen die is gehanteerd luidt als volgt:

1. voor het honderdtal gebouwen waarvoor een trillingsprognose is uitgevoerd zijn per gebouw meerdere ontvangerpunten met bij behorend trillingssignaal beschikbaar (bijvoorbeeld alle hoekpunten van het gebouw);
2. per gebouw is het meest maatgevende punt gehanteerd in de bepaling van het te verwachte geluidsniveau;
3. de meeste panden in de Spoorzone bezitten geen paalfundering. Voor de panden die wel een paalfundering hebben, zijn de berekende trillingssignalen van zowel de ontvangerpunten op maaiveld als de ontvangerpunten op diepte meegenomen in de bepaling van laagfrequent geluidsniveaus;
4. er is gerekend met een gebouwfactor van 3,0 (conservatieve benadering);
5. voor het circa honderdtal panden is per octaafband het maatgevende geluidsniveau berekend per type trein;
6. per octaafband is op deze wijze een dataset aan geluidsniveaus berekend. De verdeling van geluidsniveaus per octaafband per type trein over het honderdtal gebouwen is benaderd met een normaalverdeling;
7. vervolgens is per type trein (bronkracht) op basis van de verdeling bepaald wat de verwachting van het gemiddelde geluidsniveaus per octaafband is en wat het 5 % overschrijdingspercentage is.

8.6.2. Toetsing per octaafband

In bijlage XVI worden de resultaten van de berekende gemiddelde geluidsniveaus en 5 % overschrijdingspercentage geluidsniveaus weergegeven voor de 4 verschillende octaafbanden. Uit de resultaten blijkt de 63 Hz band steeds maatgevend te zijn. In onderstaande tabel worden de resultaten voor deze maatgevende band weergegeven.

Tabel 8.3. Resultaten maatgevende 63 Hz band (situatie inclusief ballastmat)

	dubbeldekker	Thalys	intercity	goederentrein
gemiddelde LFG-niveau	27,8 dB	23,7 dB	28,7 dB	19,7 dB
5 % overschrijdingspercentage	**51,8 dB**	47,5 dB	50,7 dB	36,5 dB
grenswaarde de Ruiter woning	55 dB	55 dB	55 dB	55 dB

In de resultaten van bovenstaande tabel zijn nog niet de onzekerheden van de overdrachten meegenomen. Zoals besproken in paragraaf 6.3 blijkt dat rekening gehouden moet worden met een onzekerheid in bodemoverdracht van circa 1,8.

Wordt een vergrote standaardafwijking van 1,8 in de huidige afwijking in rekening gebracht, dan wordt voor de maatgevende 63 Hz band de verwachte overschrijdingspercentage op basis van de berekende geluidsniveaus weergegeven in tabel 8.4.

Tabel 8.4. Overschrijdingspercentage maatgevende 63 Hz octaafband tweemaal grotere standaardafwijking (situatie inclusief ballastmat)

	dubbeldekker	Thalys	intercity	goederentrein
overschrijdingspercentage grenswaarde de Ruiter woning (55 dB)	10 %	7 %	1 %	1 %

Uit de tabel volgt dat de passage van een dubbeldekker maatgevend is in het te verwachten overschrijdingspercentage voor de grenswaarde van een woning. Wordt niet naar een woning maar naar een kantoorgebouw gekeken dan volgt voor een dubbeldekker een overschrijdingspercentage van 7 %.

Voor 10 % van de panden wordt een overschrijding verwacht van de grenswaarde voor de 63 Hz octaafband. Omdat echter met een gebouwfactor van 3,0 is gerekend is de verwachting dat het percentage overschrijdingen een overschatting betreft. De verwachting is dat in werkelijkheid dit percentage sterk is gereduceerd. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de beoordeling.

Verwachte toename woningen aan westelijke zijde

De maatgevende frequentieband blijkt de 63 Hz band te betreffen. De gevonden afstandsdemping voor de trillingsniveaus voor deelgebieden 2 en 3 op basis waarvan een grove schatting van de toename van trillingsniveaus voor de westelijk zijde van de spoortunnel is bepaald, geldt voor 5 -50 Hz. Verwacht wordt dat hogere frequenties een hogere demping kennen waardoor de toename van maatgevende laagfrequent geluidniveaus mogelijk hoger is dan van de maatgevende trillingsniveaus. Voor de laagfrequente geluidsniveaus geldt daarom voor de plansituatie dat wordt verwacht dat deze zijn toegenomen ten op zicht van de referentiesituatie met meer dan 30 % voor de woningen aan de westelijke zijde van de spoortunnel. Voor de toegenomen niveaus gelden de in de vorige paragraaf besproken overschrijdingspercentages.

DEEL III: OVERALL RESULTATENBEOORDELING

9. EFFECTBESCHRIJVING EN -BEOORDELING

Dit hoofdstuk vat de beoordeling samen en beschrijft de conclusies.

9.1. Beoordeling traject Den Haag Centraal - Delft plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal

Voor het traject Den Haag Centraal - Delft plus Delft Zuid - Rotterdam Centraal zijn alle deelgebieden getoetst op de wijziging van het gemiddelde trillingsniveau v_{per} in de plansituatie omdat de treinaantallen wijzigen. Uit de globale prognose (stap 1) volgt dat voor deelgebied 2 (Rijswijk -Delft Noord tunnelmond), deelgebied 3 (Zuidelijke tunnelmond- Delft Zuid) en deelgebied 5 (Schiedam - Rotterdam Centraal) geen overschrijdingen van de grenswaarden conform artikel 7 van de Beleidsregel Trillingshinder Spoor worden gevonden. In deelgebied 1 (Den Haag Centraal - Rijswijk) is één woning waar een overschrijding wordt gevonden. Ter plaatse van Kethel in deelgebied 4 (Delft Zuid - Schiedam) worden voor een tiental woningen overschrijdingen gevonden. De toename in v_{per} van referentiesituatie naar plansituatie bedraagt hierbij 10 %.

In de verfijnde prognose (stap 2) is op basis van gemeten gebouwoverdrachten de prognose verfijnd. Hieruit volgt dat de woning aan de Vredenburchweg 158 in Rijswijk alsnog niet voldoet. Voor een achttal woningen in Kethel wordt in de verfijnde prognose ook een overschrijding van de grenswaarde van v_{per} gevonden. Hierbij betreffen twee adressen (Buitenkerklaan 38 en 40) een spoorwachtershuisje dat zeer dicht op het spoor gelegen is. In tabel 9.1 worden de resultaten voor deze woningen weergegeven. Een (gemiddelde) gebouwoverdrachtsfactor van 1,4 is gemeten voor de woning aan de Groeneweg 4, voor de Groeneweg 2 is een (gemiddelde) gebouwfactor van 1,0 gemeten.

Tabel 9.1. Resultaten verfijnde prognose woningen Kethel

	afstand tot buitenkant spoor (m)	gebouwfactor 1,0		gebouwfactor 1,4		gebouwfactor 2,0	
		$v_{per\ ref}$	$v_{per\ plan}$	$v_{per\ ref}$	$v_{per\ plan}$	$v_{per\ ref}$	$v_{per\ plan}$
Buitenkerklaan 32	29	0,06	0,07	0,09	0,10	0,13	0,14
Buitenkerklaan 34	25	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18
Buitenkerklaan 38	3	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Buitenkerklaan 40	3	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***	***0,60***	***0,67***
Kerkweg 100	17	**0,13**	**0,15**	**0,18**	**0,21**	0,26	0,29
Groeneweg 2	12	**0,18**	**0,20**				
Groeneweg 4	13			**0,23**	**0,26**		
Groeneweg 6	22	**0,10**	**0,11**	**0,14**	**0,15**	0,19	0,22

Conform de Bts geldt dat daar waar de grenswaarde van v_{per} wordt overschreden, in geval van toename maatregelen afgewogen dienen te worden. Aangezien middels de prognose enkele overschrijdingen te verwachten zijn worden in hoofdstuk 11 ten behoeve van het Tracébesluit maatregelen afgewogen.

Uit een aanvullende meting in het voormalig spoorwachtershuisje (Buitenkerklaan 38 en 40) blijkt dat er geen sprake is van overschrijding van de bovenste grenswaarde van 3,2. Er is dus geen sprake van ernstige hinder. Wel treden er relatief hoge trillingsniveaus op (v_{max} = 2,02). In geval van trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer is meestal geen sprake van kans op schade. Echter bij niveaus van v_{max} gemeten bij het voormalig spoorwachtershuisje valt de kans op schade aan de woning op voorhand niet geheel uit te sluiten en dient de Vtop waarde te worden getoetst. Het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid resulteert echter niet in een wijziging van maximaal trillingsniveau waardoor de kans op schade aan de woning als gevolg van het project niet wijzigt.

Uit de toetsing van v_{max} volgt dat in alle deelgebieden geen overschrijding van de uiterste grenswaarde van 3,2 wordt verwacht. De bebouwing nabij het spoor gelegen in deelgebieden 2 en 3 (ten noorden en ten zuiden van de spoortunnel in Delft) is getoetst op toename in v_{max}, omdat in deze gebieden een wijziging van de spoorinrichting plaatsvindt. De Bts staat een toename van maximaal 30 % in v_{max} toe. Uit de prognose volgt voor alle gebouwen dat aan de Bts wordt voldaan.

9.2. Beoordeling spoortunnel

In het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid worden de effecten van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis in Delft en een gewijzigd aantal treinpassages in kaart gebracht. De ingebruikname van de westelijke en oostelijke tunnelbuis samen betreft dus de plansituatie. Dit wordt in het PHS onderzoek vergeleken met de referentiesituatie waarin treinen alleen over de twee sporen in de oostelijk tunnelbuis rijden.

Om de effecten te bepalen is middels een rekenmodel voor een honderdtal panden een maatgevend trillingsniveau berekend, waarbij onderscheid is gemaakt in een viertal type treinen. Namelijk de goederentrein, de intercity, de Thalys en de dubbeldekker. Zodoende is per pand een maximaal optredend trillingsniveau berekend waarbij per pand de gebouweigenschappen zijn meegenomen (fundering, type constructiemateriaal, geometrische eigenschappen etc.). Omdat dit maximale trillingsniveau sterk afhangt van type pand, de geometrie maar ook van de lokale bodemopbouw wordt in de spoorzone een grote variatie in berekend trillingsniveau gevonden.

De resultaten van een trillingsproef die op een drietal locaties in 2012 is uitgevoerd in de oostelijke tunnelbuis en in een zestal naastgelegen panden, bevestigen de variatie in bodem- en gebouwoverdrachten. Echter, uit de proef blijkt dat daar waar gunstige overdrachten waren berekend met het rekenmodel uit de meting ongunstigere overdrachten zijn gevonden en daar waar ongunstigere overdrachten waren berekend er juist gunstigere overdrachten zijn gevonden. Dit heeft tot de conclusie geleid dat bij de beoordeling van de resultaten van het rekenmodel, rekening moet worden gehouden met een mate van onzekerheid. Om tot een beoordeling te komen is gekozen om de prognoseresultaten te interpreteren middels een statistische benadering. In de benadering zijn de middels de trillingsproef gevonden onzekerheden verwerkt en zijn de resultaten van aanvullende trillingsmetingen in en naast station Rijswijk verdisconteerd. Zodoende is tot een bepaling van het effect van treinpassages door zowel de oostelijke als de westelijke buis gekomen waarin de gevonden onzekerheden zijn verdisconteerd.

Woningen aan de oostzijde (Phoenixstraat)
In de beoordeling van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid is een onderscheid te maken tussen woningen aan de oostelijke zijde van de tunnel (zijde Phoenixstraat) en woningen aan de westelijke zijde (zijde Spoorsingel). Voor woningen aan de oostzijde geldt dat het effect van treinen door de westelijke tunnelbuis minder maatgevend is dan het effect van treinen door de oostelijke tunnelbuis. Er is voor de woningen aan de oostzijde daarom geen toename in trillingsniveau te verwachten. Hierbij geldt dat niet wordt verwacht dat treinen door de westelijke tunnelbuis een versterkend effect hebben op trillingen in panden aan de oostelijke zijde als gevolg van treinen door de oostelijke tunnelbuis. Uit de prognose volgt dat de verwachte optredende maximale trillingsniveaus (v_{max}) in alle panden in de spoorzone ver onder de bovenste grenswaarde van 3,2 liggen, waardoor voor het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid onderzoek de panden aan de oostzijde voldoen aan de Bts toets voor v_{max}. Uit een berekening voor v_{per} voor de plansituatie (met gewijzigde treinaantallen) waarin een worstcase situatie is beschouwd, volgt de verwach-

ting dat ook v_{per} in geen van de panden in de spoorzone (dus ook niet aan de oostzijde) de grenswaarde overschrijdt.

Voor wat betreft laagfrequente geluidsniveaus in de woningen aan de oostzijde van de spoortunnel geldt eveneens dat de maatgevende treinen door de oostelijke tunnelbuis rijden, waardoor niet wordt verwacht dat treinen door de westelijke buis tot maatgevendere laagfrequente geluidsniveaus leiden.

Woningen aan de westzijde (Spoorsingel)
Voor panden aan de westzijde geldt dat er een toename van trillingsniveaus te verwachten is omdat treinen door de westelijke tunnelbuis op een kleinere afstand tot het pand passeren dan treinen door de oostelijke tunnelbuis. Omdat er sprake is van een gewijzigde situatie dient volgens de Bts te worden getoetst of het maximale trillingsniveau v_{max} aan de onderste streefwaarde A1 wordt voldaan. Indien dit het geval is wordt voldaan aan de Bts. Indien niet wordt voldaan en er een toename van meer dan 30 % wordt gevonden dienen er maatregelen te worden afgewogen. In geval van overschrijding van de grenswaarde A2 dienen sowieso maatregelen te worden afgewogen. De precieze toename is met het rekenmodel niet berekend omdat de situatie is doorgerekend waarin treinverkeer over de twee buitenste sporen van beide tunnelbuizen (sporen 1 en 4) aanwezig is. Echter, op basis van een grove schatting waarbij de afstandsdemping van deelgebied 2 en 3 van het studiegebied wordt gehanteerd volgt dat de toename in trillingsniveau door de afname in afstand van bebouwing tot aan tunnel meer dan 30 % kan bedragen. Voor de panden aan de westzijde is daarom getoetst of aan de streefwaarde A1 wordt voldaan.

Uit de statistische benadering van de prognoseresultaten van trillingsniveaus voor de panden aan de westelijke zijde volgt:
- voor de woningen aan de westzijde (Spoorsingel) bestaat de verwachting dat op basis van de resultaten van het rekenmodel in 4 % van deze woningen een overschrijding van de streefwaarde A1 van 0,2 optreedt bij de maatgevende treinpassage;
- voor de streefwaarde van kantoorgebouwen bedraagt dit percentage minder dan 1 %, de streefwaarde voor kantoren bedraagt 0,3;
- de verwachte v_{per} niveaus voor de plansituatie liggen onder de te hanteren grenswaarde van 0,1.

Voor de panden met woonfunctie aan de westzijde (Spoorsingel) volgt de verwachting dat voor 4 % van deze woningen een overschrijding van de streefwaarde te verwachten is en dat een toename van meer dan 30 % op basis van de resultaten niet uit te sluiten is. De resultaten van de trillingsproef hebben tot er toe geleid om deze statische benadering te hanteren waardoor op voorhand niet kan worden aangegeven in welke pand een overschrijding te verwachten is. Er is ook geen sprake zijn van zeer verschillende pandcategorieën waarvoor een verschillend trillingsgedrag wordt verwacht zodat een specifiekere uitspraak gedaan kan worden over waar de overschrijdingen te verwachten zijn. Uit bouwkundige inspecties van de panden (waarvan de resultaten zijn meegenomen in de berekeningsmodule voor de gebouwoverdrachten) blijkt dat de panden vrijwel allen oude metselwerken op staal gefundeerde panden betreffen met houten vloeren.

Omdat in totaal een circa honderdtal panden aan de Spoorsingel is gesitueerd, volgt dat voor een beperkt aantal panden een overschrijding van de streefwaarde wordt verwacht. Voor dit beperkte aantal panden geeft toetsing van de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie volgens de Bts aanleiding maatregelen af te wegen.

In de beoordeling van het project PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid geldt dat enkel wordt beoordeeld of er een effect te verwachten is van de ingebruikname van de westelijke

en oostelijke tunnelbuis ten opzichte van enkel de oostelijke tunnelbuis. Voor de panden aan de westzijde is hierdoor een toename in trillingsniveaus te verwachten. In de beoordeling wordt echter niet meegenomen dat in de huidige situatie een spoorviaduct aanwezig is waarvoor geldt dat uit metingen blijkt dat treinen over het spoorviaduct maatgevendere trillingsniveaus tot gevolg hebben (voor een drietal locaties zijn waarden rond de *grens*waarde gemeten) dan trillingsniveaus als gevolg van treinen door zowel de oostelijke als de westelijke tunnelbuis (waarvoor enkele overschrijdingen van de *streef*waarde wordt verwacht). Voor de bewoners aan de westzijde geldt daarom dat het trillingsniveau als gevolg van de ingebruikname van de westelijk tunnelbuis wel toeneemt ten opzichte van enkel de oostelijke tunnelbuis, maar dat het trillingsniveau nog steeds is afgenomen ten opzichte van de huidige situatie waarin treinen over het viaduct rijden. Het realiseren van de viersporige tunnel in Delft heeft dus ten opzichte van het spoorviaduct een trillingsreducerend effect heeft voor de woningen aan de Spoorsingel.

Om pandspecifieke maatregelen af te kunnen wegen is het nodig te weten om welke panden het gaat. Dit is enkel mogelijk door voor alle panden de woningoverdrachten meettechnisch te bepalen. Uit de bouwkundige inspecties bleek namelijk dat er geen (wat betreft trillingsgevoeligheid) duidelijke categorisering te maken valt, maar dat vrijwel alle panden trillingsgevoelig zijn vanwege de metselwerken bouwconstructie met houten vloeren. Het meettechnisch bepalen van de gebouwoverdrachten zou een buiten proportionele inspanning vergen omdat er dan nog steeds rekening gehouden moet worden met onzekerheid in de bodemoverdrachten, wat uit de resultaten van de trillingsproef blijkt.

Voor de verwachte optredende laagfrequente geluidsniveaus volgt uit de resultaten dat voor 10 % van de panden de grenswaarde volgens methode de Ruiter in de 63 Hz band wordt overschreden. De prognose van laagfrequente geluidsniveaus is echter een bovengrensbenadering waarin voor elk gebouw met een overdrachtfactor 3 van maaiveld naar verdiepingsvloer is gerekend.

Omdat op basis van de prognose enkele overschrijdingen te verwachten zijn in woningen aan de westzijde van de spoorzone wordt in hoofdstuk 11 ten behoeve van het Tracébesluit nader ingegaan op de afweging van maatregelen.

9.3. Samenvatting effectbeoordeling

Om voor tot een samengevatte beoordeling van de milieueffecten te komen wordt in onderstaande tabel een samenvatting gegeven van de beoordeling in dit hoofdstuk.

Tabel 9.2. Samenvattende tabel effectbeoordeling trillingen en laagfrequent geluid

trillingen en laagfrequent geluid	criterium	VA+A en VA+B
	schade als gevolg van trillingen (gebouwen)	0/-
	hinder als gevolg van trillingen (personen)	0/-
	hinder als gevolg van laagfrequent geluid	0/-

10. OPLOSSINGSRICHTINGEN ’T HAANTJE EN ONTSLUITING STATION DELFT ZUID

10.1. Inleiding

Naast de 2 varianten voor de DSM-aansluiting is er nog een aantal oplossingsrichtingen mogelijk voor de huidige onderdoorgang ’t Haantje en de ontsluiting van station Delft Zuid. Deze oplossingsrichtingen zijn echter geen volwaardige varianten, omdat de zoektocht naar de meest geschikte, gewenste en financieel haalbare oplossingen nog in volle gang is. Ook op bestuurlijk niveau zijn de oplossingsrichtingen nog een onderwerp van gesprek. Om in dit MER toch al voor te sorteren op de mogelijke uitkomst van die zoektocht zijn de mogelijke oplossingsrichtingen als doorkijk in dit hoofdstuk opgenomen. Daarnaast kan de effectbeschrijving in dit hoofdstuk ook enige input leveren voor die zoektocht.

In paragraaf 8.2 komen de oplossingsrichtingen voor de huidige onderdoorgang ’t Haantje aan bod. Paragraaf 8.3 behandelt de oplossingsrichtingen voor de ontsluiting van station Delft Zuid. Voor een uitgebreide beschrijving van de oplossingsrichtingen wordt verwezen naar hoofdstuk 8 van het hoofdrapport van het MER (deel A).

10.2. Overweg ’t Haantje

In de gemeente Rijswijk ligt de gelijkvloerse overweg ’t Haantje. Deze gelijkvloerse overweg op de huidige locatie dient als gevolg van de viersporigheid vervangen te worden door een ongelijkvloerse kruising. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, ProRail en de gemeente Rijswijk hebben gezamenlijk deze oplossing uitgewerkt. Op verzoek van de gemeente Rijswijk is daarnaast gezocht naar een locatie voor de ongelijkvloerse kruising ten noorden van het huidige locatie gezien dit beter past binnen de gebiedsontwikkelingen van Rijswijk Zuid.

Op basis van het zoekgebied kunnen drie mogelijke oplossingsrichtingen voor ’t Haantje geformuleerd worden:

3. een smalle onderdoorgang (tunnel) op de huidige locatie van de overweg ’t Haantje;
4. een onderdoorgang (tunnel) 250 m ten noorden van de huidige locatie van overweg ’t Haantje en;
5. een viaduct 225 m ten noorden van de huidige locatie.

10.2.1. Effectbeschrijving en -beoordeling

Gebruiksfase

Wanneer naar de drie oplossingsrichtingen gekeken wordt volgt dat oplossingsrichtingen 2 en 3 de kruising respectievelijk 250 en 225 m ten noorden van de huidige locatie wordt voorzien. Op circa 250 m (225 m) ten noorden van de huidige kruising zijn geen woningen op nabij de afstand aanwezig (binnen een straal van 50-100 m). Voor deze locaties is daarom geen trillingshinder te verwachten.

Voor de eerste oplossingsrichting geldt dat de kruising op de huidige locatie wordt voorzien. Op deze locatie zijn enkele woningen op beperkte afstand aanwezig. Er is echter in de huidige situatie ook een kunstwerk aanwezig, namelijk een spoorbrug. Er wordt niet verwacht dat in de plansituatie een toename van trillingsniveaus optreedt in het geval de ongelijkvloerse kruising is gerealiseerd mits er in het ontwerp rekening wordt gehouden met het beperken van stijfheidsverschillen in het spoortracé (aansluiting aardebaan op brug).

Aanlegfase
Voor de aanlegfase geldt dat er trillingen kunnen optreden vanwege bouwwerkzaamheden. Voor alle drie de oplossingsrichtingen geldt dat de trillingsniveaus tijdens de bouw continu gemonitord dienen te worden om schade aan nabijgelegen gebouwen te voorkomen.

Samenvatting effecten
In tabel 10.1 is een samenvatting weergegeven van de effectbeoordeling van de oplossingsrichtingen van 't Haantje.

Tabel 10.1. Samenvattende tabel effectbeoordeling 't Haantje

		AO	onderdoorgang huidige locatie		onderdoor-gang 250 m noordelijker	viaduct 225 m noordelijker		Tijdelijke ontsluitings-structuur
bodem	criterium		zonder overlap DSM	met overlap DSM		zonder overlap DSM	met overlap DSM	
trillingen	schade als gevolg van trillingen (gebouwen)	0	0	0	0	0	0	0
	hinder als gevolg van trillingen (personen)	0	0	0	0	0	0	0
laagfrequent geluid	hinder als gevolg van laagfrequent geluid	0	0	0	0	0	0	0

10.3. Station Delft Zuid

Station Delft Zuid ligt op de kruising van de Kruithuisweg met de spoorlijn Den Haag - Rotterdam. Het station bestaat in de huidige situatie uit 2 zijperrons aan een tweesporige spoorbaan en wordt ontsloten via het fietspad aan het Kruithuisweg-viaduct en op maaiveld.

Vanwege de viersporigheid op het traject en de daarmee samenhangende aanpassing van station Delft Zuid van tweesporig naar viersporig, zullen er, in plaats van twee zijperrons, twee middenperrons (eilandperrons) gerealiseerd worden waarmee op alle vier de sporen gehalterd kan worden. De nieuwe middenperrons dienen bereikbaar gemaakt te worden middels trappen en liften. Tevens dienen de stationspleinen (oost- en westzijde) uitgevoerd te worden met elk zowel een trap als een lift, totaal dus vier trappen en vier liften. In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau [lit. 1.] is opgenomen dat station Delft Zuid in het kader van het project (dus met toekomstige viersporigheid) bereikbaar blijft via de Kruithuisweg. Dit vormt vanuit het Programma Hoogfrequent Spoor de primaire opgave.

Voor bovengenoemde ingrepen zijn meerdere oplossingsrichtingen mogelijk, te weten:
1. ontsluiting via trappen en liften aan een bordes tegen het Kruithuisweg-viaduct;
2. ontsluiting via een separate traverse;
3. ontsluiting via een fietsers-/voetgangerstunnel.

10.3.1. Effectbeschrijving en -beoordeling

Gebruiksfase
De verwachting is dat de oplossingsrichtingen geen invloed hebben op mogelijk optredende trillingshinder als gevolg van treinverkeer.

De meest nabijgelegen kantoorgebouwen dan wel fabriekshallen liggen op meer dan 70 m van de locatie van de mogelijke fietsers- voetgangerstunnel. Er is daarom geen effect te verwachten mits er in het ontwerp rekening wordt gehouden met het beperken van stijfheidsverschillen in het spoortracé (spoor ondersteund door aardebaan ten opzichte van spoor ondersteun door tunneldak). Voor de twee overige oplossingsrichtingen wordt geen invloed op trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer voorzien.

Aanlegfase
Voor de aanlegfase geldt dat er trillingen kunnen optreden vanwege bouwwerkzaamheden. Dit hangt hoofdzakelijk af van de gekozen bouwmethoden. Vooraf aan de bouw dient te worden geïnventariseerd of er trillingsniveaus als gevolg van de bouw kunnen optreden die mogelijk tot schade kunnen leiden aan nabijgelegen bebouwing. Er dienen in dat geval maatregelen getroffen te worden en er dient continu gemonitord te worden om schade aan de meest nabijgelegen gebouwen te voorkomen.

10.3.2. Conclusie en samenvatting effectbeoordeling

Voor zowel de oplossingsrichtingen bij 't Haantje als bij station Delft Zuid worden geen effecten op trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer voorzien, mits bij de ontwerpen van de mogelijke verschillende kunstwerken rekening wordt gehouden met het vermijden van onregelmatigheden in het spoor als gevolg van verschil in stijfheidverschillen van de ondergrond. Voor de aanlegfase van de verschillende oplossingsrichtingen dient schade als gevolg van bouwwerkzaamheden te worden voorkomen. Dit kan door de optredende trillingen tijdens de werkzaamheden op de maatgevende locaties te monitoren.

Tabel 10.2. Samenvattende tabel effectbeoordeling ontsluiting station Delft Zuid

LCA	criterium	AO	bordessen Kruithuis-weg	separate traverse	fietsers-/voetgangers-tunnel
trillingen	schade als gevolg van trillingen (gebouwen)	0	0	0	0
	hinder als gevolg van trillingen (personen)	0	0	0	0
laagfrequent geluid	hinder als gevolg van laagfrequent geluid	0	0	0	0

11. MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN

In dit hoofdstuk worden de mitigerende en compenserende maatregelen uitgewerkt. We beperken ons tot maatregelen die gerelateerd zijn aan het huidige besluit en binnen de reikwijdte van de initiatiefnemer ligt.

11.1. Maatregelen studiegebied

Voor het studiegebied dienen op basis van de resultaten van het huidige onderzoek voor een achttal woningen in Kethel (Schiedam) en een woning in Rijswijk maatregelen te worden overwogen. In onderstaande tabel worden de resultaten voor de woningen in Kethel nogmaals samengevat.

Tabel 11.1. Resultaten verfijnde prognose woningen Kethel

	afstand tot buitenkant spoor (m)	gebouwfactor 1,0		gebouwfactor 1,4	
		v_{per_ref}	v_{per_plan}	v_{per_ref}	v_{per_plan}
Buitenkerklaan 32	29	0,06	0,07	0,09	0,10
Buitenkerklaan 34	25	0,08	0,09	0,11	0,13
Buitenkerklaan 38	*3*	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***
Buitenkerklaan 40	*3*	***0,30***	***0,34***	***0,42***	***0,47***
Kerkweg 100	17	**0,13**	**0,15**	**0,18**	**0,21**
Groeneweg 2	12	**0,18**	**0,20**		
Groeneweg 4	13			**0,23**	**0,26**
Groeneweg 6	22	**0,10**	**0,11**	**0,14**	**0,15**

Hierbij geldt dat de adressen Buitenkerklaan 38 en 40 een voormalig spoorwachtershuisje betreffen dat dermate dicht op het spoor ligt dat de prognose geen nauwkeurig beeld geeft. Er is voor deze adressen echter wel duidelijk sprake van een overschrijding van de grenswaarde van v_{per} waardoor de twee adressen meegenomen worden in de afweging van maatregelen.[1]

Uit de prognose volgt de verwachting dat de toename in sprinters en intercity's in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie tot gevolg heeft dat het gemiddelde trillingsniveau v_{per} voor deze woningen met 10 % toeneemt. Deze toename is beperkt te noemen. Een toename in v_{per} van 10 % wordt als beperkte toename aangeduid omdat uit verschillende internationale onderzoeken blijkt dat een kleine toename van 10-20 % van trillingsniveaus niet of nauwelijks in een merkbaar verschil resulteert.

Volgens artikel 9 van de BTS dient bij de afweging van maatregelen in overweging te worden meegenomen of er al dan niet doelmatige maatregelen getroffen kunnen worden. Hierbij kan doelmatig de vraag beantwoorden: Wegen de kosten van het toepassen van de maatregel op tegen de baten? De beleidsregel geeft aan in artikel 9 dat gemotiveerd ingegaan moet worden op:

a. de geraamde kosten van de maatregel;
b. de geraamde opbrengsten in termen van hinderreductie en het aantal woningen;
c. het gehanteerde normbedrag per woning;
d. de gemaakte doelmatigheidsafweging.

[1] Met aanvullende metingen is aangetoond dat er geen sprake is van overschrijding van de bovenste grenswaarde voor $v_{max.}$

Voor de situatie in Kethel is een verkennende scan van mogelijke maatregelen gemaakt. Hierbij kan bij het toepassen van trillingsreducerende maatregelen onderscheid worden gemaakt in maatregelen aan de bron, maatregelen aan de overdracht en maatregelen aan de ontvanger.

Bij trillingsreducerende maatregelen aan de bron wordt een aanpassing aan het spoor of aan de trein zelf bedoeld. Maatregelen aan de trein betreffen een langdurig meerjarenprogramma waarin staat van onderhoud van de verschillende type treinen en het ontwerp van nieuwe treinen belangrijke aspecten zijn. Maatregelen aan de trein zelf worden daarom niet meegenomen in de afweging van maatregelen. Het afveren van de rails of het aanpassen van de bovenbouw en de rails kunnen een trillingsreducerend effect hebben en worden daarom meegenomen in de afweging. Bij trillingsreducerende maatregelen aan de overdracht wordt bijvoorbeeld een ondergronds trillingsreducerend scherm tussen spoor en woning(en) bedoeld, of een betonnen plaat onder het spoor. Om effect te hebben dienen zowel aanpassingen aan het spoor als maatregelen aan de overdracht niet alleen naast de te mitigeren woning(en) te worden uitgevoerd, maar dient een aanvullende lengte spoor voor en na de locatie te worden aangepast. Er is daarom een indeling in woningclusters gemaakt waarbij de woningen in Kethel in een tweetal clusters onder te verdelen zijn. De twee clusters betreffen de woningen aan de Buitenkerklaan en de woningen aan de Groeneweg/Kerkweg. Het ene cluster betreft een viertal woningen, het andere betreft ook een viertal woningen. De afstand tussen beide clusters bedraagt zo'n 800 meter.

Voor maatregelen aan de bron in Kethel is geschat dat aanpassing aan het spoor over een lengte van minimaal 200 meter nodig is om per cluster effectief trillingen te reduceren. Aanpassing van het spoor over een dergelijke lengte is geschat op minimaal EUR 600.000,--. Voor maatregelen aan de overdracht geldt dat een kostentechnisch meest gunstige uitvoering van een trillingsreducerend ondergronds scherm ook op minimaal EUR 400.000,-- is geschat. Andere maatregelen aan de overdracht zoals een betonplaat onder het spoor kosten snel een veelvoud van het minimaal geschatte bedrag.

Bij mogelijke maatregelen aan de ontvanger kan gedacht worden aan het verstijven van vloeren, de woning afveren of het verplaatsen van de woning. Het afveren van een woningen betekent dat de fundering wordt losgekoppeld van de bovenliggende constructie. De kosten hiervan worden geschat op minimaal EUR 75.000,-- per woning. De kosten van het amoveren van een woning liggen hier boven. De kosten van het verstijven van vloeren liggen lager en worden geschat op EUR 10.000-- tot EUR 20.000,--. Het verstijven van vloeren is echter enkel effectief indien er sprake is van opslingering van specifieke vloeren. Uit de meetresultaten in de woningen in Kethel blijkt echter dat er voor v_{per} geen of beperkte sprake is van opslingering. Ook zonder opslingering is er sprake van een overschrijding van de grenswaarde voor v_{per}. Hieruit volgt de verwachting dat het verstijven van vloeren geen effect heeft op het optredende gemiddelde trillingsniveau en dat de maatregel niet effectief is.

Om tot een afweging te komen of één van de bovengenoemde maatregelen doelmatig is wordt een richtbedrag per woning gehanteerd van EUR 47.000,--. Dit bedrag per woning wordt door Prorail vooralsnog als richtbedrag in heel Nederland gehanteerd. Er zijn in beide cluster 4 woningen gesitueerd. Voor elk cluster volgt een beschikbaar bedrag van EUR 188.000,--. Van bovengenoemde maatregelen blijkt dat alle maatregelen een tweevoud of meer van het beschikbare budget kosten op het verstijven van vloeren na. Van het verstijven van vloeren wordt echter verwacht dat deze maatregel niet effectief is. Het toepassen van maatregelen in Kethel wordt daarom als niet doelmatig beschouwd.

Voor de woning aan de Vredenburchweg 158 in Rijswijk geldt dat er minder budget beschikbaar is omdat het om slechts één woning gaat. Maatregelen aan het spoor of de overdracht kosten een veelvoud van het beschikbare budget en worden daarom als niet doelmatig beschouwd. Van het verstijven van een vloer van de woning wordt verwacht dat dit niet effectief is omdat uit de meting een gemiddelde overdrachtsfactor voor v_{per} van 1,1 is gevonden waardoor voor v_{per} blijkt dat er niet of nauwelijks sprake is van opslingering. Ook voor de woning in Rijswijk wordt het toepassen van maatregelen als niet doelmatig beschouwd.

11.2. Maatregelen spoortunnel

In de spoortunnel wordt zowel in de oostelijke als de westelijke tunnelbuis een trillingsreducerende ballastmat toegepast. Deze mitigerende maatregel wordt reeds toegepast in het kader van het project Spoorzone Delft en betreft daarmee de referentiesituatie voor het project PHS viersporigheid Rijswijk Delft Zuid. Verwacht wordt dat de ballastmat een trillingsreducerend effect heeft op zowel trillingsniveau als gevolg van reizigerstreinen als op de laagfrequenter geluidsniveaus. In de afweging van maatregelen voor de spoortunnel in het project PHS viersporigheid worden daarom maatregelen anders dan de ballastmat afgewogen. Ook voor de spoortunnel geldt dat gemotiveerd ingegaan moet worden op:

a. de geraamde kosten van de maatregel;
b. de geraamde opbrengsten in termen van hinderreductie en het aantal woningen;
c. het gehanteerde normbedrag per woning;
d. de gemaakte doelmatigheidsafweging.

Voor de plansituatie volgt uit de prognose dat voor een klein aantal woningen (4 %) aan de westzijde van de spoortunnel op basis van de prognose een overschrijding van de streefwaarde A1 te verwachten is. Als eerste stap om tot een doelmatigheidsafweging te komen wordt gekeken naar mogelijke maatregelen. Ook voor de spoortunnel kan onderscheid gemaakt worden in maatregelen aan de bron, de overdracht en de ontvanger. Mogelijk toe te passen blijken echter beperkt.

Bij maatregelen aan de bron moet gedacht worden aan aanpassing van de railopbouw in de tunnel of het aanpassen van de tunnelconstructie zelf. Deze maatregelen zijn binnen het project Spoorzone Delft echter onderzocht en in het ontwerp is de prestatie op het gebied van trillingen meegenomen. Omdat de ruwbouw van de tunnel de referentiesituatie is en er reeds een ballastmat wordt toegepast, zou enkel een zwaar massaveersysteem in de tunnel (zogenaamd slabtrack met onderliggende elastische laag) mogelijk tot een hogere trillingsreductie leiden. Het toepassen van een dergelijk systeem vergt echter een aanpassing van de gehele bovenbouw van de tunnel waarmee de kosten miljoenen euro’s bedragen.

Bij maatregelen aan de overdracht kan aan een trillingsreducerende constructie worden gedacht. Deze zou tussen de woningen aan de Spoorsingelzijde en de westelijke tunnelbuis moeten worden aangebracht. Er wordt echter over een gedeelte van tracé aan de westzijde een parkeergarage gerealiseerd welke mogelijk als trillingsreducerende constructie fungeert. De parkeergarage is niet in de rekenmodellen aanwezig waardoor de prognose mogelijk conservatief is voor deze locatie. Zou voor de overige delen van het traject een ondergronds trillingsreducerende constructie worden toegepast, dan worden de kosten per 100 meter op minimaal EUR 300.000,-- geschat.

Voor maatregelen aan de woning zelf worden dezelfde mogelijke maatregelen voorzien als in de afweging van de woningen in Kethel. De drie mogelijkheden betreffen het amoveren van de woningen, het afveren van de woningen of het verstijven van de vloeren. De eerste

optie is voor de woningen aan de westzijde van het spoor in Delft geen realistische optie. Het afveren van een pand aan de Spoorsingel zal wat betreft kosten boven de EUR 100.000,-- liggen gezien de staat en bouwconstructie van de panden. Enkel het verstijven van een vloer waar opslingering optreedt is een mogelijk effectvieve maatregel. De kosten hiervoor worden geschat op EUR 20.000,-- tot EUR 50.000,-- . De kosten liggen hoger dan bij een gemiddeld pand omdat gezien de constructieve staat van de panden bij het verstijven van vloeren mogelijk de gehele bouwconstructie aangepast moet worden.

Wordt het richtbedrag van EUR 47.000,-- toegepast dan volgt dat enkel het verstijven van vloeren een mogelijk doelmatige maatregel betreft. Er is echter op basis van de prognose niet op voorhand te zeggen in welke woning sprake is van opslingering, waardoor de maatregel niet preventief kan worden genomen. Het toepassen van een ondergronds trillingsreducerende constructie wordt ook als niet doelmatig beschouwd omdat over meerdere honderden meters de constructie moet worden toegepast waardoor de kosten hoger zijn dan het beschikbare budget (voor enkele woningen, wordt een overschrijding verwacht).

In de beoordeling van de spoortunnel (hoofdstuk 9) is reeds ingegaan op het feit dat in de beoordeling de huidige situatie buiten beschouwing wordt gelaten terwijl de verwachte optredende trillingsniveaus (en laagfrequente geluidsniveaus) in de huidige situatie (spoorviaduct) groter zijn dan in de plansituatie (in de huidige situatie vinden overschrijdingen van de *grens*waarden plaats). Het verplaatsen van treinverkeer van bovengronds naar ondergronds heeft voor de woningen waar een maatregel dient te worden afgewogen een positief effect op de optredende trillingsniveaus.

Wat betreft mogelijke maatregelen blijkt dat enkel het verstijven van vloeren een mogelijk effectieve maatregel is en tegen een, op basis van de richtprijs, beschikbaar budget gerealiseerd kan worden. De maatregel kan echter niet preventief genomen worden omdat de locaties op basis van de prognose niet bekend zijn. In de afweging of het toepassen van het verstijven van vloeren doelmatig is wordt ook meegewogen dat er sprake is van een klein aantal overschrijdingen van de *streef*waarde en niet van de grenswaarde en dat het trillingsniveau verbetert ten opzichte van de huidige situatie met spoorviaduct. Het verstevigen van vloeren is daarom als niet doelmatig beschouwd.

Zodra de oostelijke tunnelbuis in gebruik wordt genomen kunnen metingen in het kader van het project Spoorzone Delft worden uitgevoerd. Hiermee kan de verwachte zekerheid waarmee het rekenmodel de trillingsniveaus voorspelt nader worden gestaafd. Mocht het rekenmodel onverhoopt tot een onderschatting van trillingsniveaus leiden dan bestaat de mogelijkheid het verstijven van vloeren van woningen alsnog nader te beschouwen. In hoofdstuk 12 wordt hier nader op ingegaan.

Conform de aanvulling op artikel 8 van de Bts worden de gevolgen van de ingebruikneming van het project PHS viersporigheid Rijswijk Delft Zuid ten aanzien van het aspect trillingen uiterlijk binnen 1 jaar na ingebruikneming van het project onderzocht. Dit geldt voor zowel het studiegebied als de woningen aan de westzijde (en ook oostzijde) van de spoortunnel in Delft.

12. LEEMTEN IN KENNIS

12.1. Betrouwbaarheid prognose studiegebied

Om een zo groot mogelijke betrouwbaarheid te bereiken voor de trillingsprognose van het studiegebied is gekozen een prognose op basis van trillingsmetingen te maken. Zowel de afstandsrelatie als de 'bron' is bepaald aan de hand van metingen. De totale betrouwbaarheid van de prognose van het studiegebied hangt af van de betrouwbaarheid van de bepaalde afstandsdemping, de referentiewaarde en de gebouwoverdracht.

Toetsing v_{per}

- Afstandsdemping:
  - de afstandsdemping is bepaald op basis van een dertig- tot veertigtal treinpassages. Bij de toetsing van v_{per} is de gemiddelde waarde van de afstandsdemping over 5 - 50 Hz gehanteerd. Als voor de ene treinpassage de demping met afstand iets ongunstiger is dan de gemiddelde waarde, wordt dit opgeheven door andere treinpassages die resulteren in een iets gunstiger afstandsdemping.

- 10-meter niveau:
  - de waarde op 10 m afstand van v_{per} is een gemiddelde van 2 opnemers. De verschillen in gemeten waarden van v_{per} per dagdeel tussen de 2 opnemers blijken voor alle locaties beperkt (ongeveer 10 %). Voor alle drie de locaties waar referentiemetingen zijn uitgevoerd blijkt ook (zie bijlage IV) dat de waarde van v_{per} over de verschillende gemeten dagen beperkt varieert.

- Gebouwoverdracht:
  - voor de gebouwoverdracht is in de globale prognose (stap 1) een maximale waarde van 3,0 gehanteerd. De gemiddelde overdrachtsfactor die bij deze maximale waarde wordt gevonden blijkt minder dan 2,0 te bedragen. Het uitgangspunt dat voor alle woningen een overdrachtsfactor van maximaal 3,0 wordt gehanteerd, resulteert in een bovengrensbenadering.

Gevolgen onzekerheden

Aangezien v_{per} een gemiddeld trillingsniveau betreft blijken de niveaus een beperkte variatie te tonen. Voor zowel variatie in afstandsdemping als variatie in referentiewaarde volgt dat een 10 % toename resulteert in een toename van de contourafstand van circa 2 to 3 m. Een dergelijke beperkte toename resulteert niet in andere conclusies. Voor de toetsing van v_{per} worden mogelijke onzekerheden in de prognose (uitgaande van 10 %) verwacht nauwelijks invloed te hebben op de conclusies.

Toetsing v_{max}

- Afstandsdemping:
  - voor de toetsing van v_{max} in de deelgebieden 2 en 3 is de waarde die gehanteerd wordt voor de afstandsdemping bepalend voor de verwachte toename door verbreding van het spoor. Om deze reden is voor de deelgebieden 2 en 3, ter plaatse waarvan op beide locaties waar een Delftse bodemopbouw aanwezig is, afzonderlijk de afstandsrelatie middels een dwarsraaimeting bepaald. De afstandsdemping gemiddeld over 5 - 50 Hz blijkt tussen beide locaties beperkt te verschillen.

- 10-meter niveaus:
  - de waarde voor v_{max} op 10 m afstand van het spoor voor de locatie Vulcanusweg betreft een gemiddelde van de 2 statistische maxima van de 2 opnemers. De verschillen tussen de statistische maxima van beide opnemers blijkt erg klein te zijn voor de Vulcanusweg. Uit de bepaling van de reproduceerbaarheid van de twee referentiemetingen ter plaatse van de Vulcanusweg in Delft volgt een waarde van 19,6 en 25,4. Een reproduceerbaarheid van minder dan 10 % wordt niet gehaald. Echter, omdat uit de toetsing blijkt dat op alle locaties aan toename van minder dan 30 % wordt verwacht en de trillingsniveaus op geen enkele locatie de bovenste grenswaarde van 3,2 overschrijden, is gekozen om de reproduceerbaarheid te verrekenen in de toetswaarde en is afgezien van het uitvoeren van aanvullende trillingsmetingen omdat verwacht wordt dat deze geen invloed zullen hebben op de conclusie;
  - voor de overige deelgebied waar enkel getoetst dient te worden of er geen sprake van overschrijding van de bovenste grenswaarde is, blijken de twee opnemers grotere verschillen te tonen. Zou van de maatgevende waarden worden uitgegaan dan wordt alsnog geen overschrijding van de grenswaarde verwacht.

- Gebouwoverdracht:
  - voor de gehanteerde gebouwoverdrachtsfactoren geldt hetzelfde als bij de toetsing van v_{per}.

Gevolgen onzekerheden
De onzekerheid in de waarde van het 10-meter niveau van v_{max} is enigszins groter dan die voor de waarde van v_{per}. Dit is ook te verwachten omdat v_{per} een gemiddelde van een groot aantal waarden is (verschillen middelen zich uit) en v_{max} een enkele maximale waarde. Echter, het maximale niveau is enkel van belang wanneer de toename meer dan 30 % bedraagt dit is voor geen enkele locatie het geval.

De bepaling van de toename in waarde hangt af van de afstandsdemping. De afstandsdemping voor de Delftse bodemopbouw die voor beide deelgebieden 2 en 3 is bepaald, laat beperkte verschillen zien. Een beperkte variatie in afstandsdemping resulteert voor zowel deelgebied 2 als deelgebied 3 niet in andere conclusies. Daarnaast geldt ook dat de afstandsdemping is bepaald op basis van de gemiddelde afname over de frequentiebanden 5 tot 50 Hz. Voor de maatgevende goederentreinen wordt verwacht dat de afstandsdemping minder is dan voor de andere treinen, hierdoor wordt een bovengrens in procentuele toename van v_{max} verkregen.

12.2. Betrouwbaarheid prognose spoortunnel

De prognose voor trillingsniveaus in nabijgelegen gebouwen is zowel voor de oostelijke als aan de westelijke zijde van de spoortunnel gemaakt. De betrouwbaarheid van de prognose van de spoortunnel is getoetst middels een trillingsproef in de oostelijke tunnel en aanvullende metingen nabij station Rijswijk. Een trillingsproef is de westelijke tunnel was niet mogelijk omdat deze nog niet gerealiseerd is.

Middels de proefresultaten is voor een drietal locaties inzicht verkregen in de overdracht van trillingen vanuit de tunnel naar maaiveld als ook van maaiveld naar de gebouwen. Zodoende zijn 2 van de 3 schakels van de trillingsketen nader onderzocht.

- Bodemoverdracht:
  - uit de proefresultaten volgt dat het rekenmodel waarmee trillingsniveaus vanuit de metingen in Rijswijk zijn omgerekend naar trillingsniveaus in de Delftse situatie een gemiddelde afwijking van 5 dB laat zien ten opzichte van de resultaten van de proef. Per frequentieband kan het verschil oplopen. De gevonden afwijkingen resulteren in een onzekerheid waarin zowel een parameteronzekerheid als een modelonzekerheid aanwezig is. De onzekerheid in overdrachten van 5 dB is in de resultaten van de reeds uitgevoerde prognose verwerkt door de verdeling van trillingsniveaus over de panden te bepalen met een lognormale verdeling en deze verdeling vervolgens een 1,8 grotere standaardafwijking te geven. Op deze wijze wordt de gevonden onzekerheid van berekende bodemoverdrachten statistisch verwerkt;
  - aan de westzijde van de tunnel is over een gedeelte van het tracé een parkeergarage aanwezig. Naar verwachting fungeert de parkeergarage als een trillingswerende constructie terwijl deze niet in de prognose is meegenomen, waardoor de prognose van trillingsniveaus en laagfrequente geluidsniveaus in woningen naast de parkeergarage worden overschat.

- Gebouwoverdracht:
  - de gebouwoverdrachten zijn voor een zestal panden middels de trillingsproef bepaald. De gebouwfactoren zijn vervolgens met de berekende factoren vergeleken en hieruit blijkt dat de pandspecifieke berekende overdrachtsfactoren verschillen van de gemeten waarden. Statistisch gezien blijkt het verschil niet groot, als niet naar pandspecifieke waarden maar naar de (beperkte) verdeling gekeken wordt.

- Bronkrachten:
  - de aanvullende metingen uit 2014 in en naast station Rijswijk hebben aangetoond dat de bronkrachten van het rekenmodel een onvoldoende bovengrens betreffen. Een toeslagfactor op basis van de meetresultaten is toegepast om te waarborgen dat de trillingsprognose een voldoende bovengrens betreft en overeenkomt met de Bts;
  - in de bronkrachten is een restonzekerheid aanwezig vanwege onder andere impedantieverschillen tussen tunnel in Rijswijk en de tunnel in Delft. Enerzijds is er mogelijk sprake van een verbeterde spoorligging in de Delfste tunnel ten opzichte van de Rijswijkse tunnel waardoor de bronkracht wordt overschat, anderzijds kan het impedantieverschil leiden tot een onderschatting van de bronkracht.

Gevolgen onzekerheden

De onzekerheden in bodemoverdracht en gebouwoverdracht zijn middels de trillingsproef in kaart gebracht. De onzekerheid in met name de bepaling van de bodemoverdracht is verwerkt in de resultaten van de reeds uitgevoerde prognose waardoor de kans op een lichte overschrijding van de onderste grenswaarde van de Bts toeneemt, maar nog steeds beperkt is.

De aanvullende metingen in Rijswijk hebben tot de bepaling van de grootte van de bronkracht geleid conform de Bts door een toeslagfactor toe te passen. Er blijft echter een aantal onzekerheden in de bronkracht aanwezig vanwege onder andere impedantieverschillen tussen de Delftse en de Rijswijkse situatie en een verwacht verschil in sporenligging. Het verschil in impedantie kan leiden tot een verhoging van de bronkracht, terwijl een verbeterde sporenligging tot een verlaging van de bronkracht leidt. Om deze onzekerheden nader in kaart te brengen kan middels een rekenmodel een schatting van de invloed van het impedantieverschil worden bepaald. Deze schatting zal echter ook een mate van onzekerheid bezitten. Omdat daarentegen de sporenligging een mogelijk gunstige werking heeft en de oostelijke tunnelbuis begin 2015 in gebruik wordt genomen, is besloten de genoemde on-

zekerheden te bepalen op basis van metingen wanneer de oostelijke tunnelbuis in gebruik is.

Mocht onverhoopt de prognose tot een onderschatting van trillingsniveaus leiden, dan kan het verstijven van vloeren in de panden waar opslingering plaatsvindt nader worden onderzocht.

12.3. Oplevertoets conform Bts

Conform de aanvulling op artikel 8 van de Bts worden de gevolgen van de ingebruikneming van het project ten aanzien van het aspect trillingen uiterlijk binnen 1 jaar na ingebruikneming van het project onderzocht.

13. LITERATUURLIJST

[lit. 1.] Notitie Reikwijdte en Detailniveau-Milieueffectrapportage Programma Hoogfrequent Spoorvervoer viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid, Ministerie van infrastructuur en milieu met besluitkenmerk IenM/BSK-2012/98545, 11 mei 2012.

[lit. 2.] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn deel B Hinder voor personen in gebouwen (2002). Stichting Bouw Research, Delft. Artikelnummer. 002.03. ISBN 90-5367-080-7.

[lit. 3.] Gewijzigde Beleidsregel trillingshinder spoor, Staatscourant 16 maart 2014. Nr. 8251.

[lit. 4.] Milieueffectrapport Spoorzone Delft, Stedelijke herontwikkeling en aanleg tunnel, Witteveen+Bos (2003). Referentie: DT178-4/dijc/105.

[lit. 5.] Trillingsmetingen referentiesituatie Spoorzone Delft, DRB 21 april 2010. Referentie: TCE151-8/kleb2/014.

[lit. 6.] DRB, PHS Rijswijk-Delft Zuid inpassingontwerp t.b.v. MER-studie Tekeningnummers X4881-40-112-01 tot X4881-40-112-06.

[lit. 7.] Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, TNO mei 1995. Rapportnummer 12462/164.

[lit. 8.] Inman D.J., Engineering Vibration 2nd edition (2001). Presentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey. ISBN 0-13-726142-X.

[lit. 9.] Trillingsonderzoek Spoorzone Delft bestaande bouw, DRB 24 februari 2010. Referentie: TCE151-8/kleb2/036.

[lit.10.] Thompson, D. Railway Noise and Vibration, Mechanisms, Modelling and Means of Control (2009). Elsevier Oxford, UK. ISBN: 978-0-08-045147-3.

[lit. 11.] Deltares (2008). Equivalente krachten en effect reducerende maatregel Spoorzone Delft. Kenmerk 422660-110.

[lit. 12.] Deltares (2013). Spreiding in trillingsniveau tijdens treinpassage.

[lit. 13.] Level Acoustics (2014) Reparatie BTS, referentie LA.131001a.M04

[lit. 14.] ProRail (2008) Trillingen en LF Geluid, Kennisdocument van het kenniscentrum Spoorgeluid.

BIJLAGE I SCHETSMATIGE BODEMPROFIELEN

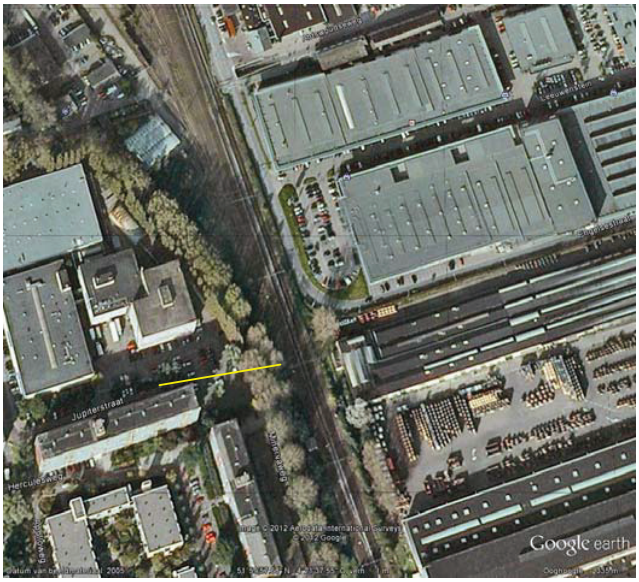
BIJLAGE II DWARSRAAIMETINGEN

II.1. Locaties

Figuur II.1. Rijswijk

Figuur II.2. Agnetapark

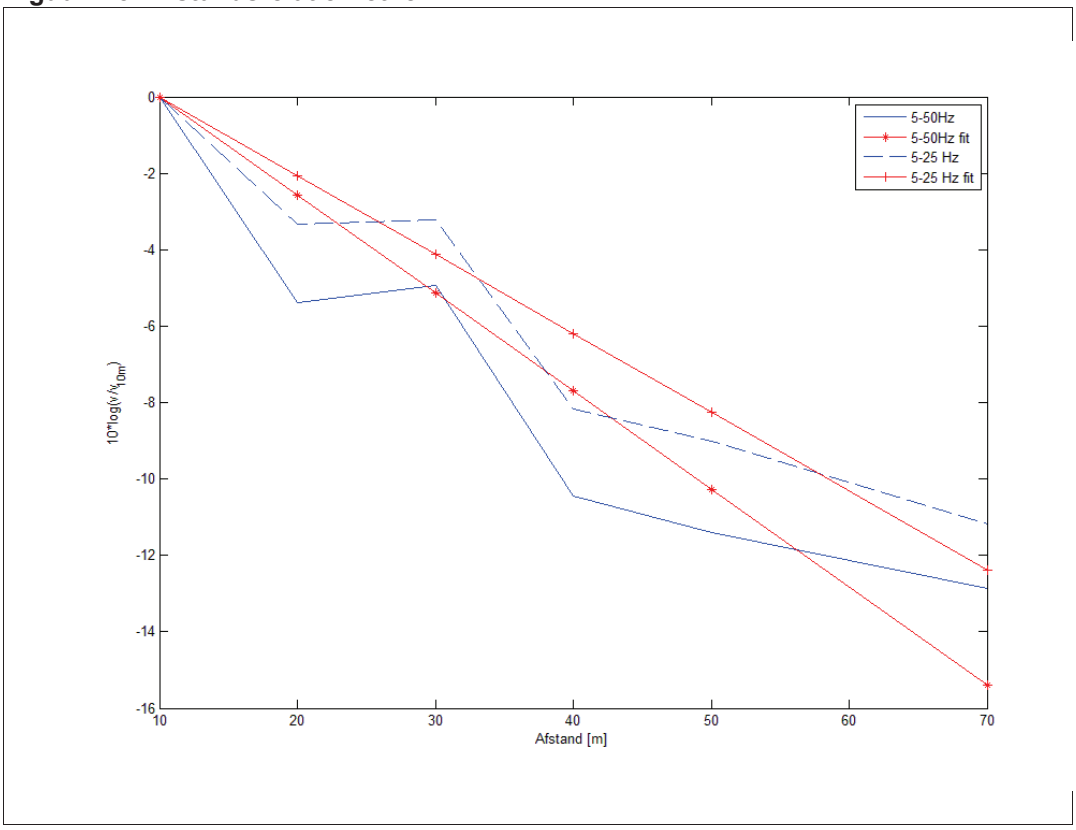
Figuur II.3. Delft Instruments (oorspronkelijk terrein Delft Instruments)



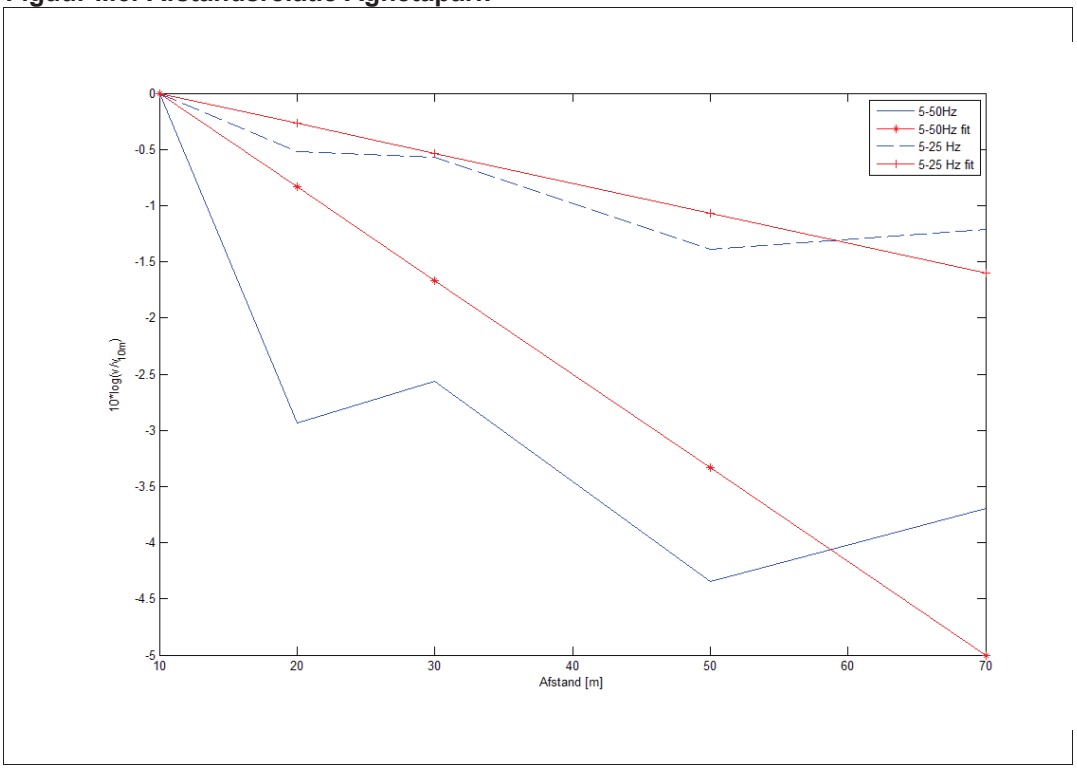
Figuur II.4. Kethel

II.2. Bepaling afstandsrelaties

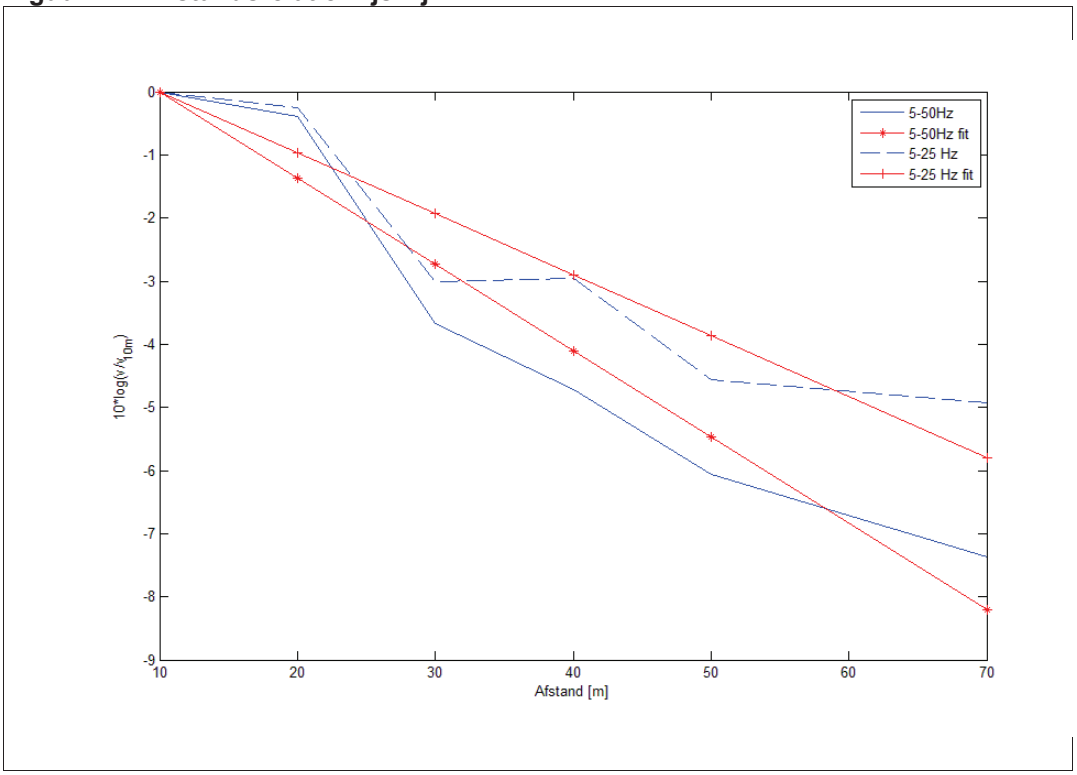
Figuur II.5. Afstandsrelatie Kethel



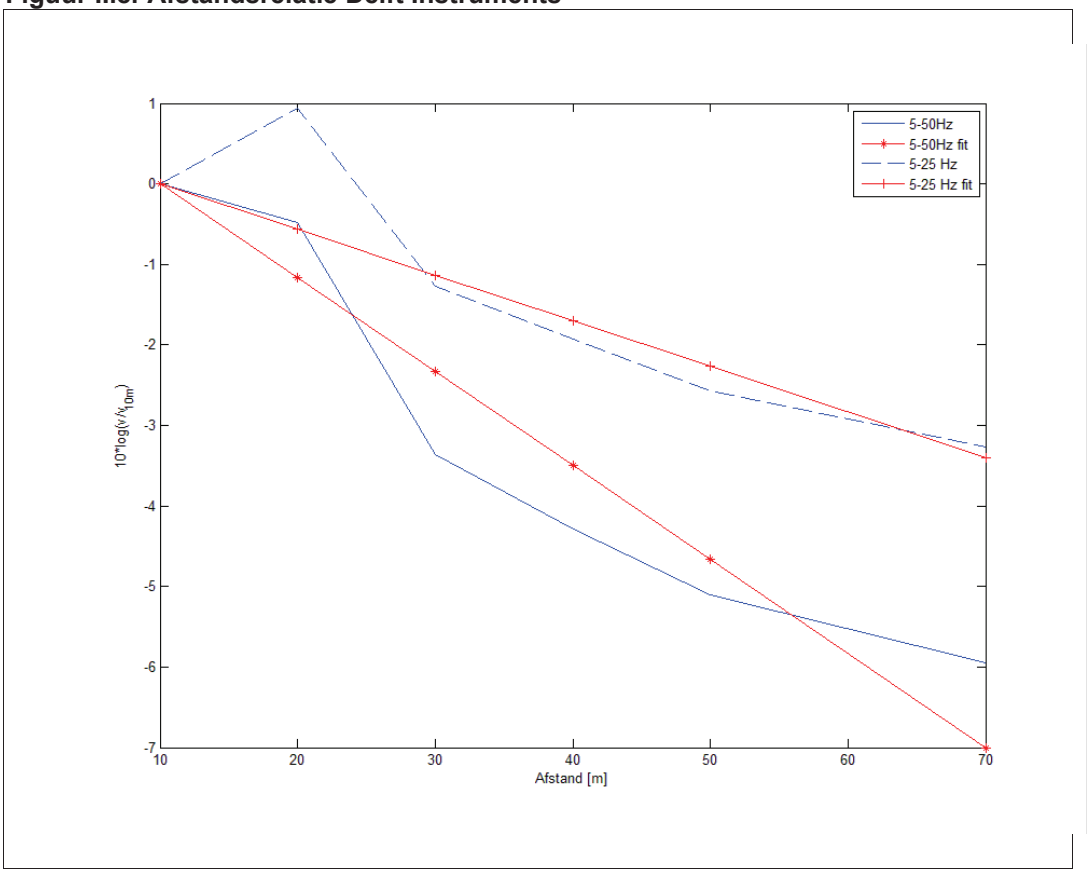
Figuur II.6. Afstandsrelatie Agnetapark



Figuur II.7. Afstandsrelatie Rijswijk



Figuur II.8. Afstandsrelatie Delft Instruments



BIJLAGE III OVERZICHT TREINTYPES METINGEN STUDIEGEBIED

Figuur III.1. Sprinter

Figuur III.2. Intercity's

Figuur III.3. Intercity (HSA)

Figuur III.4. Goederentrein

BIJLAGE IV UITWERKING V_{PER}[1] REFERENTIEMETINGEN

[1] getoonde waarden betreffen gemiddelde waarden over de twee parallel aan het spoor geplaatste opnemers

Tabel IV.1. Vulcanusweg

dag	dagdeel	avonddeel	nacht
dag 1	0,079	0,068	0,042
dag 2	0,079	0,067	0,043
dag 3	0,075	0,068	0,045
dag 4	0,073	0,068	0,040
dag 5	0,078	0,069	0,049
dag 6	0,067	0,065	0,035
dag 7	0.061	0.522	0.038

Tabel IV.2. Kethel

dag	dagdeel	avonddeel	nacht
dag 1	0,173	0,160	0,093
dag 2	0,157	0,174	0,100
dag 3	0,177	0,171	0,096
dag 4	0,180	0,162	0,099
dag 5	0,197	0,171	0,089
dag 6	0,159	0,176	0,099
dag 7	0,153	0,166	0,106

Tabel IV.3. Rijswijk

dag	dagdeel	avonddeel	nacht
dag 1	0,087	0,084	0,044
dag 2	0,091	0,079	0,056
dag 3	0,084	0,082	0,055
dag 4	0,085	0,075	0,039
dag 5	0,067	0,071	0,033
dag 6	0,062	0,073	0,046
dag 7	0,093	0,071	0,038

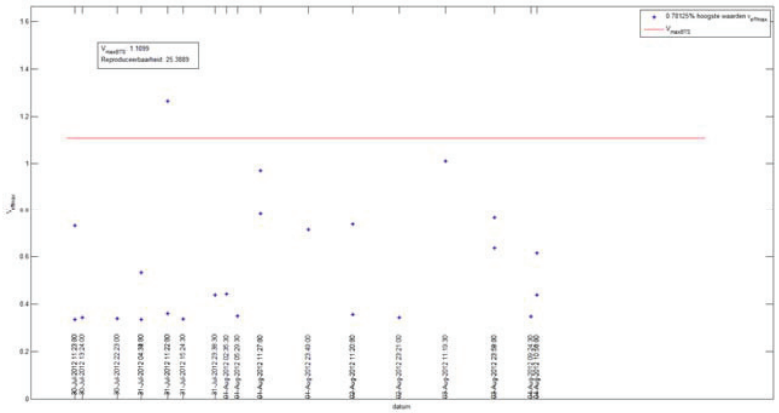
BIJLAGE V UITWERKING VMAX BTS REFERENTIEMETINGEN

Voor het studiegebied geldt dat de deelgebieden 2 en 3 op Vmax worden getoetst, omdat hier een wijziging in Vmax te verwachten is vanwege wijziging in de spoorlayout. Voor de overige deelgebieden geldt dat Vmax volgens de Bts voldoet omdat er een toename van minder dan 30% wordt verwacht (geheel geen toename) mits niet boven de uiterste grenswaarde van 3,2 wordt uitgekomen.

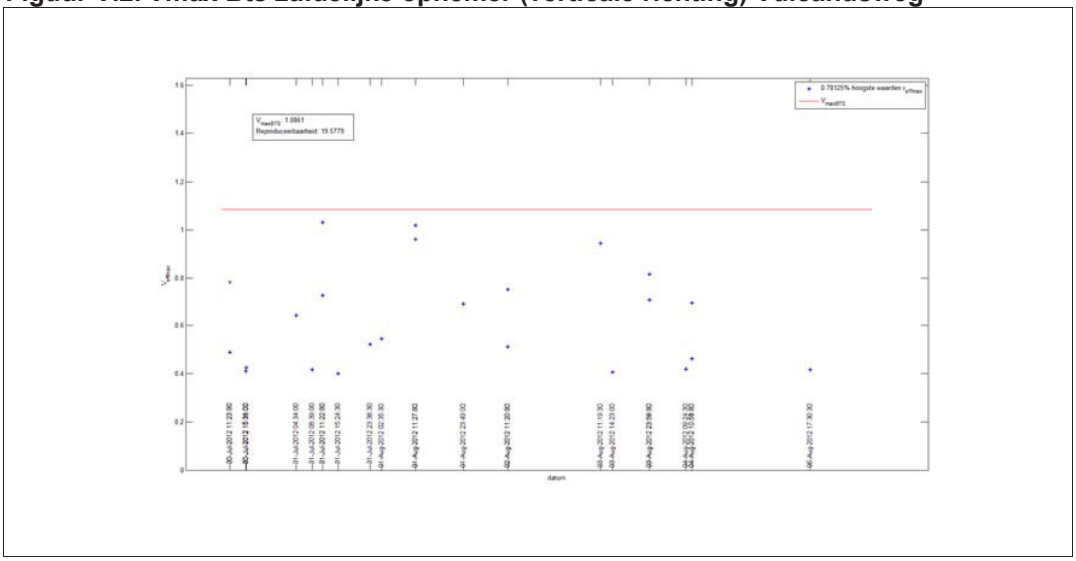
Om te toetsen zijn de referentiemetingen daarom verwerkt conform de procedure volgens de gewijzigde Bts van 26 maart 2014 (zie paragraaf 5.1.3 voor een beschrijving). In eerste instantie voor deelgebieden 2 en 3 (meting aan Vulcanusweg), maar vervolgens ook voor de metingen in Kethel en Rijswijk om te toetsen aan de bovenste grenswaarde.

De resultaten van de meting aan de Vulcanusweg worden in onderstaande figuren weergegeven. Omdat in de toetsing gerekend wordt met een opslingeringsfactor van het gebouw, worden enkel de meetresultaten in de verticale richting gepresenteerd omdat deze maatgevend zijn.

Figuur V.1. Vmax Bts noordelijke opnemer (verticale richting) Vulcanusweg



Figuur V.2. Vmax Bts zuidelijke opnemer (verticale richting) Vulcanusweg



Uit de verdeling blijkt dat er een behoorlijke spreiding van niveaus in de sets aanwezig is. Op basis van camerabeelden is achterhaald dat de hoogste waarden goederentreinpassages betreffen. In tabel V1 worden de waarden nogmaals gepresenteerd.

Tabel V.1. 0,78125 % topwaarden datasets Vulcanusweg (verticale richting)

topwaarde	Verdeling Vmax noordelijke opnemer	Verdeling Vmax zuidelijke opnemer
1	0,334	0,398
2	0,334	0,406
3	0,335	0,409
4	0,338	0,417
5	0,342	0,417
6	0,342	0,418
7	0,346	0,424
8	0,349	0,461
9	0,354	0,489
10	0,359	0,511
11	0,438	0,521
12	0,438	0,543
13	0,442	0,642
14	0,533	0,689
15	0,616	0,693
16	0,636	0,706
17	0,714	0,724
18	0,731	0,750
19	0,738	0,780
20	0,765	0,815
21	0,782	0,943
22	0,972	0,961
23	1,012	1,019
24	1,265	1,032

De statistische benadering van de datasets in tabel V.1 levert de parameters op die worden weergegeven in tabel V.2.

Tabel V.2. Statistische parameters conform [lit.14.]

locatie	Vmax Bts	μ	σ	β	R	%top
noordelijke opnemer	1,11	-0.6656	0.4253	1.81	25.4	0.78125
zuidelijke opnemer	1.09	-0.5111	0.3279	1.81	19.6	0.78125

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de datasets niet voldoen aan het streven dat de reproduceerbaarheid minder dan 10 % bedraagt. In dit geval geeft de procedure [lit. 14.] aan dat *of* een langere meetduur dient te worden gekozen om zo de onzekerheid te verkleinen *of* dat de hogere reproduceerbaarheid dient te worden verrekend in de toetswaarde Vmax Bts.

Er is gekozen om de reproduceerbaarheid te verrekenen in de toetswaarde van Vmax Bts. Deze keuze is gemaakt omdat blijkt dat nergens een toename van meer dan 30 % wordt verwacht. Hierdoor wordt aan de Bts voldaan mits de niveaus onder de uiterste grenswaarde blijven. De verrekening vindt als volgt plaats:

- Vmax Bts indien R <=10 %
- (1+R/100%)·Vmax Bts indien R > 10 %

In tabel V.3 worden de verrekende toetswaarden gepresenteerd.

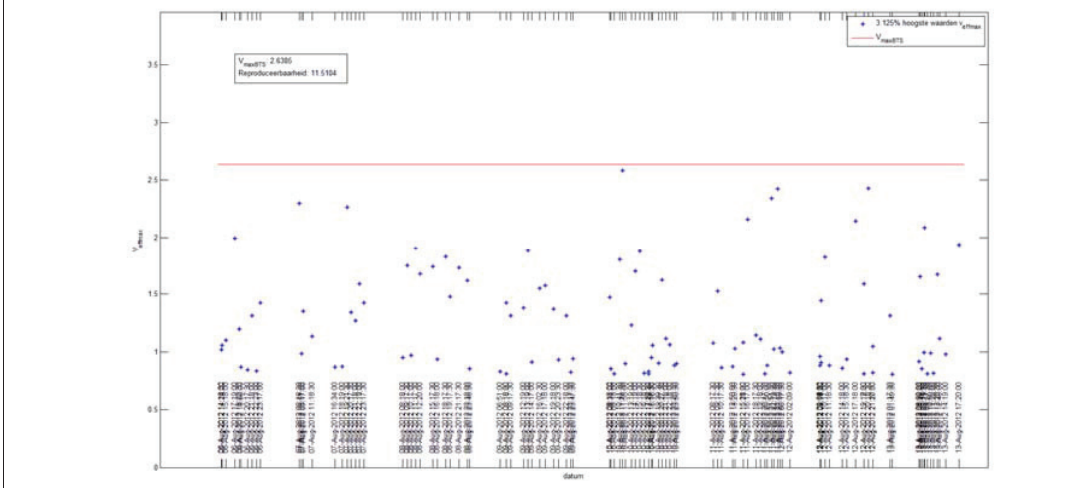
Tabel V.3. Verrekening toetswaarden Vmax Bts Vulcanusweg

locatie	Vmax Bts	R	verrekende Vmax Bts
noordelijke opnemer	1,11	25,4	1,39
zuidelijke opnemer	1,07	19,6	1,27

De gemiddelde verrekende waarde van beide opnemers bedraagt Vmax Bts = 1,33.

Dezelfde procedure is uitgevoerd voor de metingen in Kethel en Rijswijk. Omdat de metingen in Rijswijk en Kethel enkel dienen om aan te tonen dat aan de bovenste grenswaarde wordt voldaan worden de resultaten beknopt gepresenteerd.

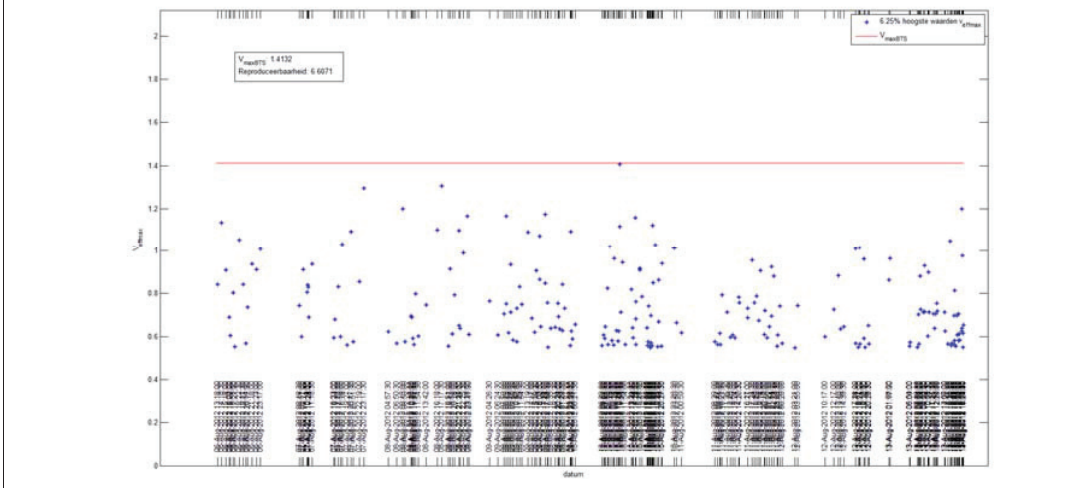
Figuur V.3. Vmax Bts noordelijke opnemer (verticale richting) Kethel



Tabel 13.4. Bepaling Vmax Bts (Noord)[1]

Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax Bts toets
Z	2.6385	0.1712	0.3319	2.4074	113	11.5104	2.9422

Figuur V.4. Vmax Bts zuidelijke opnemer (verticale richting) Kethel

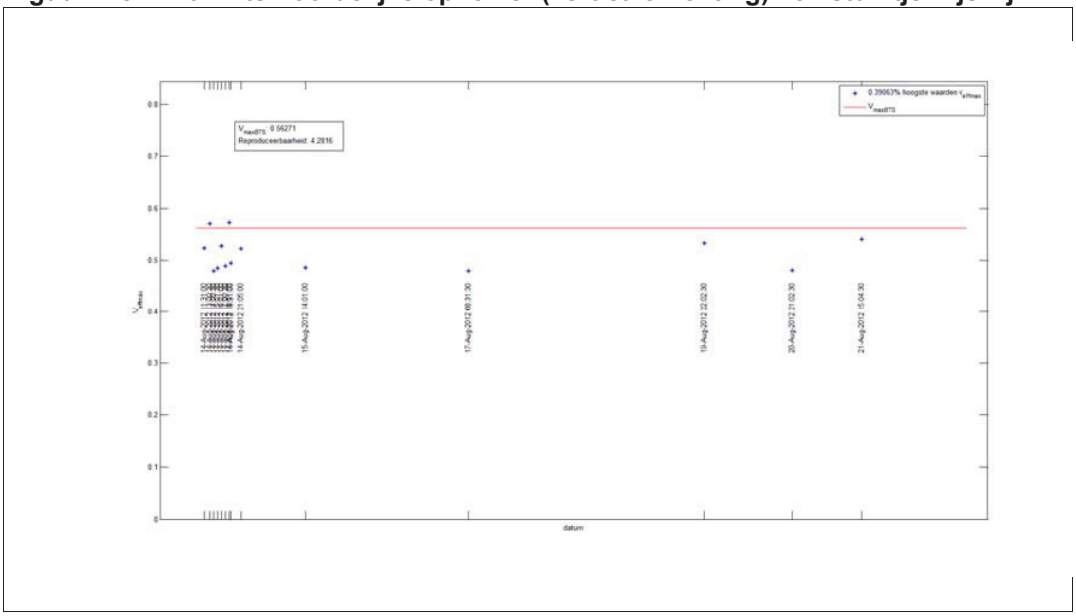


[1] de noordelijke opnemer in Kethel is enigszins dichter bij het spoor geplaatst (circa 8 m) omdat er geen andere mogelijkheid was om de opnemer goed te plaatsen

Tabel 13.5. Bepaling Vmax Bts (Zuid)

Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax Bts toets
Z	1.4132	-0.3184	0.2509	2.6480	231	6.6071	1.4132

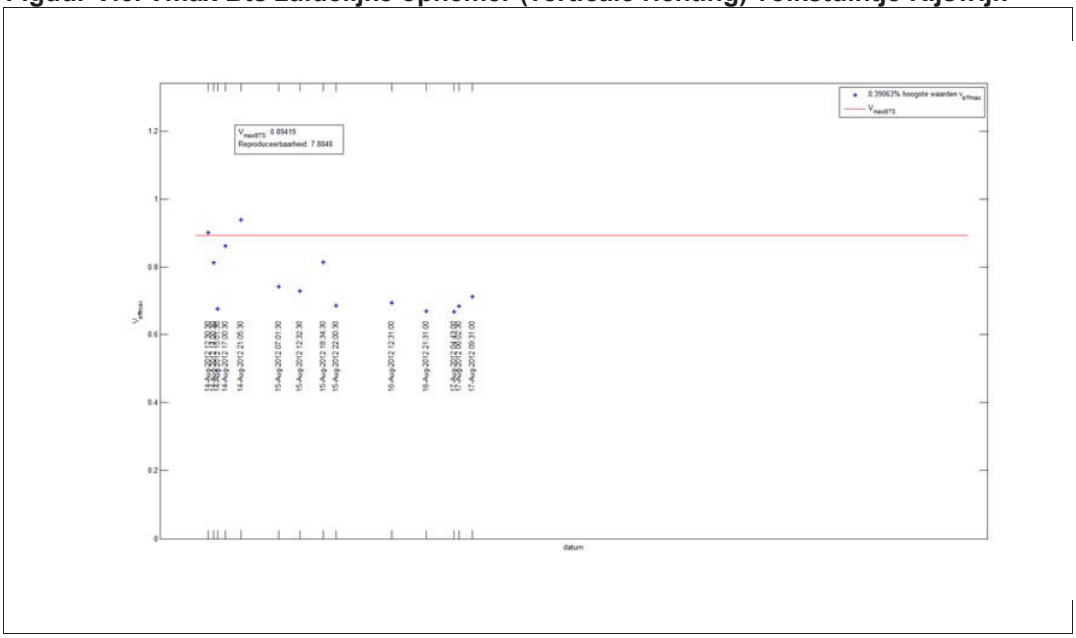
Figuur V.5. Vmax Bts noordelijke opnemer (verticale richting) volkstuintje Rijswijk



Tabel 13.6. Bepaling Vmax Bts (Noord)

Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax Bts toets
Z	0.56271	-0.6688	0.0635	1.4778	14	4.2816	0.56271

Figuur V.6. Vmax Bts zuidelijke opnemer (verticale richting) volkstuintje Rijswijk



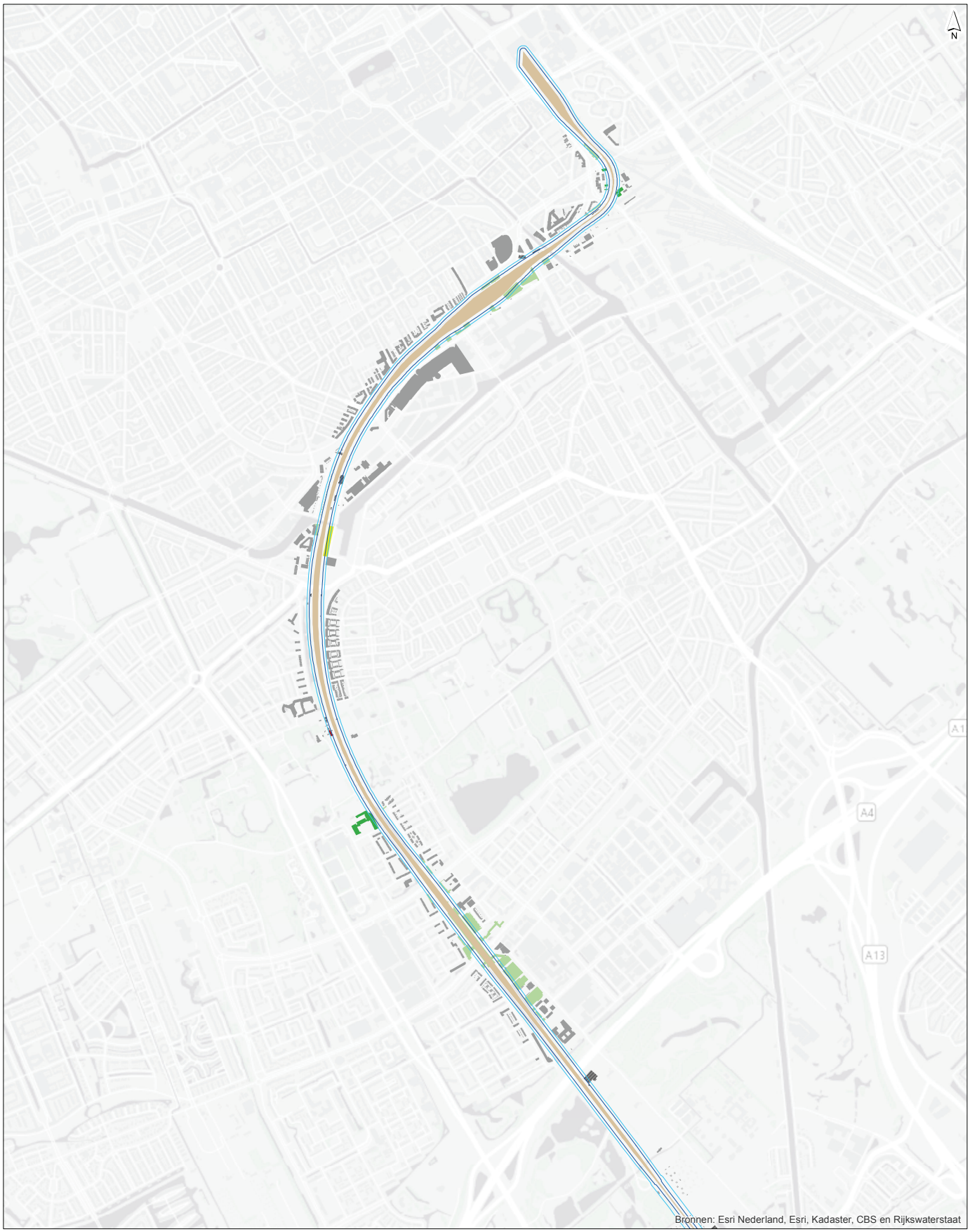
Tabel 13.7. Bepaling Vmax Bts (Zuid)

Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax Bts toets
Z	0.89419	-0.2846	0.1169	1.4778	14	7.8848	0.89419

De gemiddelde waarde voor de volkstuintjes in Rijswijk bedraagt 0.71. De gemiddelde waarde voor de meting in Kethel bedraagt 2,18.

Richting	Vmax Bts Ket-hel	Vmax Bts Rijswijk
X	2.9818	1.1718
Y	2.5552	2.1274
Z	2.1777	0.7285

BIJLAGE VI KAARTEN V_{PER} TOETSING STUDIEGEBIED



- grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)
- grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)
- BuitenkantSpoor referentie
- overschrijding woning
- overschrijding kantoor
- recente nieuwbouw
- afwijkende situatie
- buiten contour kantoor
- schuur of opslaghal
- buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	30

formaat:	A3 staand
schaal:	1:19000

0 180 360 540 720 900 m

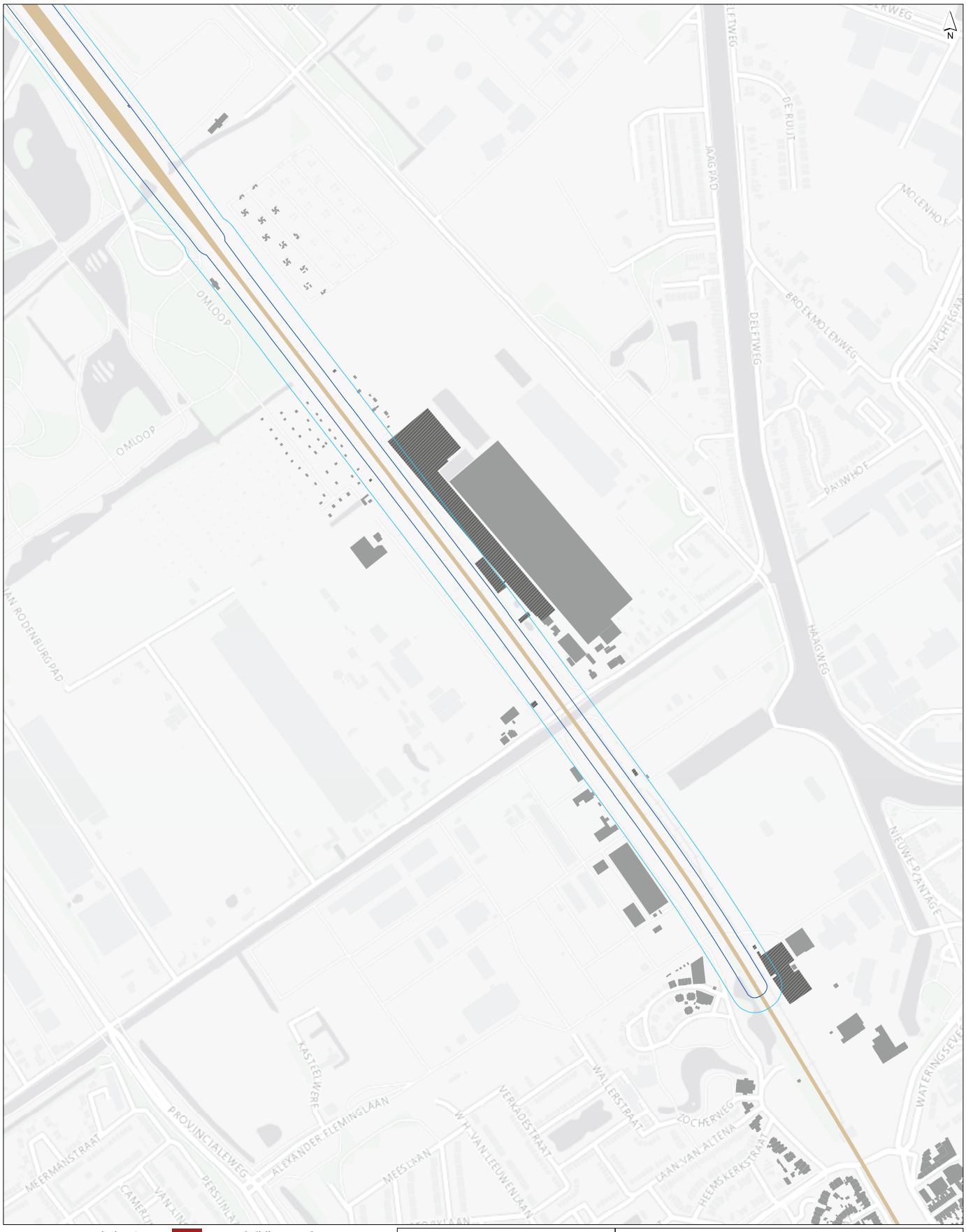
Deelonderzoek trillingen

Referentie situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 1

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:53:13



grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor referentie

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	30

formaat:	A3 staand
schaal:	1:5000

0 40 80 120 160 200 m

Deelonderzoek trillingen

Referentie situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 2

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:53:18

grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor referentie

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	30

formaat:	A3 staand
schaal:	1:7000

0 60 120 180 240 300 m

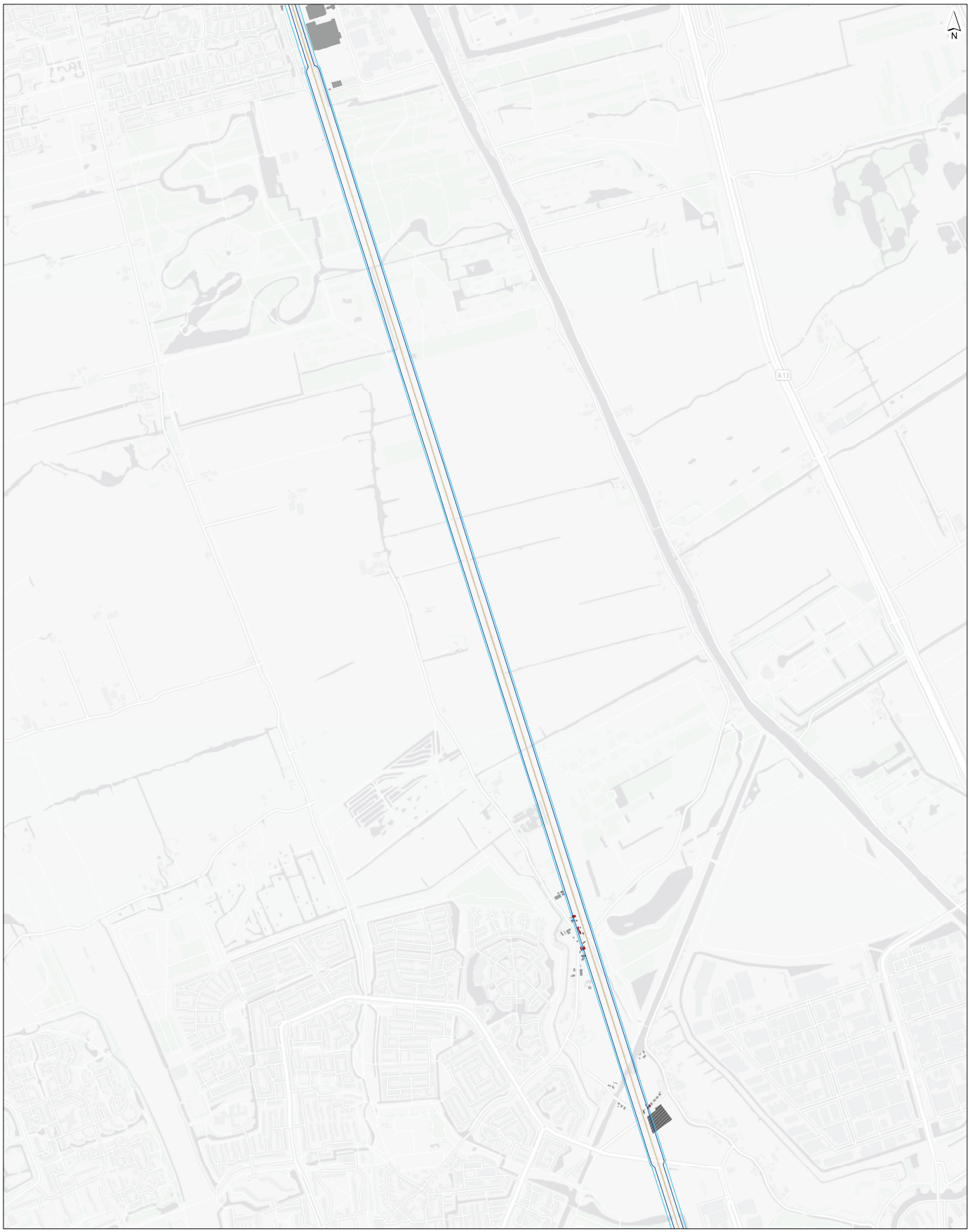
Deelonderzoek trillingen

Referentie situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 3

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:53:22



grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor referentie

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	30

formaat:	A3 staand
schaal:	1:16000

0 160 320 480 640 800 m

Deelonderzoek trillingen

Referentie situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 4

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:53:26

grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor referentie

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	30

formaat:	A3 staand
schaal:	1:15000

0 150 300 450 600 750 m

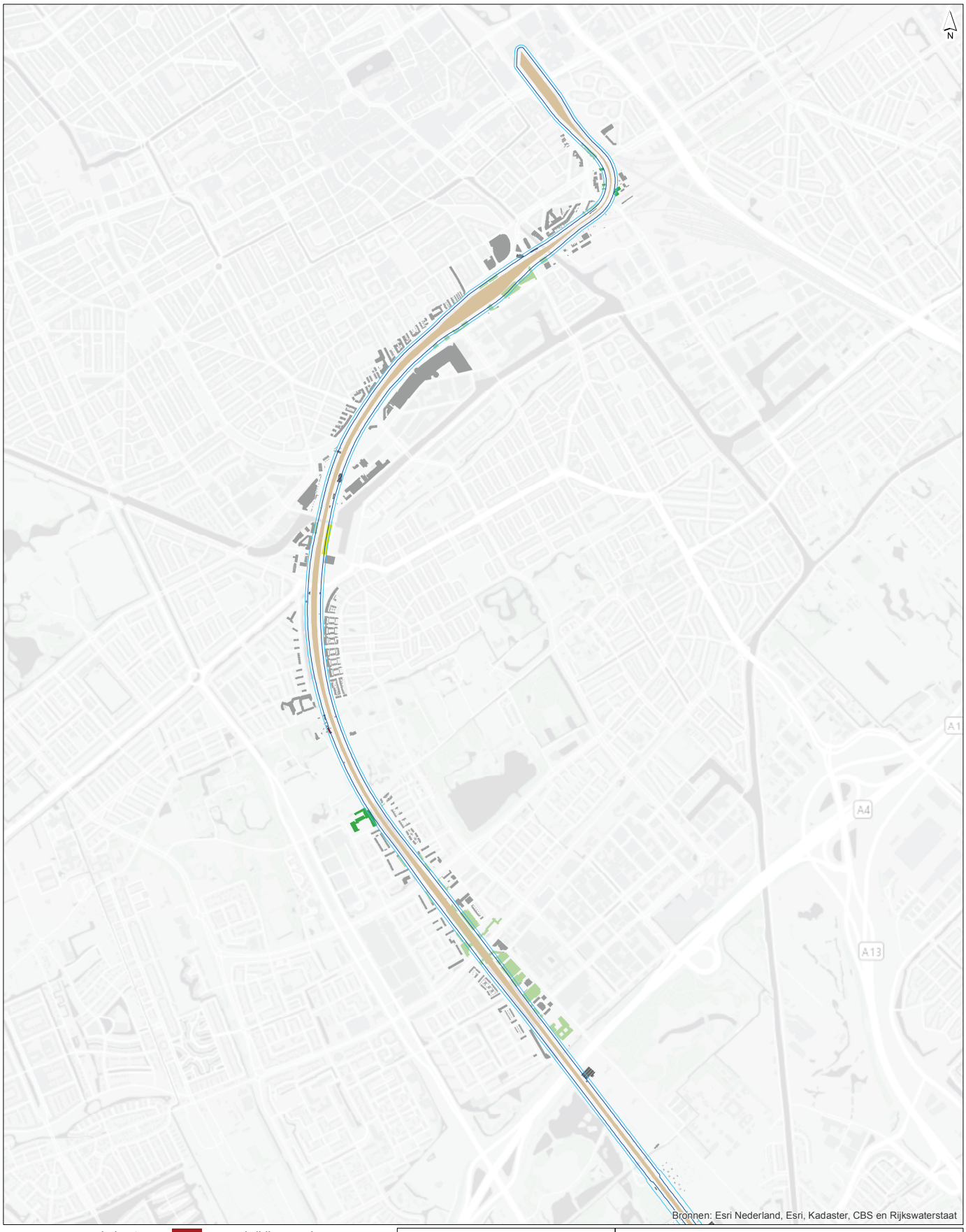
Deelonderzoek trillingen

Referentie situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 5

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:53:31



grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor plan

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31

formaat:	A3 staand
schaal:	1:19000

0 180 360 540 720 900 m

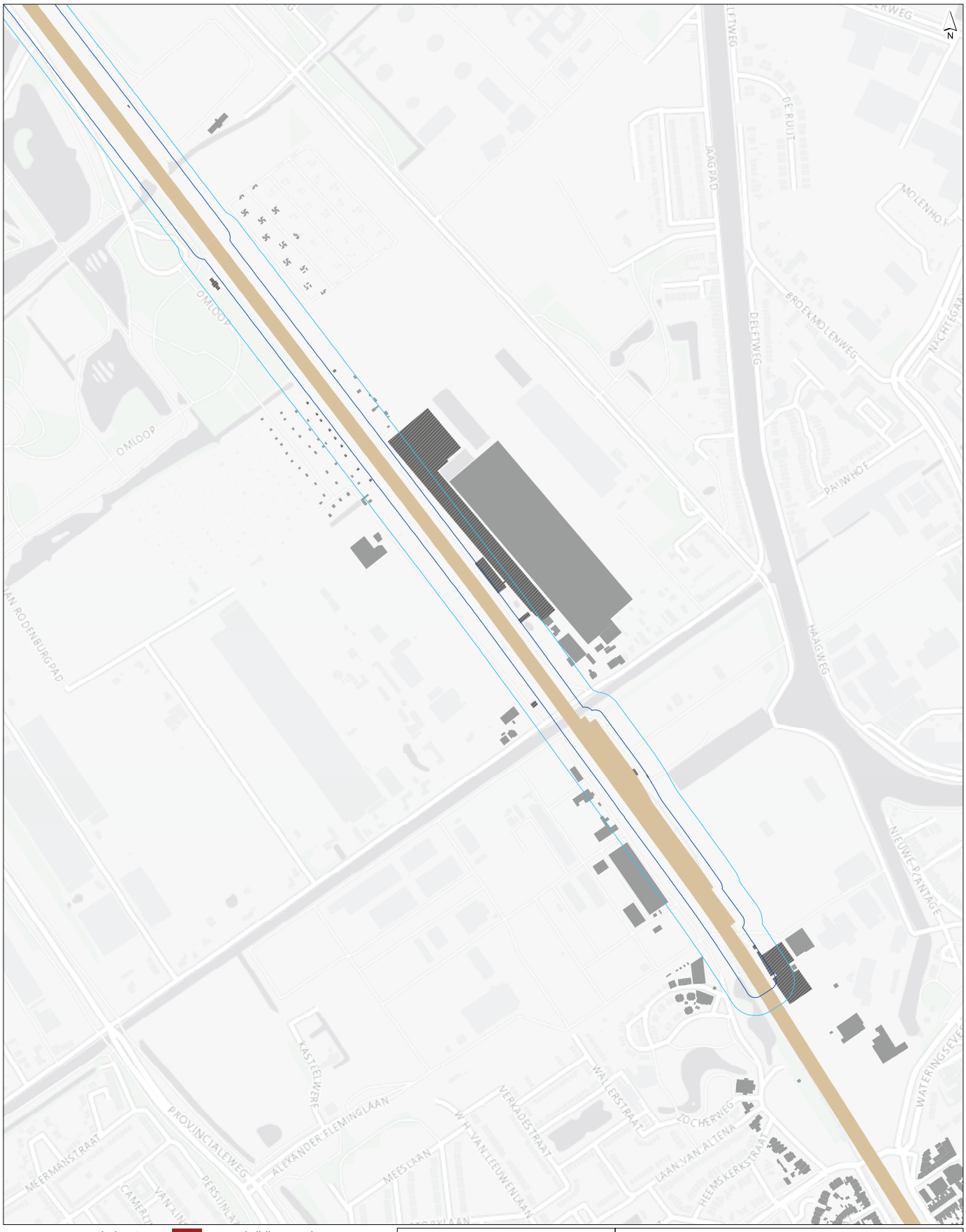
Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 1

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:54:11



- grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)
- grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)
- BuitenkantSpoor plan
- overschrijding woning
- overschrijding kantoor
- recente nieuwbouw
- afwijkende situatie
- buiten contour kantoor
- schuur of opslaghal
- buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31

formaat:	A3 staand
schaal:	1:5000

0 40 80 120 160 200 m

Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 2

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:54:15

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31
formaat:	A3 staand
schaal:	1:7000

0 60 120 180 240 300 m

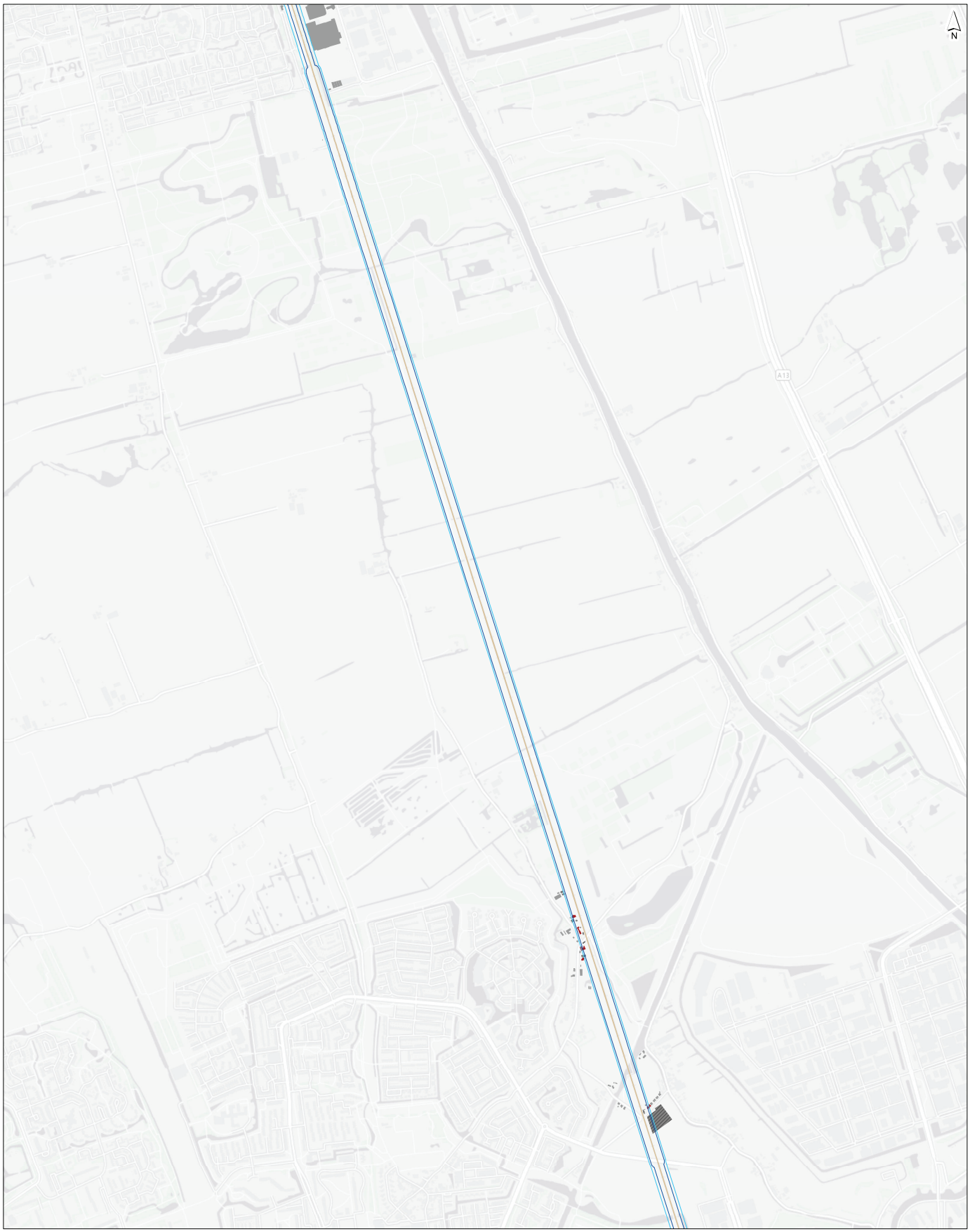
Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 3

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen + Bos

Witteveen+Bos



grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)
grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)
BuitenkantSpoor plan

overschrijding woning
overschrijding kantoor
recente nieuwbouw
afwijkende situatie
buiten contour kantoor
schuur of opslaghal
buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31

formaat:	A3 staand
schaal:	1:16000

0 160 320 480 640 800 m

Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 4

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:54:24

grenswaarde kantoor (v_{per} = 0.15)

grenswaarde woning (v_{per} = 0.10)

BuitenkantSpoor plan

overschrijding woning

overschrijding kantoor

recente nieuwbouw

afwijkende situatie

buiten contour kantoor

schuur of opslaghal

buiten contour

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31

formaat:	A3 staand
schaal:	1:15000

0 150 300 450 600 750 m

Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing v_{per} deelgebied 5

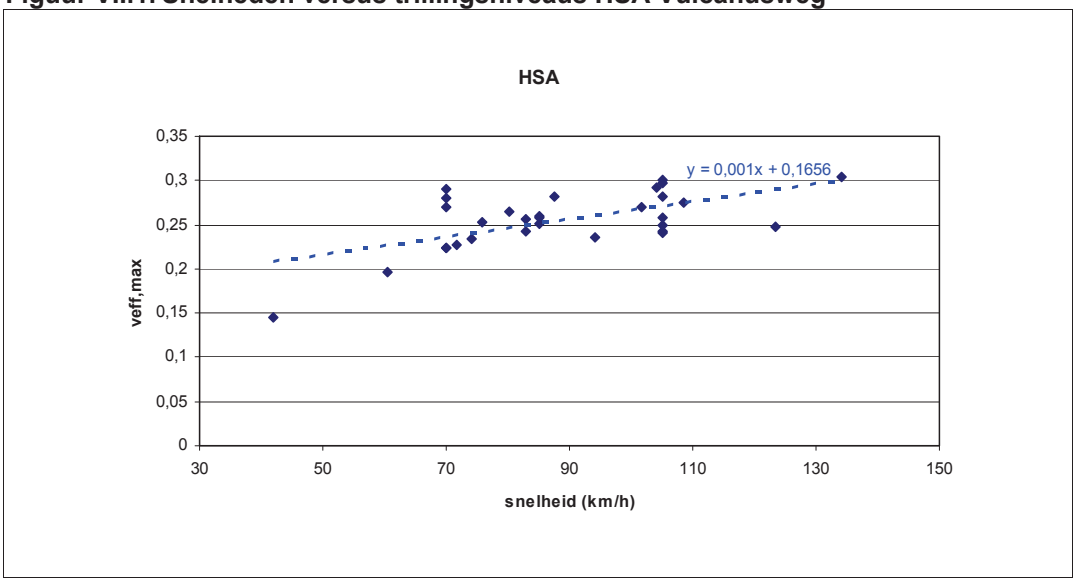
opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

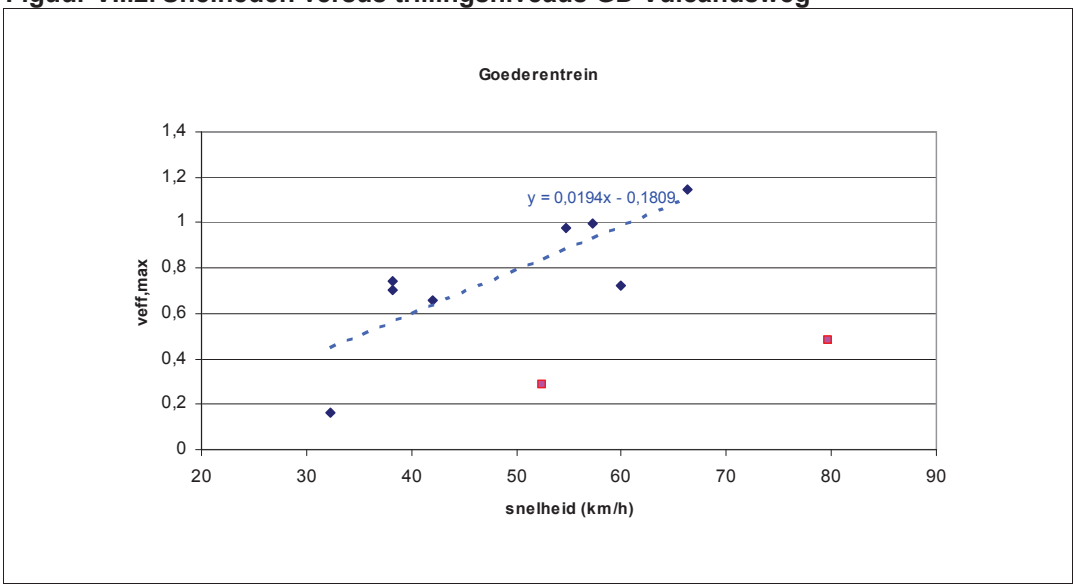
D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor_20141017.mxd 17-10-2014 15:54:29

BIJLAGE VII AFLEIDING SNELHEIDSRELATIE VULCANUSWEG

Figuur VII.1. Snelheden versus trillingsniveaus HSA Vulcanusweg



Figuur VII.2. Snelheden versus trillingsniveaus GD Vulcanusweg



BIJLAGE VIII PROGNOSE V_{MAX} DEELGEBIEDEN 2 EN 3

Figuur VIII.1. Prognose $_{Vmax}$ deelgebied 3[1]

gebo	Adres	bedrijftype	afstand_ref	afstand_plan			dx	afstand tot wissel	toeslag wissel	vmax_plan	vmax_ref	gebouwfacto	Vmax ref	Vmax plan	% toename
1	*minervaweg 21-37*	flat	48,0	47,7			0,3	>50	*1,0*	*1,16*	*1,33*	1	0,48	0,42	-12
2	*Vulcanusweg 257*	vuilverwerking	56,3	55,1			1,2	>50	*1,0*	*1,16*	*1,33*	1	0,38	0,34	-10
3	*Vulcanusweg 259-263*	*opslag/kantoor*	26,1	*24,7*			1,4	>50	*1,0*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,72	1,56	*-9*
4	Vulcanusweg 269	bedrijven + loods	65,5	60,3			5,2	>50	*1,0*	*1,16*	*1,33*	1	0,30	0,30	0
5	*Vulcanusweg 265A*	*moskee*	*45,8*	*39,2*			2,6	>50	*1,0*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,01	1,06	*4*
6	Vulcanusweg 303-307	garage/loods	18,0	18,0	*wissel binnenspoor*		0,0	18,0	*1,32*	*1,16*	*1,33*	1	1,07	1,23	15
7	*Vulcanusweg 309*	*kantoor*	37,8	*30,0*	*wissel binnenspoor*		7,8	*37,8*	*1,00*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,26	1,35	*8*
8	*Tanthofdreef 2*	*kantoor*	52,1	*44,1*			8,0	>50	*1,00*	*1,16*	*1,33*	*2*	0,86	0,93	*8*
9	*tanthofdreef 5A*	*kantoor (wasstraat tuss*	29,4	22,3	*wissel buitenspoor n*		7,1	*22,3*	*1,00*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,58	1,66	*6*
10	*tanthofdreef 7*	*kantoor*	24,5	18,7			5,7	>50	*1,00*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,80	1,83	*2*
11	*tanthofdreef 9*	*kantoor*	24,4	21,1	*wissel buitenspoor*		3,2	*29,9*	*1,20*	*1,16*	*1,33*	*2*	1,81	2,06	*14*
12	*tanthofdreef 13*	*kantoor*	23,4	22,9	*wissel buiten/binnen*		0,5	*22,9*	*1,27*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,85	2,39	*29*
13	*tanthofdreef 15*	*kantoor*	23,8	24,0			-0,1	>50	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,83	1,82	*0*
14	*tanthofdreef 17*	*kantoor*	29,5	29,6			-0,1	>50	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,57	1,57	*0*
15	*tanthofdreef 21*	*kantoor*	23,4	23,5			-0,1	>50	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,86	1,85	*0*
16	*tanthofdreef 27*	*kantoor*	23,4	23,4			0,0	>50	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,85	1,85	*0*
17	*tanthofdreef 29*	*kantoor*	35,4	35,4			0,0	>50	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,34	1,34	*0*
18	schieweg 104	makro	30,7	30,66			0,0	>50	1,00	*1,33*	*1,33*	*2*	1,52	1,52	0
19	schieweg 76	rollema transport	31,4	25,2			6,2	>50	1,00	*1,33*	*1,33*	1	0,75	0,88	18
20	*ampereweg 17-27*	*kantoor*	29,7	*25,5*			29,7	*34,1*	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,57	1,75	*12*
21	*ampereweg 20-28*	*kantoor*	29,7	*25,7*			29,7	*34,1*	*1,00*	*1,33*	*1,33*	*2*	1,56	1,74	*11*
22	schieweg 64	fabriekshal brood	46,6	38,5	*wissel buitenspoor*		8,2	38,5	*1,12*	*1,33*	*1,33*	1	0,50	0,69	39
23	energieweg 15	fabriekshal	64,8	56,5			8,3	>50	1,00	*1,33*	*1,33*	1	0,30	0,38	25
24	energieweg 20	fabriekshal	70,2	60,4			9,8	>50	1,00	*1,33*	*1,33*	1	0,26	0,34	30
25	schieweg 15	fabriekshal	19,3	12,6	*wissel binnenspoor*		6,7	19,3	1,00	*1,33*	*1,33*	1	1,04	1,24	20
26	schieweg 7	fabriekshal Prysmian	23,0	11,2			11,8	>50	1,00	*1,33*	*1,33*	1	0,94	1,29	37

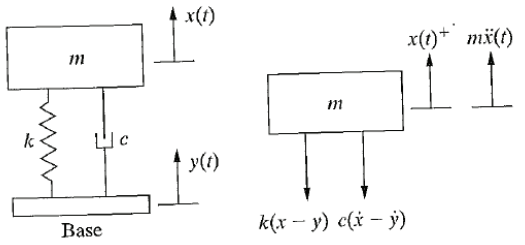
[1] voor gebouwnummers 1 tot met 11 geldt dat voor de gehanteerde vmax_plan (dit is het 10-meter niveau op 10 meter afstand) een snelheid van 80 km/h wordt uitgegaan. Dit betreft (goederen)treinverkeer op het buitenste westelijke spoor

bijlage VIII behorende bij rapport RIS432-12/14-021.054 d.d. 10 november 2014

BIJLAGE IX BOVENGRENSBEPALING GEMIDDELDE GEBOUWOVERDRACHT STUDIEGEBIED

Opslingering van een vloer in een gebouw wordt gemodelleerd middels een massaveersysteem. Zie onderstaande figuur.

Figuur IX.1. Massaveersysteem



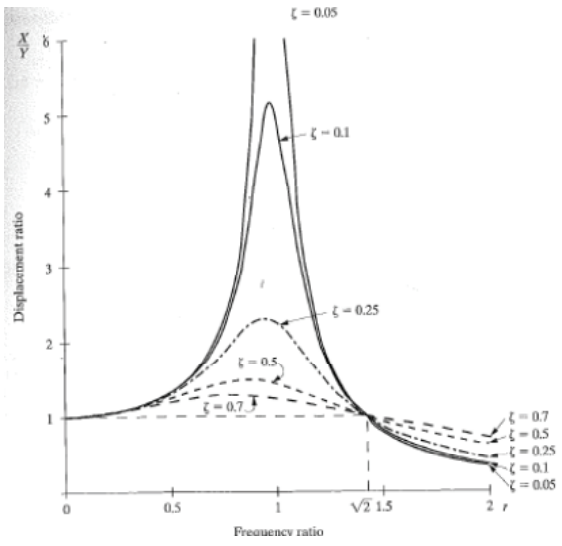
Hierbij betreft x(t) de verplaatsing van de vloer en y(t) de aanstoting van het gebouw, oftewel het trillingssignaal op maaiveld. De verhouding tussen deze 2 wordt de overdrachtsfunctie genoemd (transmissibility function). De verhouding luidt, [lit. 8.]:

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$

Waarbij:
ζ = dempingsratio;
r = frequentieratio;

Onderstaande figuur geeft de verhouding grafisch weer voor een aantal waarden voor de dempingverhouding.

Figuur IX.2. Ratio



De treinpassages gemeten met de dwarsraaimetingen op 10 m afstand op de locatie Rijswijk en Delft Instruments zijn onderzocht. Designalen op 10 m afstand zijn als y(t) ingevoerd zonder enige filtering toe te passen. Voor elke treinpassage is vervolgens de verhouding $v_{max,vloer}/v_{max,maaiveld}$ bepaald. De demping van het massaveersysteem is daarna zo geschaald dat de maximale waarde van de verhouding (opslingering) van alle treinpassages per eigenfrequentie van de vloer een factor 3 bedraagt.

Door de som van de kwadraten van $v_{max,vloer}$ en $v_{max,maaiveld}$ te delen en de wortel te nemen volgt de gemiddelde opslingeringsfactor die wordt verwacht voor de treinpassages gemeten in Rijswijk en Delft (Delft Instruments), wanneer de maximale opslingering een factor 3 bedraagt. In tabellen IX.1 en IX.2 worden de resultaten weergegeven.

Tabel IX.1. Gemiddelde opslingering massaveersysteem Rijswijk

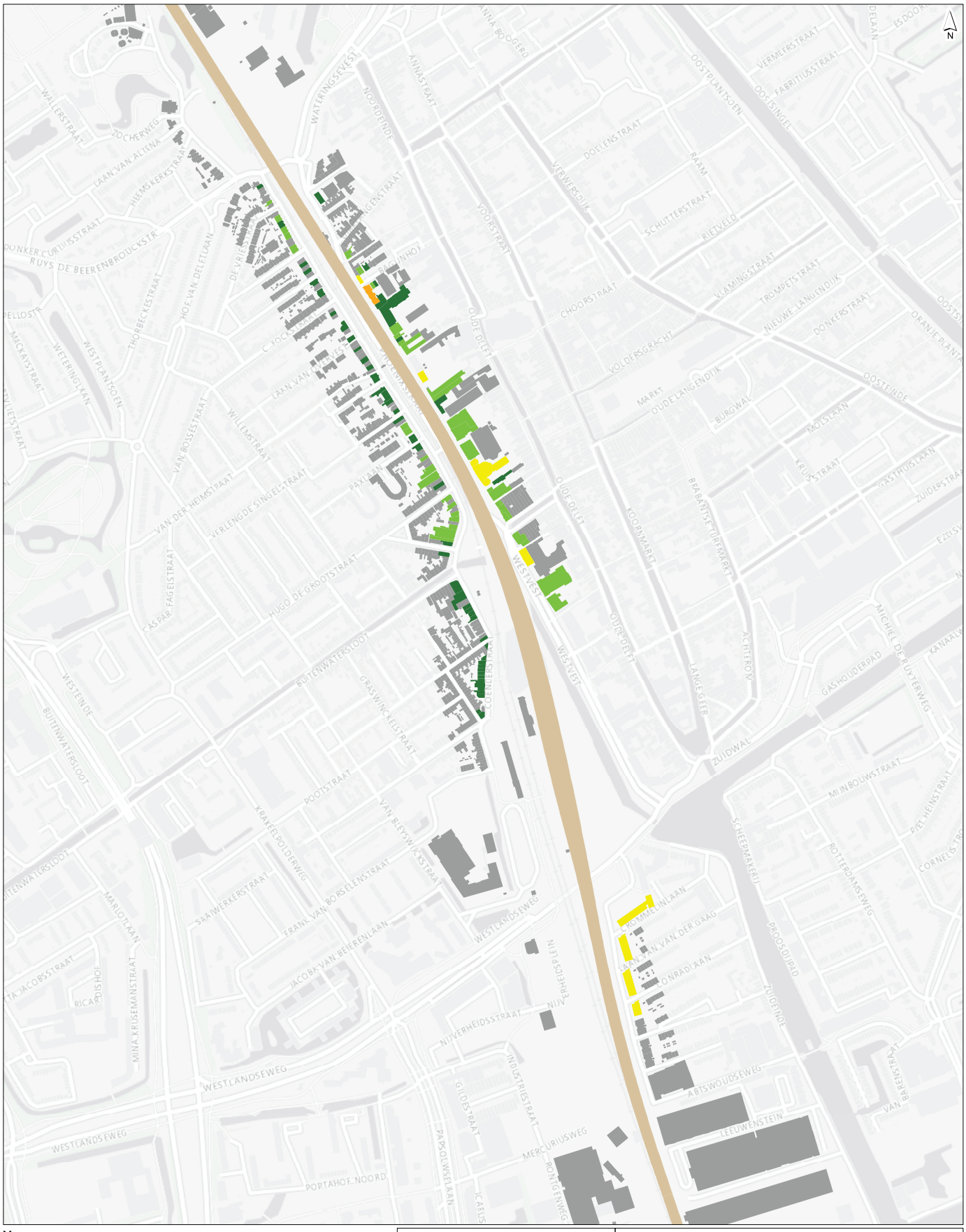
eigenfrequentie vloer (Hz)	gemiddelde opslingering v_{per}
10	1,09
15	1,29
20	1,93
25	1,99
30	1,58
35	1,08
40	1,47

Tabel IX.2. Gemiddelde opslingering massaveersysteem Delft (Delft Instruments)

eigenfrequentie vloer (Hz)	gemiddelde opslingering v_{per}
10	1,66
15	1,39
20	1,41
25	1,66
30	1,68
35	1,99
40	2,01

Daar waar de maximale opslingering een factor 3 bedraagt, blijkt de gemiddelde opslingering voor alle eigenfrequenties van de vloer 2 of minder te zijn.

BIJLAGE X KAART ORIGINELE PROGNOSE V_{MAX} SPOORTUNNEL



Vmax

- < 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- > 0,4
- BuitenkantSpoor plan

getekend:	ing. B.J. Roosendaal
gecontroleerd:	ing. H.E.J. Nieuwland
goedgekeurd:	ir. E. Vlijm
versie:	definitief 2
datum:	17-10-2014
tekeningnr:	31

formaat:	A3 staand
schaal:	1:6000

0 50 100 150 200 250 m

Deelonderzoek trillingen

Plan situatie
Toetsing Vmax spoortunnel

opdrachtgever:	Prorail
projectnaam:	MER Hoogfrequent Spoorvervoer Rijswijk - Delft Zuid
projectcode:	RIST151-20-102

Witteveen+Bos

D:\PROJECTS\RIST151-20-102\Buitenkant Spoor - Delft 2009_141017.mxd 17-10-2014 15:15:32

BIJLAGE XI RESULTATEN TRILLINGSPROEF SPOORTUNNEL: BODEMOVERDRACHTEN

De trillingsproef is uitgevoerd op een drietal locaties in de oostelijke tunnel in Delft. De 3 locaties waar de proef is uitgevoerd worden in tabel XI.1 gepresenteerd.

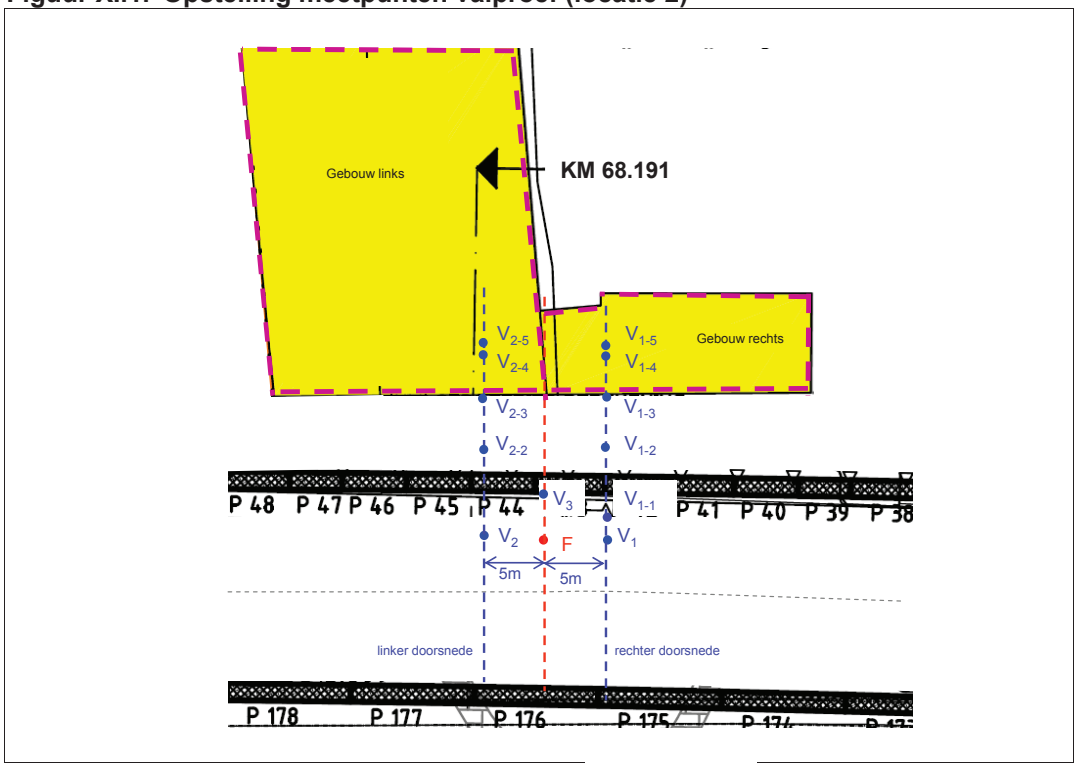
Tabel XI.1. Locaties trillingsproef

locatie	adressen	kilometrering
1.	Phoenixstraat 49 Phoenixstraat 44 (is eerste verdieping)	68.850
2.	Phoenixstraat 32 zuidelijk gedeelte Phoenixstraat 32 nieuwe gedeelte	68.920
3.	Phoenixstraat 6-8 Phoenixstraat 4C	69.111

Middels een valproefopstelling is op de verschillende proeflocaties een stootbelasting op de tunnelvloer uitgeoefend. Hierbij laat men een gewicht gecontroleerd op de tunnelvloer vallen. De resulterende stootbelasting leidt tot een trillingsignaal. Hoe de locaties van de verschillende ontvangerpunten zich verhouden tot het aangrijpingspunt van de stootbelasting wordt weergegeven in figuur XI.1.

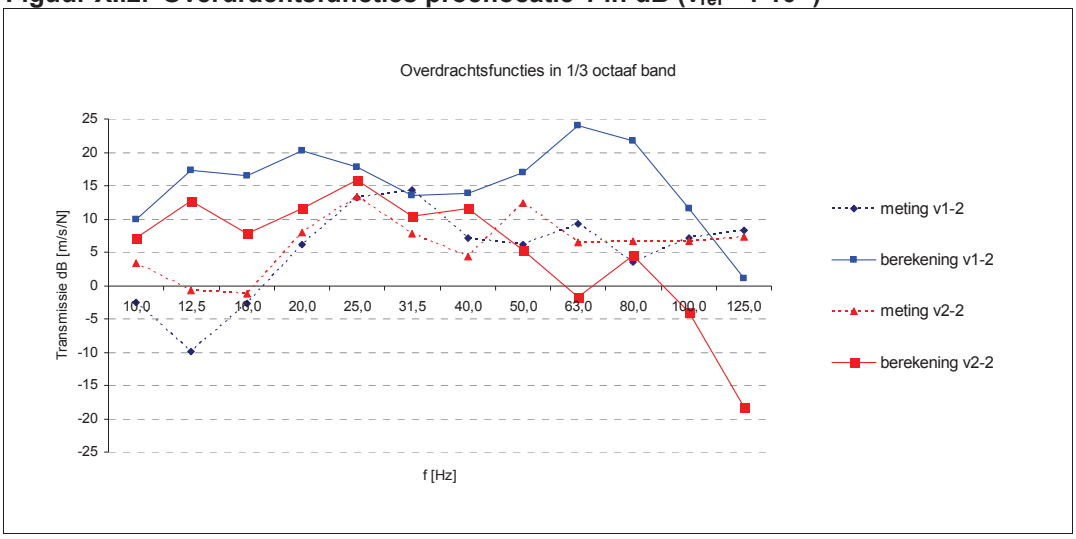
In de tunnel is aan beide zijden op 5 m afstand van het aangrijpingspunt van de stootbelasting het trillingsignaal op de tunnelvloer gemeten (V_1 en V_2). Ook is in de tunnel aan de wand gemeten (V_3). Dit is de enige locatie waar horizontaal is gemeten. Alle andere opnemers hebben het trillingssignaal in verticale richting gemeten. Op maaiveld tussen de gebouwen en de tunnelwand is een tweetal opnemers geplaatst (V_{1-2} en V_{2-2}), daarnaast zijn aan de fundering van beide gebouwen (V_{1-3} en V_{2-3}), op de begane grond (V_{1-4} en V_{2-4}) en op de eerste verdieping (V_{1-5} en V_{2-5}) trillingssignalen gemeten.

Figuur XI.1. Opstelling meetpunten valproef (locatie 2)

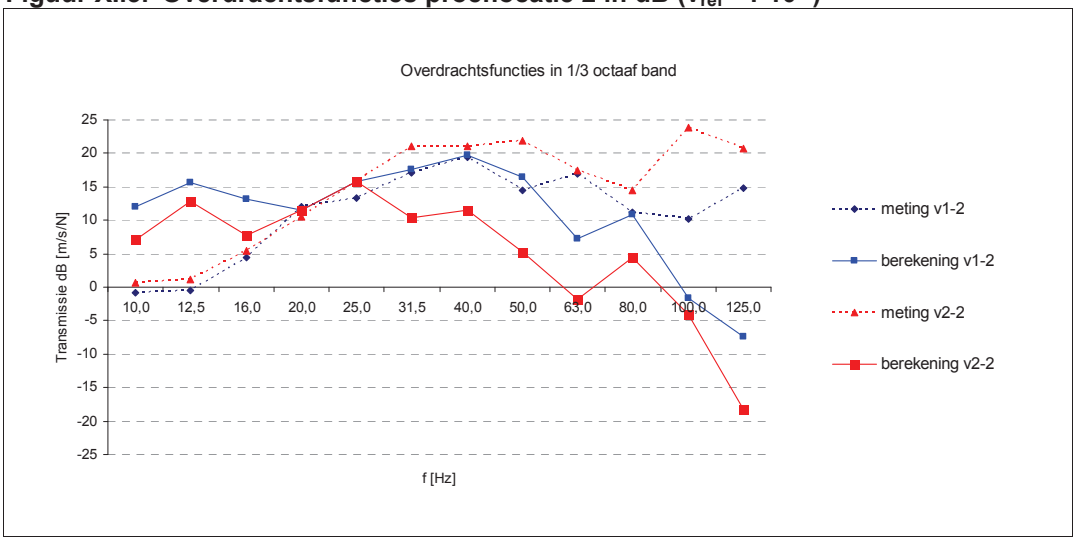


Voor de referentiedoorsnede van de spoortunnel in Delft is een prognose van trillingsniveaus gemaakt op basis van een vlakkerek rekenmodel waarin de tunnel met omringende grondlagen is gemodelleerd. Middels dit rekenmodel zijn voor de verschillende ontvangerpunten op maaiveld ($V_{1\text{-}1}$ en $V_{1\text{-}2}$) de overdrachtsfuncties berekend. De berekende overdrachten middels het vlakkerek rekenmodel kunnen echter niet direct met de resultaten van de driedimensionale trillingsproef worden vergeleken vanwege het verschil tussen 2D en 3D. Het tweedimensionale vlakkerek rekenmodel is daarom uitgebreid naar een driedimensionaal rekenmodel zodat de overdrachten wel vergeleken konden worden. Hierbij is getoetst of het driedimensionale rekenmodel voor een vlakkerek situatie tot dezelfde resultaten als het tweedimensionale rekenmodel leidt. Dit bleek het geval. Vervolgens zijn de berekende en gemeten overdrachten vergeleken. Voor de drie proeflocaties worden de gemeten en berekende overdrachten voor de ontvangerpunten op maaiveld weergegeven in figuren XI.2 tot en met XI.4.

Figuur XI.2. Overdrachtsfuncties proeflocatie 1 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})

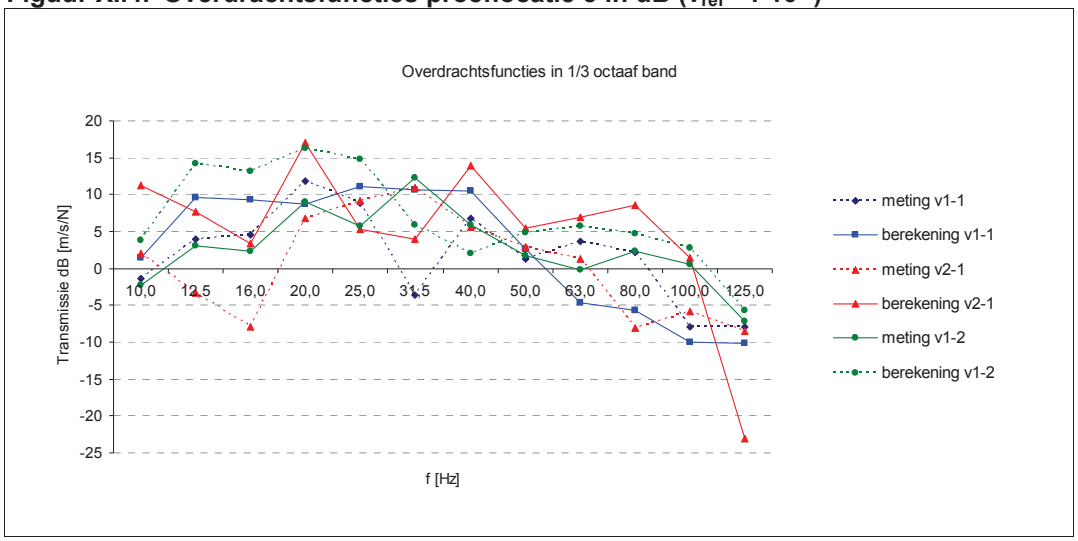


Figuur XI.3. Overdrachtsfuncties proeflocatie 2 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})



Uit de resultaten volgt dat het verschil tussen de gemeten en de berekende overdrachten afhankelijk van de frequentieband is. De gemeten overdracht gevonden voor het maaiveldpunt V_{1-2} op proeflocatie 1 blijkt het meeste verschil te bezitten ten opzichte van de berekende overdracht. De berekende overdracht voor deze locatie blijkt voor de tertsbanden tussen de 10 en 80 Hz gemiddeld meer dan 12 dB hoger te liggen dan de gemeten overdracht. Dit zou betekenen dat de trillingsniveaus berekend met het rekenmodel een behoorlijk overschatting opleveren. Dit resultaat geldt echter niet voor andere ontvangerpunten. Voor proeflocatie 2, ontvangerpunt V_{2-2}, volgt juist dat de meetresultaten voor de tertsbanden vanaf 31,5 Hz hogere overdrachten laten zien dan de berekeningsresultaten. Kijken we naar proeflocatie 3 dan volgt voor ontvangerpunt V_{1-1} relatief weinig verschil tussen meting en berekening. Voor de overige ontvangerpunten op locatie 3 volgt echter weer een groter verschil.

Figuur XI.4. Overdrachtsfuncties proeflocatie 3 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})[1]



De verschillen in gemeten en berekende overdracht blijken sterk te fluctueren per frequentieband. Omdat trillingssignalen veroorzaakt door treinverkeer een meerbandig spectrum beslaan (dit volgt ook uit de trillingsmetingen uitgevoerd voor het studiegebied, zie paragraaf 5.2) is het gemiddelde verschil tussen meting en berekening over de frequentiebanden 10 tot 80 Hz bepaald. Per ontvangerpunt wordt de gemiddelde afwijking weergegeven in tabel XI.2.

[1] ter plaatse van proeflocatie 3 is op meer maaiveldpunten gemeten omdat er niet op het tunneldak gemeten kon worden

Tabel XI.2. Gemiddeld verschil tussen gemeten en berekende overdracht per tertsband

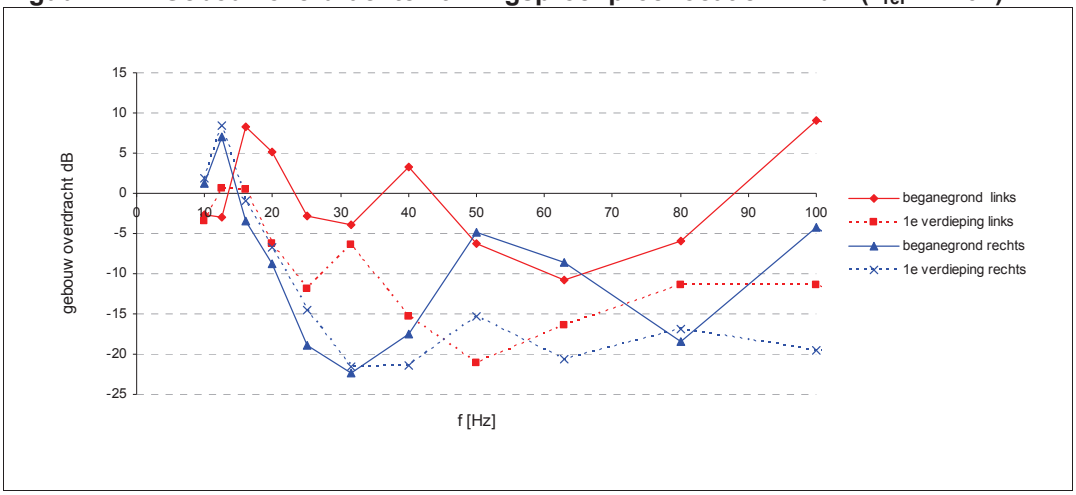
sectie	ontvangerpunt	(absoluut) gemiddeld verschil in dB
1	v1-2	12.7
1	v2-2	2.4
2	v1-2	3.2
2	v2-2	4.5
3	v1-1	1,5
3	v1-2	4,6
3	v2-1	6,4
gemiddeld verschil		**5,0**

Het gemiddelde verschil tussen meting en berekening over alle meetpunten blijkt 5,0 dB te bedragen. Hierbij blijkt het verschil tussen meting en berekening de ene keer positief en de andere keer negatief te zijn. Oftewel, de ene keer resulteert het rekenmodel in te gunstige en de andere keer in te ongunstige trillingsniveaus. Een verschil van 5 dB resulteert in een mogelijk verschil in trillingsniveau van circa 80 % en levert daarmee een behoorlijke bandbreedte op de resultaten van de prognose op. Uit literatuur blijkt dat met dergelijke verschillen rekening moet worden gehouden [lit. 10.]. Deze bandbreedte dient daarom in de resultaten van de reeds uitgevoerde prognose te worden verwerkt.

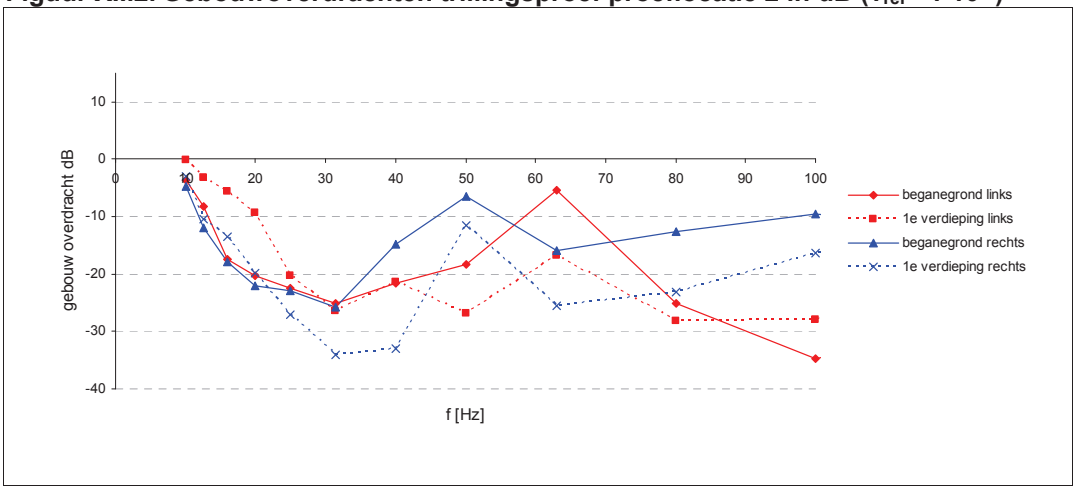
BIJLAGE XII RESULTATEN TRILLINGSPROEF SPOORTUNNEL: GEBOUWOVERDRACHTEN

Middels de trillingsproef is voor een zestal gebouwen het trillingssignaal op maaiveld vlak voor het gebouw als ook het trillingssignaal op begane grond en eerste verdieping gemeten. Hierdoor is de trillingsoverdracht van het gebouw te bepalen. Deze overdrachten zijn vergeleken met de berekende overdrachten van het prognosemodel. In figuren XII.1 tot en met XII.3 worden de gemeten overdrachten per proeflocatie weergegeven. De linker en rechterdoorsnede betreffen verschillende panden (zie voor uitleg figuur XI.1).

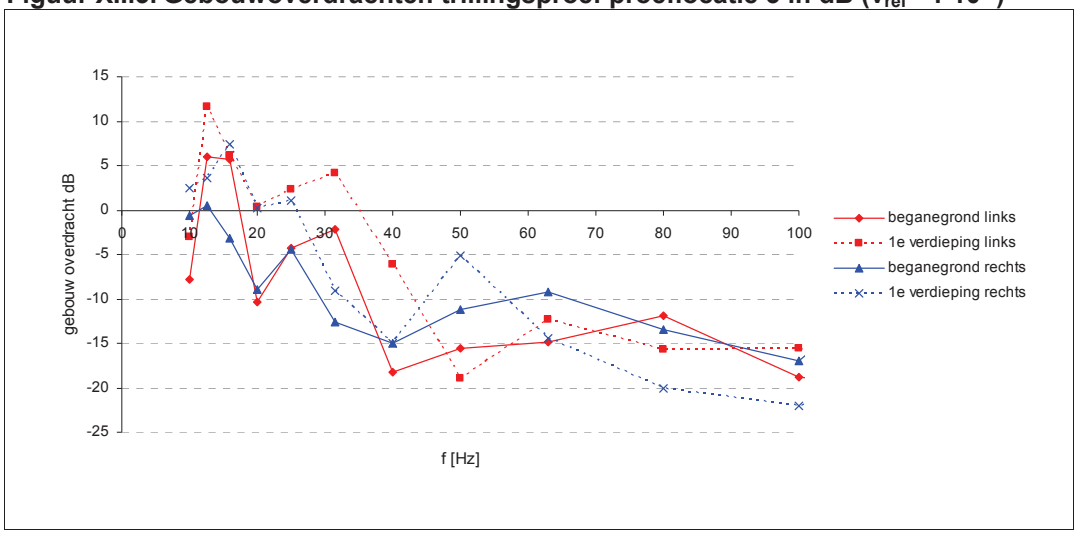
Figuur XII.1. Gebouwoverdrachten trillingsproef proeflocatie 1 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})



Figuur XII.2. Gebouwoverdrachten trillingsproef proeflocatie 2 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})



Figuur XII.3. Gebouwoverdrachten trillingsproef proeflocatie 3 in dB (v_{ref} =1·10^{-9})



Uit de meetresultaten blijkt voor zowel locatie 1 als locatie 3 dat er tussen de 10 en 30 Hz een verhoging van trillingsniveau is gemeten op de begane grond en/of eerste verdieping ten opzichte van het meetpunt op maaiveld. Dit geeft aan dat er opslingering van een vloer in dit frequentiegebied plaatsvindt. Voor proeflocatie 2 is geen opslingering gevonden tussen de 10 en 100 Hz. Op proeflocatie 1 is voor de begane grond van het linker gebouw (betreft Kamer van Koophandel) voor de tertsband van 100 Hz ook een verhoging gevonden. Bij de bepaling van v_{max} wordt echter enkel de frequentie-inhoud van het trillingssignaal tot 80 Hz bekeken. De verhoging in de 100 Hz tertsband heeft daarom geen invloed op de waarde van v_{max} in het gebouw.

Om een beeld te krijgen hoe de resultaten van de proef zich verhouden tot de resultaten van de rekenmodule is een vergelijking gemaakt. Hierbij is per gebouw voor zowel begane grond als eerste verdieping nogmaals een predictie van trillingsniveaus gemaakt op basis van de reeds uitgevoerde prognose. De rekenmodule voor de gebouwoverdracht is hierbij echter vervangen door de gemeten overdrachten. De overdrachtsfactor is vervolgens gedefinieerd als $v_{max_gebouw}/v_{max_maaiveld}$. In tabel XII.1 worden de resultaten weergegeven.

Tabel XII.1. Vergelijking gebouwoverdrachten[1]

adres	overdrachtsfactor meting	overdrachtsfactor prognose
Phoenixstraat 49 (KvK)	1,0	6,0
Phoenixstraat 44 (is eerste verdieping)	0,9	1,6
Phoenixstraat 32 zuidelijk gedeelte	0,6	0,6
Phoenixstraat 32 nieuwe gedeelte	0,7	1,6
Phoenixstraat 6-8	2,4	0,7
Phoenixstraat 4C	1,4	0,7

Uit de tabel blijkt dat de maximale overdrachtsfactor die middels het gebouwmodel gevonden wordt voor de Kamer van Koophandel, in werkelijkheid veel kleiner is.

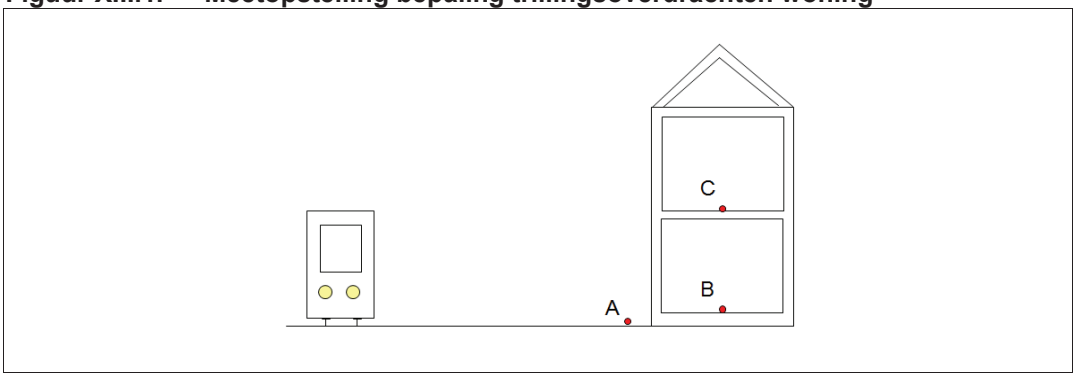
[1] overdrachten zijn berekend voor een tweetal type treinpassages, namelijk de goederentrein en de dubbeldekker. Van de gevonden overdrachtsfactoren wordt steeds de factor behorende bij de maximale v_{max} gepresenteerd.

Voor het voormalig pand van oudijzerhandel de Zwaard (Phoenixstraat 6-8) blijkt juist dat de gemeten overdrachtsfactor behoorlijk groter is dan de berekende overdrachtsfactor. Kijken we naar het gemiddelde van de gebouwfactoren dan blijken de waarden van de meting en de berekening vrijwel gelijk (de uitschieter van 6,0 niet meegenomen)

BIJLAGE XIII UITWERKING TRILLINGSMETINGEN GEBOUWOVERDRACHTEN STUDIEGEBIED

Ten behoeve van stap 2 van het trillingsonderzoek MER PHS viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid zijn in een drietal woningen trillingsmetingen uitgevoerd om een gemiddelde gebouw-overdrachtsfactor te bepalen voor de prognose van gemiddelde trillingsniveaus (v_{per}). In onderstaande figuur wordt de meetopstelling weergegeven.

Figuur XIII.1. Meetopstelling bepaling trillingsoverdrachten woning

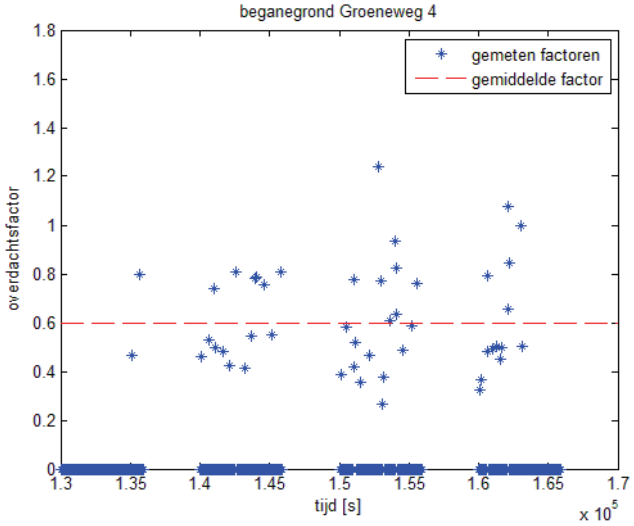


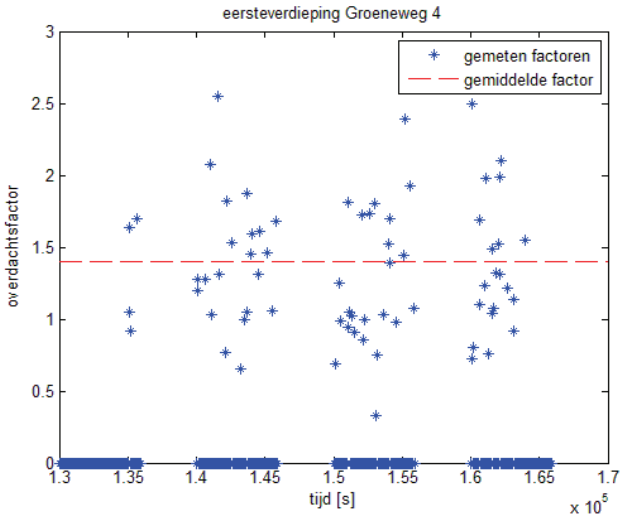
Per woning zijn over 3 tot 4 uur de opgetreden trillingsniveaus ($v_{eff,max,30,i}$) conform de SBR-richtlijn deel B gemeten op een drietal locaties. Het resultaat van de metingen is daarom per woning een set met daarin voor locaties A,B en C de opgetreden $v_{eff,max,30,i}$ waarden.

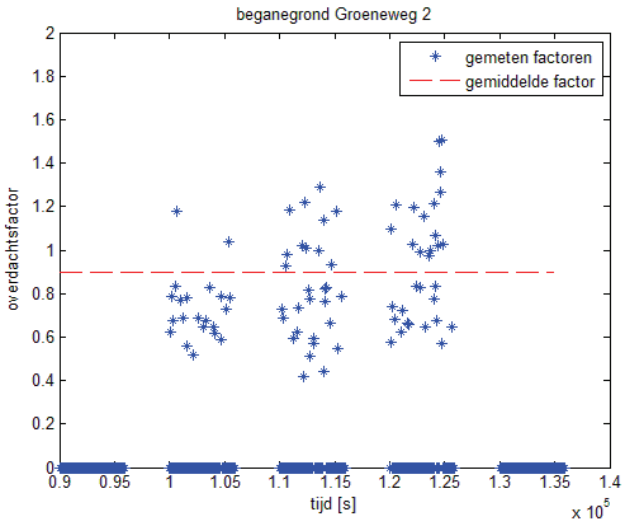
De datasets zijn vervolgens verwerkt met behulp van MATLAB om tot een gemiddelde gebouwoverdracht te komen. Hiertoe zijn de volgende stappen uitgevoerd:

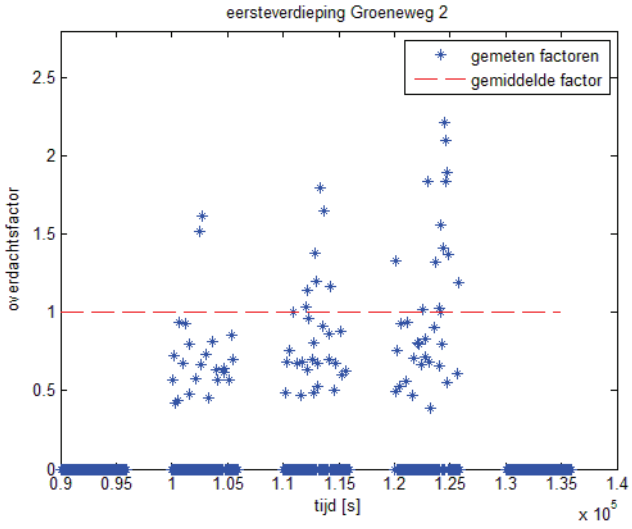
1. verwijderen van stoorbronnen. Op 1 van de 3 locaties, namelijk de Vredenburchweg 158, waren erg veel stoorsignalen aanwezig in de dataset vanwege spelende kinderen. Dat een signaal door stoorbronnen is veroorzaakt valt te herkennen aan frequentie-inhoud en hoe het signaal er wat betreft tijdsverloop uitziet;
2. de waarden van veff,max,30,i op begane grond (locatie B) en eerste verdieping (locatie C) correleren aan de waarden op locatie A;
3. om de overdrachtsfactor per 30-secondeinterval te bepalen voor begane grond en eerste verdieping zijn de gemeten waarden op begane grond en eerste verdieping gedeeld door de waarden op maaiveld (locatie A);
4. omdat per 30-secondeinterval de maatgevende waarde van veff,max in dat interval door de meetapparatuur wordt opgeslagen kan mogelijk hetzelfde treinsignaal op locatie A net een interval eerder maatgevend zijn dan op locatie B. Om dit mee te nemen is per interval gekeken of het delen van de veff,max,30,i in de woning met veff,max,30,i op maaiveld een interval eerder of later tot een maatgevendere overdracht leidt. De meest maatgevende overdracht is meegenomen in de bepaling van gemiddelde overdracht;
5. uit alle overdrachtsfactoren (die niet nul zijn) is voor begane grond en eerste verdieping de gemiddelde factor berekend. Bij de berekening van het gemiddeld is rekening gehouden met het feit dat de waarde van v_{per} word berekend aan de hand van de wortel van de som van alle gekwadrateerde waarden van $v_{eff,max,30,i}$.

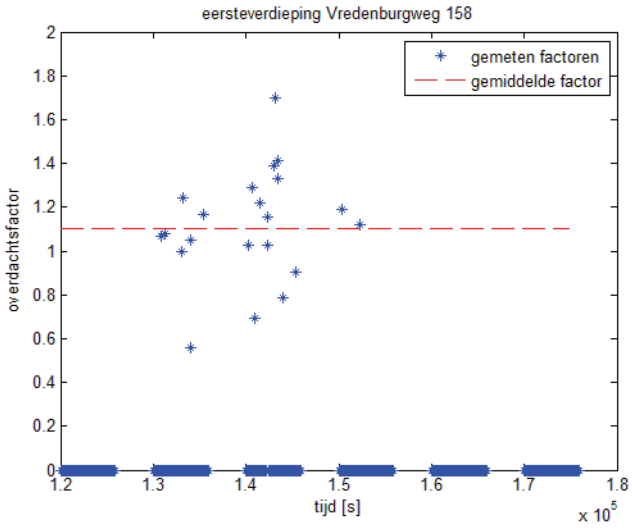
In onderstaande figuren worden per locatie de overdrachtsfactoren en de gemiddelde overdrachtsfactoren gegeven. Op de x-as wordt de tijd in seconden te op zichte van een gekozen referentietijd gegeven. De gemiddelde overdrachtsfactoren zijn meegenomen in de verfijnde prognose voor een aantal woningen in stap 2.


beganegrond Groeneweg 4
gemeten factoren
gemiddelde factor
overdachtsfactor
tijd [s]
x 10^5


eersteverdieping Groeneweg 4
gemeten factoren
gemiddelde factor
overdachtsfactor
tijd [s]
x 10^5

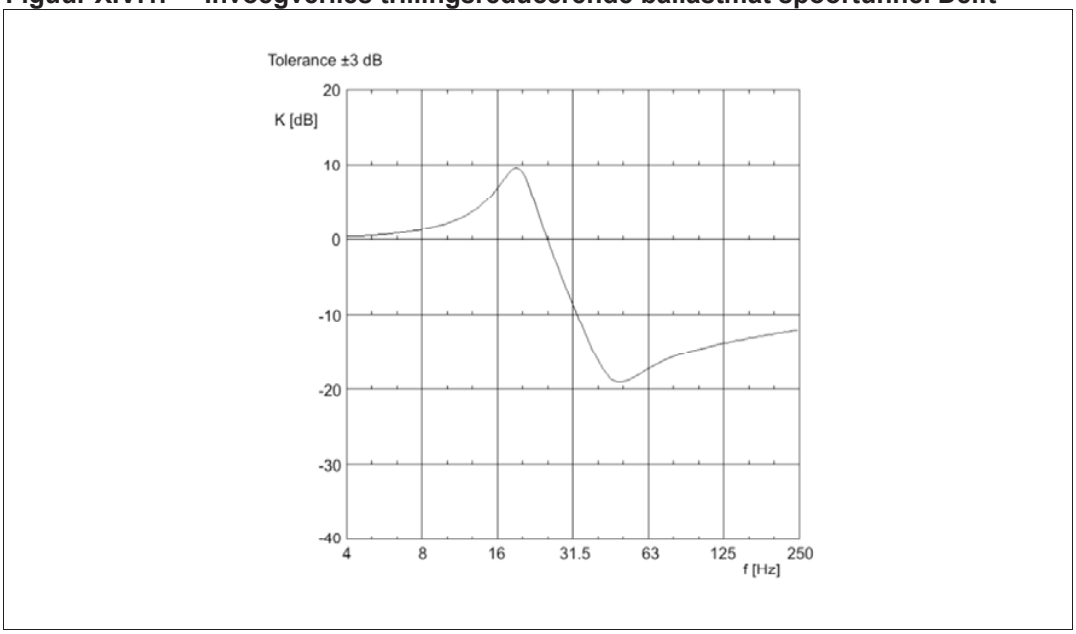

beganegrond Groeneweg 2
gemeten factoren
gemiddelde factor
overdachtsfactor
tijd [s]
x 10^5


eersteverdieping Groeneweg 2
gemeten factoren
gemiddelde factor
overdachtsfactor
tijd [s]
x 10^5


eersteverdieping Vredenburgweg 158
gemeten factoren
gemiddelde factor
overdachtsfactor
tijd [s]
x 10^5

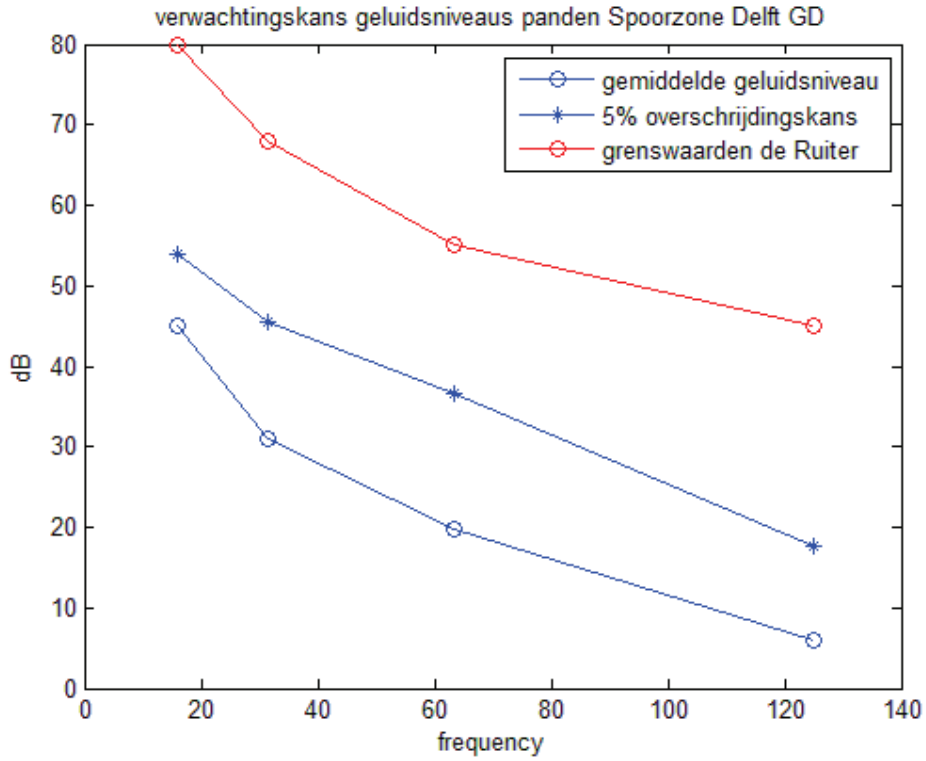
BIJLAGE XIV VERWACHT INVOEGVERLIES BALLASTMAT SPOORTUNNEL DELFT

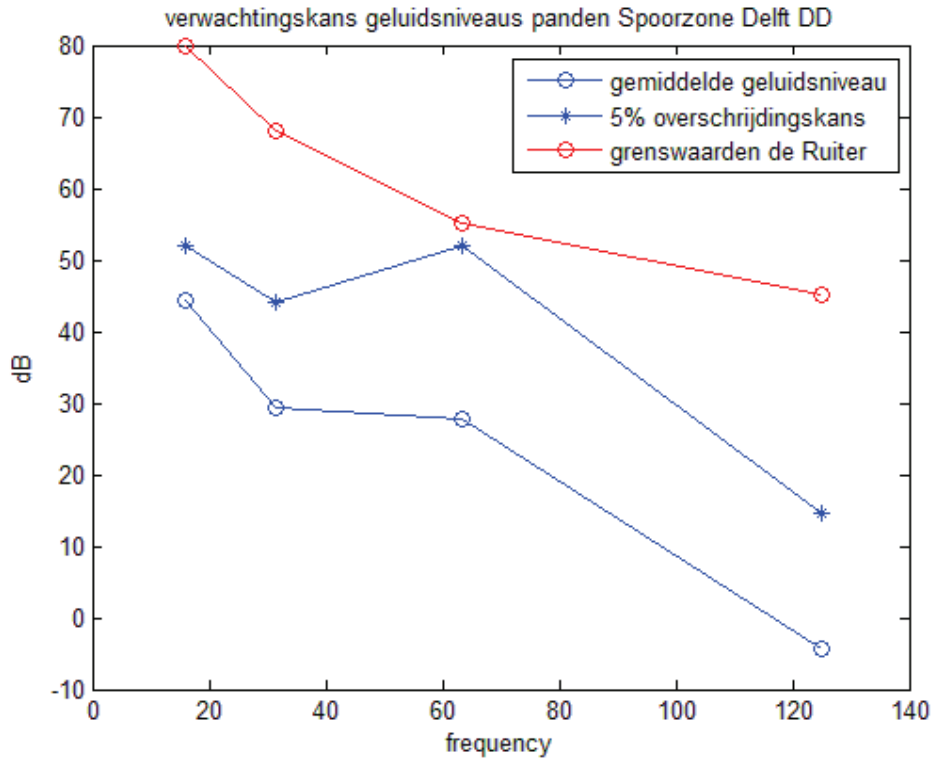
Figuur XIV.1. Invoegverlies trillingsreducerende ballastmat spoortunnel Delft

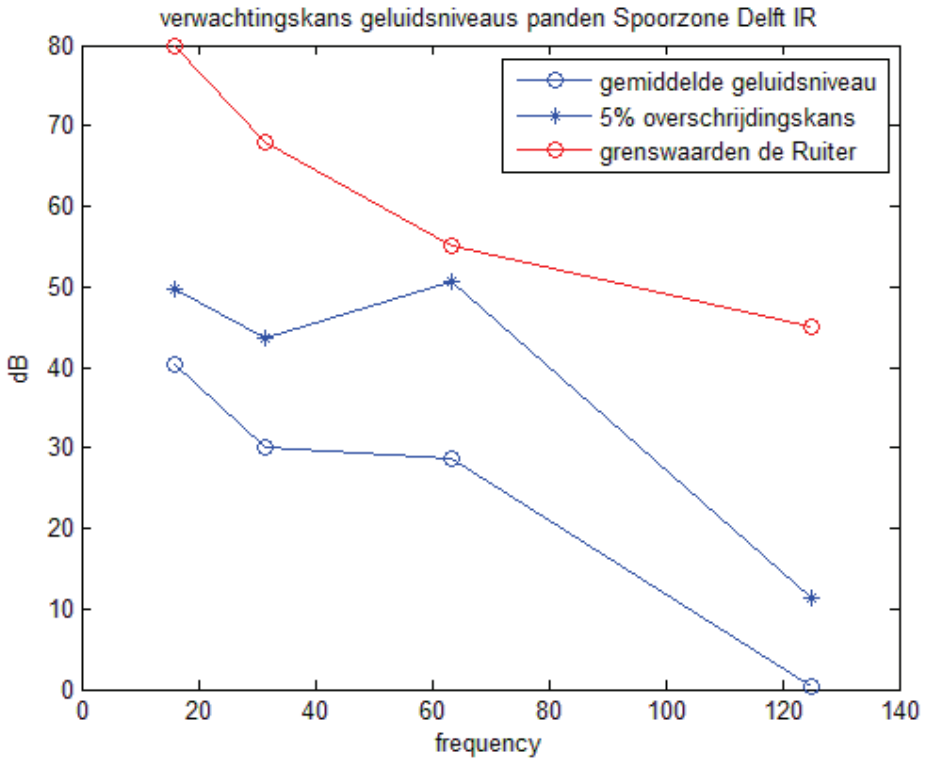


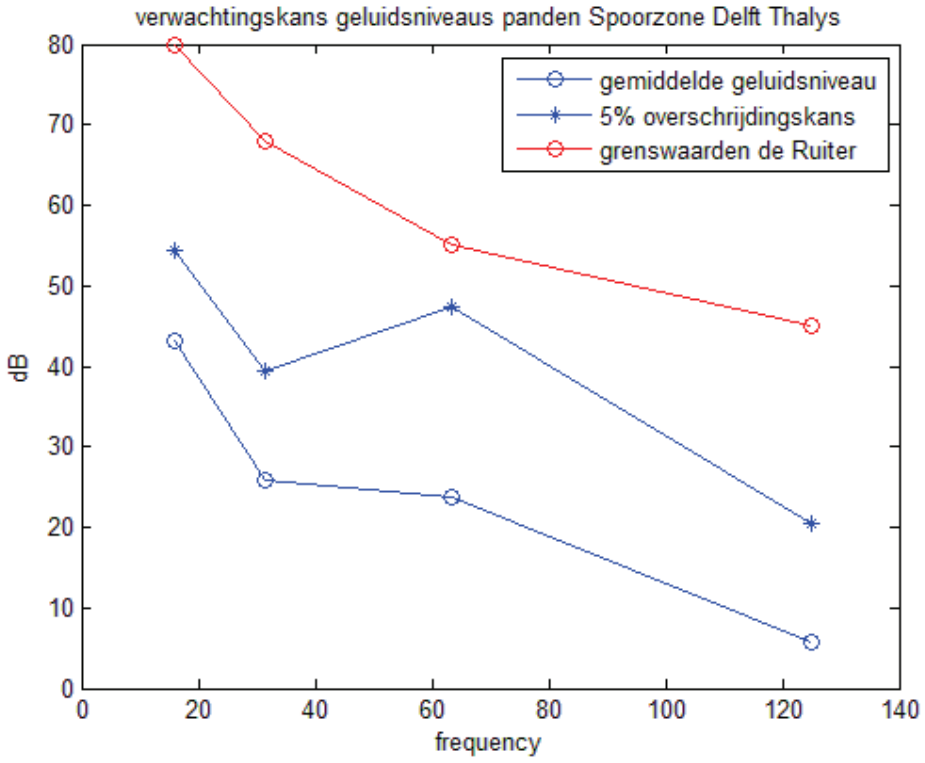
BIJLAGE XV LAAGFREQUENTE GELUIDSNIVEAUS SPOORZONE

Resultaten situatie Inclusief ballastmat

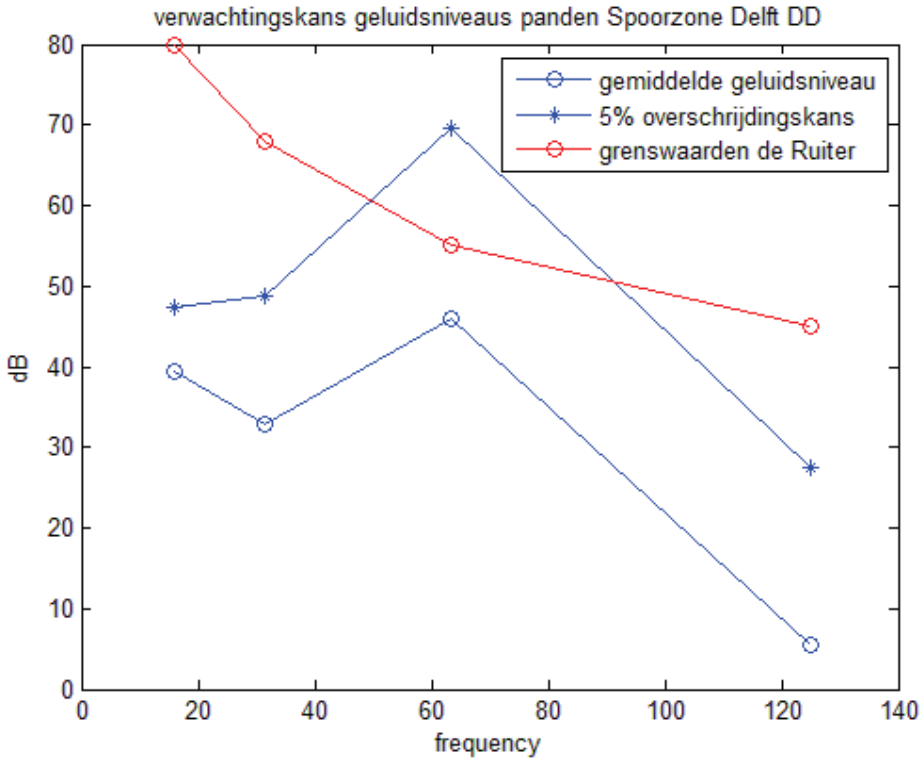




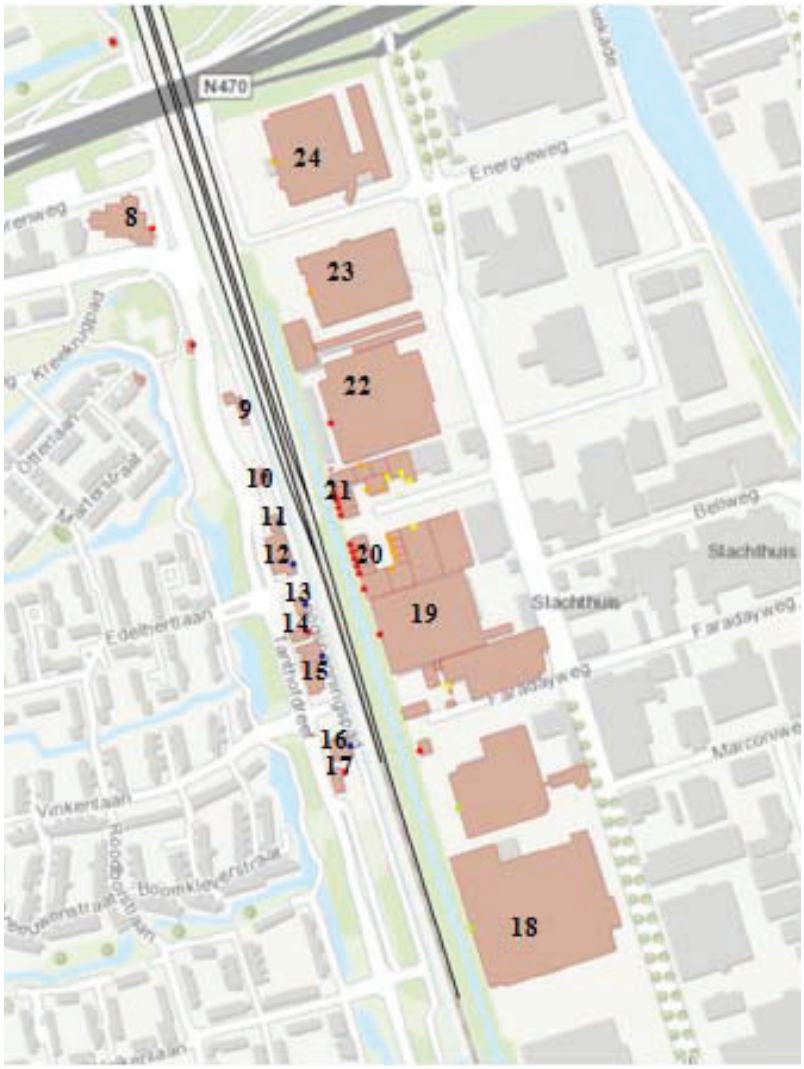

verwachtingskans geluidsniveaus panden Spoorzone Delft IR
gemiddelde geluidsniveau
5% overschrijdingskans
grenswaarden de Ruiter
dB
frequency
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
20
40
60
80
100
120
140

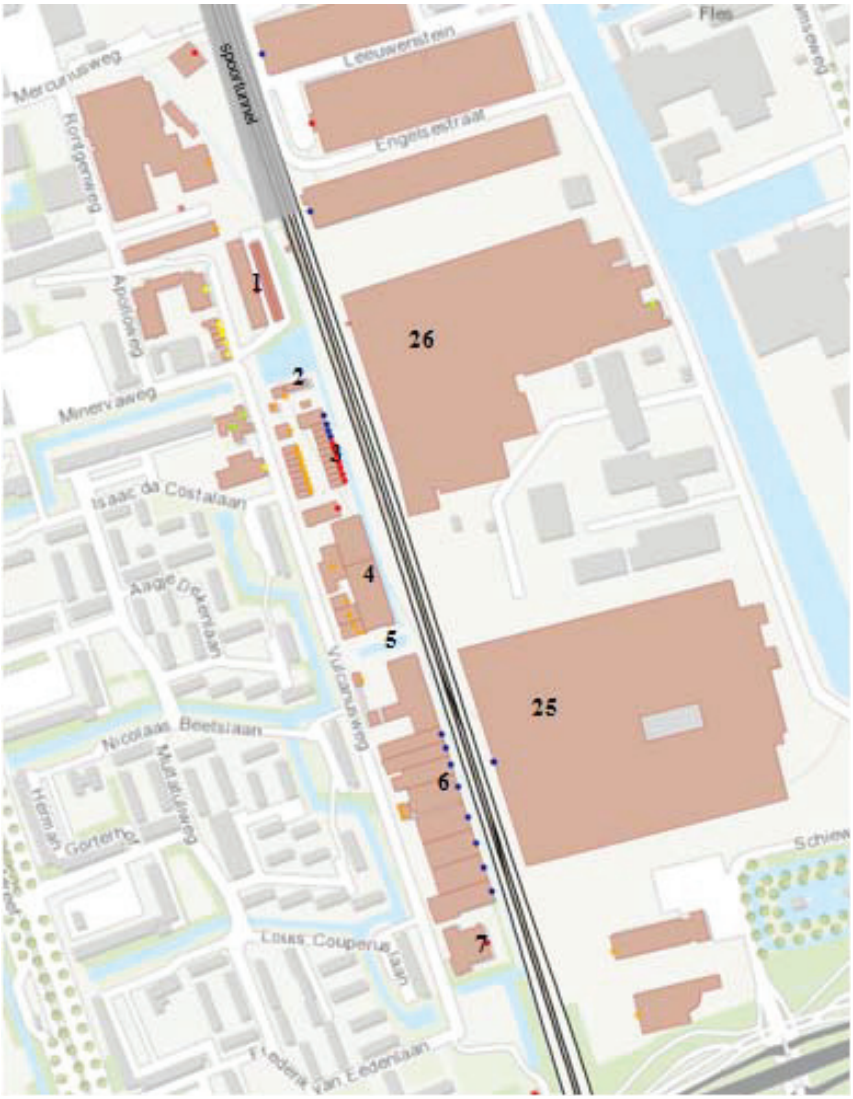

verwachtingskans geluidsniveaus panden Spoorzone Delft Thalys
gemiddelde geluidsniveau
5% overschrijdingskans
grenswaarden de Ruiter
dB
frequency
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
20
40
60
80
100
120
140

Resultaat Dubbeldekker exclusief ballastmat



BIJLAGE XVI NUMMERING BEBOUWING DEELGEBIED 3


N470
24
8
23
22
9
10
21
11
12
20
13
19
14
15
16
17
18
Energieweg
Betaweg
Stachthuis
Faradayweg
Edelhertlaan
Vinkenlaan
Boomkleverstraat
Marconiweg


Spoortunnel
Leeuwenstein
Engelsestraat
Mercuriusweg
Rontgenweg
Apollolaan
Minervaweg
Isaac da Costalaan
Nicolaas Beetslaan
Vulcanusweg
Multatuliweg
Herman Gorterhof
Louis Couperus laan
Frederik van Eedenlaan
1
2
3
4
5
6
7
25
26

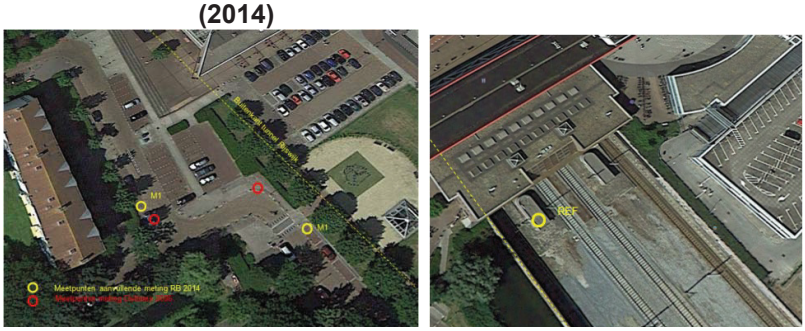
BIJLAGE XVII AANVULLENDE TRILLINGSMETINGEN TUNNEL RIJSWIJK 2014

De aanvullende metingen nabij station Rijsijk zijn uitgevoerd in juli/augustus 2014. In deze notitie wordt ingegaan op de uitgevoerde metingen en de resultaten.

Uitvoering

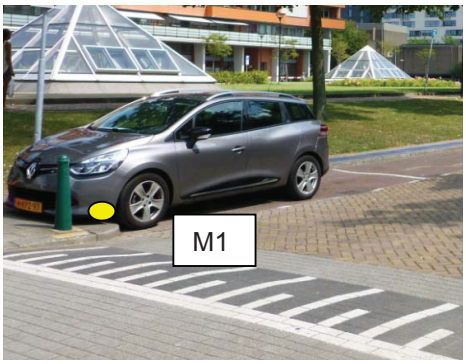
De meetdataset van Deltares op basis waarvan de bronkrachten zijn bepaald uit 2008 bleek onvoldoende reproduceerbaarheid te vertonen. De aanvullende metingen zijn zo ingestoken dat alsnog kan worden aangetoond dat het signaal dat Deltares destijds heeft gehanteerd om bronkrachten mee af te leiden een voldoende bovengrens betreft. Hiervoor is een trillingsmeter geplaatst op dezelfde locaties als Deltares heeft gemeten. Omdat Deltares bemande metingen heeft uitgevoerd, terwijl de aanvullende metingen onbemande metingen betreffen is gezocht naar een manier om de trillingsmeters op dezelfde locatie te plaatsen als Deltares zonder in het zicht te staan. Hiertoe is uiteindelijk een tweetal auto's op parkeervakken geplaatst, waarbij de opnemers onder de auto zijn geplaatst direct op de bodem door enkele straatstenen te verwijderen. In onderstaande figuren worden de locaties weergegeven.

Figuur XVII.1 . Locaties opnemers Deltares (2008) en aanvullende metingen RB (2014)



Figuur XVII.2. Meetpunten Deltares 2006

Figuur XVII.3. Meetpunten RB 2014



Resultaten aanvullende metingen

De datasets van de opnemers op beide locaties (M1 en M2) laten stoortrillingen zien. De stoortrillingen worden veroorzaakt door passerende auto's en voetgangers. De filters zijn toegepast om deze stoortrillingen te verwijderen zijn:

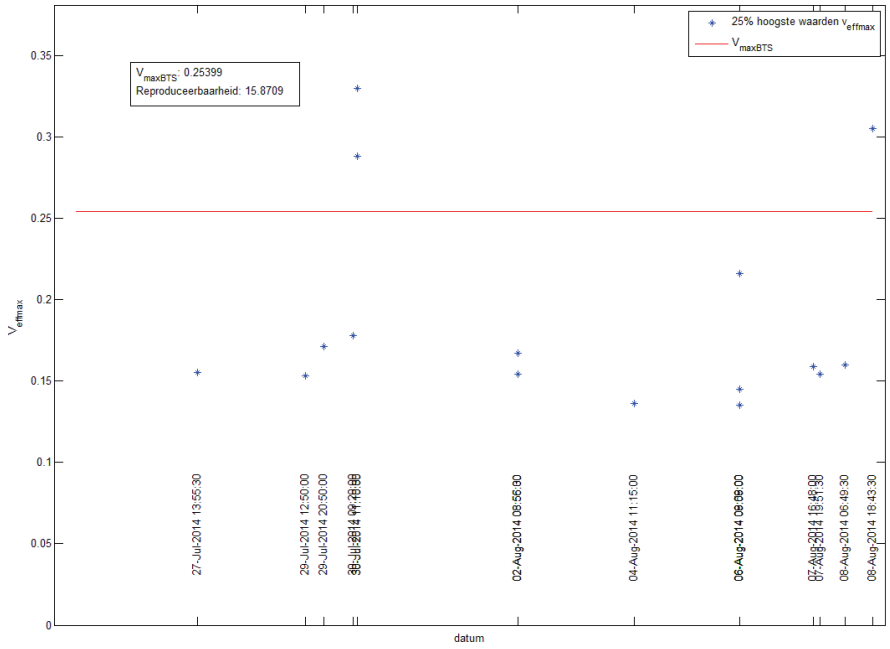
1. er is een grenswaarde gehanteerd waarboven alles wordt gefilterd (grenswaarde is per set handmatig bepaald);
2. van ProRail (Prestatie Analyse Bureau) is een overzicht gekregen van alle treinen die het meetpunt Rijswijk passeerden: alle waarden die meer dan 1 minuut verschillen met PAB treinpassages zijn verwijderd. Hierbij is er op gelet dat er geen langzame of stilstaande (goederen)treinen worden verwijderd;
3. indien er relatief hoge trillingsniveaus op M2 zijn gemeten terwijl deze niet op de referentie locatie of op M1 zijn terug te vinden, dan zijn deze gemeten waarden als stoortrillingen aangeduid en uit de dataset gefilterd.

Nadat stoortrillingen uit de datasets zijn gefilterd is de iteratieve procedure toegepast om tot een bepaling van Vmax Bts te komen. In onderstaande figuren worden de resultaten van beide locaties (M1 en M2) weergegeven. In figuur 0-2 zijn twee van de hoogste waarden uit de dataset gehaald op basis van de filter in REF punt: de waarden zijn lager op de referentielocatie dichter bij het spoor of ze treden daar helemaal niet op. Er zijn drie gevallen waar de reproduceerbaarheid R boven de 10% ligt. In deze waarden is een verdiscontering van de reproduceerbaarheid toegepast. Op M1 locatie in de Z-richting geldt dat Vmax Bts 0.2837 bedraagt met een reproduceerbaarheid boven 10% namelijk 13.91% (zie figuur 13.2). De toetswaarde bedraagt dan 0.2837*1.1391=0.3232. De maatgevende richting is op beide locaties de Z-richting met een waarde van 0.3232 op M1 en 0.2942 op M2 (zie Tabel XVII.1).

Tabel XVII.1 Resultaten Vmax Bts - 2 weken

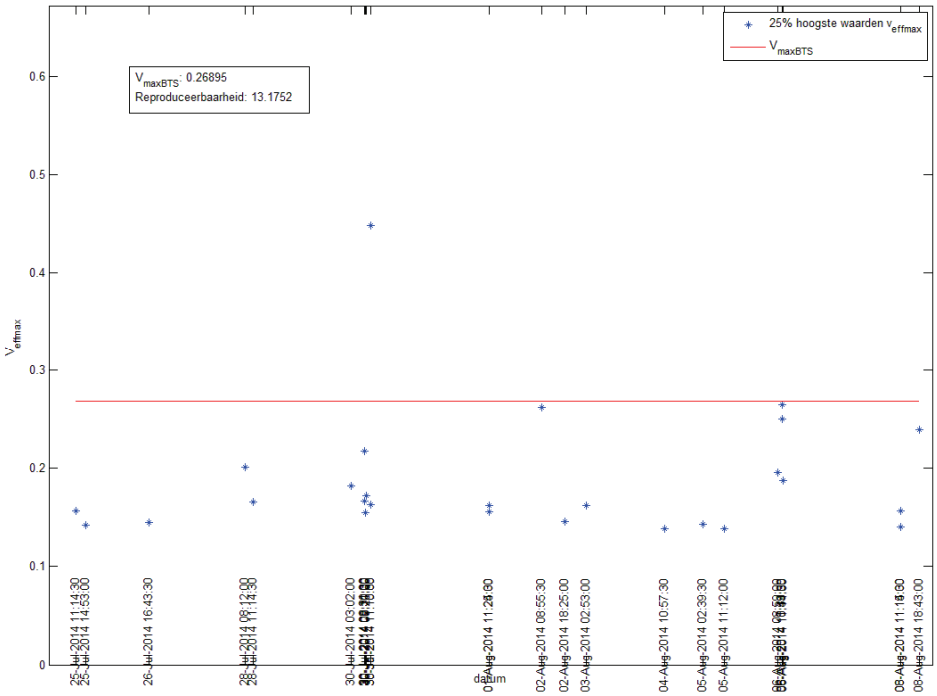
	Z-richting		Y-richting		X-richting	
	Vmax Bts	***R***	***Vmax Bts***	***R***	***Vmax Bts***	***R***
M1	0.25399*	15.8709	0.1163*	14.2391	0.13236	9.6276
	0.2943 (f=0.91)[1]		0.1329 (f=0.88)		0.13236 (f=0.67)	
M2	0.26895*	13.1752	0.15158	7.6906	0.15071*	12.0425
	0.3044 (f=1.03)		0.15158 (f=1.00)		0.1689 (f=1.12)	

Figuur XVII.4 Meetresultaten M1 Z-richting



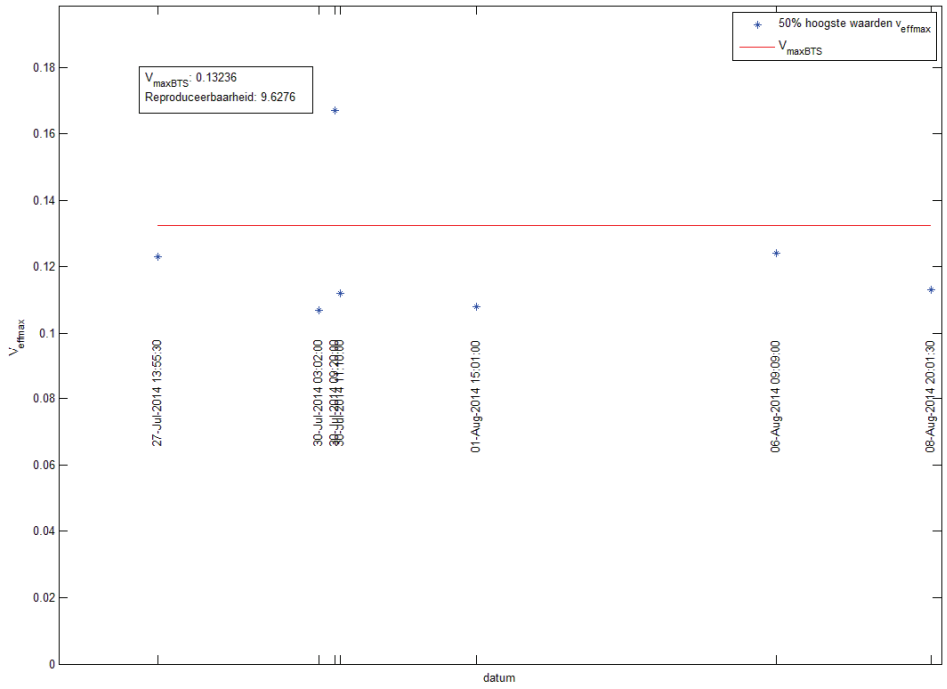
Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
Z	0.25399	-1.7149	0.2878	1.1967	16	15.8709	**0.2943**

Figuur 13- XVII.5 Meetresultaten M2 Z-richting



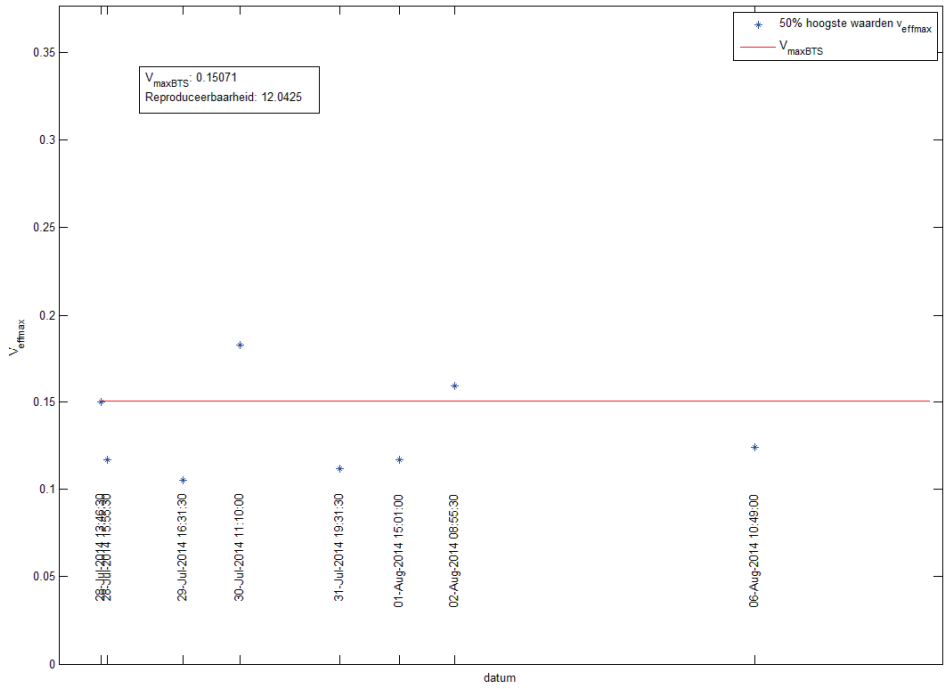
Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
Z	0.26895	-1.7152	0.2697	1.4904	27	13.1752	**0.3044**

Figuur XVII.6 Meetresultaten M1 X-richting



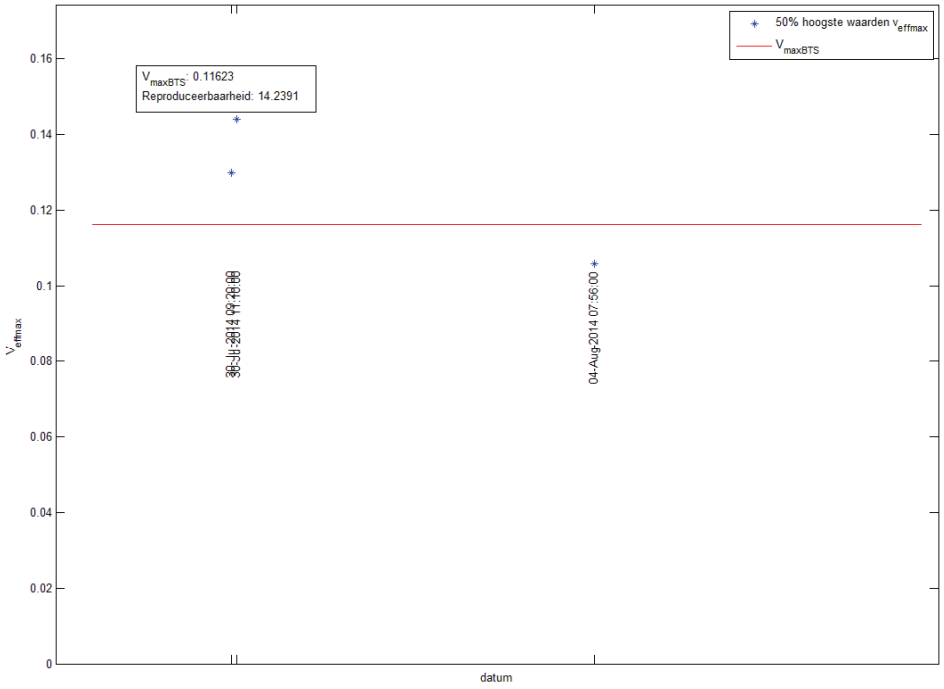
Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
X	0.13236	-2.1147	0.1546	0.5984	7	9.6276	**0.13236**

Figuur XVII.7 Meetresultaten M2 X-richting



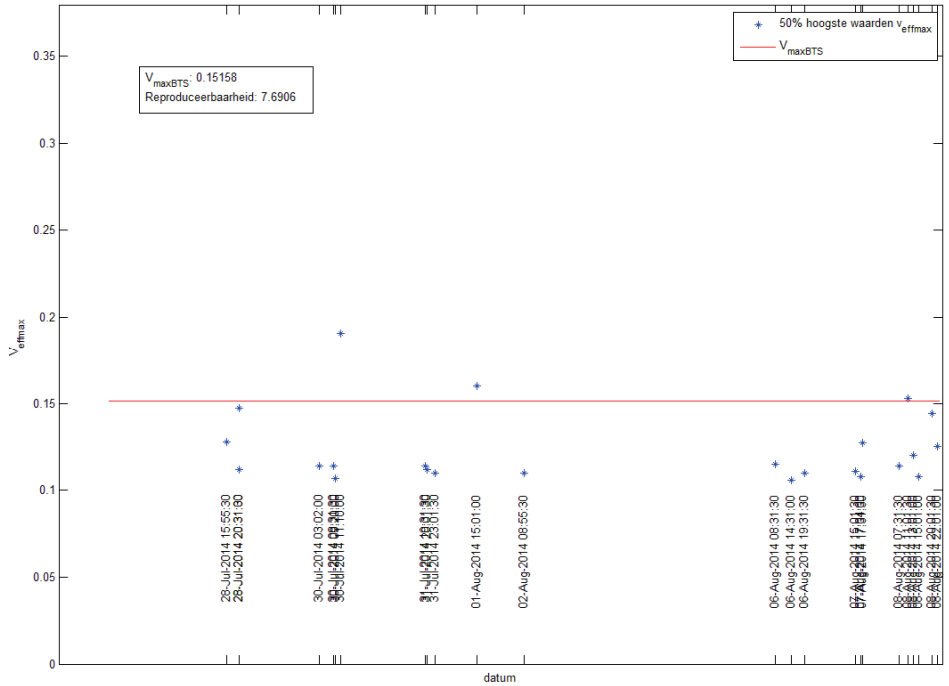
Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
X	0.15071	-2.0320	0.1963	0.7111	8	12.0425	**0.1689**

Figuur XVII.8 Meetresultaten M1 Y-richting



Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
Y	0.1163	-2.0742	0.1560	-0.5000	3	14.2391	**0.1329**

Figuur XVII.9 Meetresultaten M2 Y-richting



Richting	Vmax Bts	μ	σ	β	N	R	Vmax_toets
Y	0.15158	-2.1049	0.1528	1.4282	24	7.6906	**0.15158**

Vergelijking met resultaten van Deltares

In tabel 3 worden de resultaten van Deltares weergegeven. Voor de kanalen geldt dat 7,8 en 9 de locatie M1 betreffen, respectievelijk de verticale en de twee horizontale richtingen. Voor de kanalen 10, 11 en 12 geldt dit voor locatie M2.

Worden de waarden uit de aanvullende metingen vergeleken met de resultaten van tabel 2 dan blijken deze hoger te zijn dan de resultaten van Deltares.

Voor de in de prognose gehanteerde maatgevende goederentrein (bronkrachtsignaal) geldt dat de huidige resultaten ook tot een hoger trillingsniveaus leiden echter wel in mindere mate. De factoren worden in tabel XVII.3 weergegeven. Uit de tabel volgt dat voor de maatgevende Z-richting uitgegaan dient te worden van een factor 1,55 hogere trillingsniveaus dan is berekend met het goederentreinsignaal waar vooralsnog mee is gerekend.

Tabel XVII.2 Resultaten van Deltares, notitie 7 mei 2014 kenmerk:1209614-000-GEO-0010

		M1			M2		
trein	**samenstelling**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
GD53	4DD + 2*1700+2DD	0.099	0.18	0.07	0.12	0.11	0.11
GD96	IRM 2*4	0.058	0.077	0.067	0.069	0.098	0.07
GD117	Thalys	0.05	0.072	0.045	0.062	0.079	0.076
	Goederen trein	0.19	0.14	0.11	0.21	0.11	0.09
berekend	V_max,bts	0.13	0.08	0.19	0.16	0.11	0.09
	verhouding	1.28	0.42	2.68	1.30	0.97	0.84
	V_bts,max/v_eff,max	2.19	0.99	2.80	2.26	1.09	1.32
		2.54	1.06	4.17	2.51	1.36	1.21
		0.67	0.54	1.71	0.74	0.97	1.02

Tabel 3.2 Vergelijking $v_{eff,max}$ en $v_{max,bts}$ voor de kanalen 1 t/m 6 (maaiveld opnemers)

Tabel XVII.3 Vergelijking Vmax Bts metingen 2014 met bronkrachtenresultaten (verticale richting)

	Vmax Bts meting 2014	**Maximale Vmax als gevolg van bronkracht**	**factor**
14 meter van spoor (M1)	0.2943	0.19	1.55
38 meter van spoor (M2)	0.3044	0.21	1.45

Geconcludeerd wordt dat de gehanteerde bronkrachten niet leiden tot een voldoende bovengrens. Deze bovengrens blijkt op basis van de aanvullende metingen 1,55 maal hoger te liggen ten op zichte van de gehanteerde maatgevende goederentreinbronkracht. De resultaten zijn in het rekenmodel voor de spoortunnel Delft verdisconteerd.

BIJLAGE XVIII TRILLINGSMETINGEN SPOORWACHTERHUISJE KETHEL

Vlakbij het spoor in Kethel aan de Buitenkerklaan 38 en 40 staat een spoorwachtershuisje op slechts circa een meter van het spoor. Deze woning is op dit moment bewoont. De woning is in eerste instantie buiten de toetsing gelaten omdat de berekeningsmethodiek voor de woning niet toereikend is vanwege de zeer korte afstand tot het spoor.

Dat er sprake is van overschrijding van grenswaarden is op voorhand te verwachten. Echter om te bepalen of in de woningen sprake is van een overschrijding van de bovenste grenswaarde van 3,2 voor Vmax Bts is een aanvullende meting op de beganegrond en eerste verdieping uitgevoerd. In deze bijlage worden de resultaten gepresenteerd

Volgens de gewijzigde Bts 2014 dient voor de bepaling van het maximale optredende trillingsniveaus in een woning als gevolg van treinverkeer minimaal een week te worden gemeten. In dit geval is er 2 weken gemeten. Hierbij is 1 opnemer op maaiveld geplaatst aan de zijde van het spoor (zie figuur). Ook is een opnemer op de begane grond en op de eerste verdieping van het huis geplaatst. Daarnaast is een camera geplaatst welke op het spoor is gericht en waarvan de tijd is gesynchroniseerd met de trillingsopnemers. De figuren hieronder geven een weergave van de verschillende locaties waar de opnemers zijn geplaatst.

Figuur XVIII.1 Buitenkerklaan 38 (spoorzijde is achter)

Figuur XVIII.2 Opnemer op het maaiveld

Figuur XVIII.3 Opnemer op de eerste verdieping en begane grond

In de meetdataset van de opnemers die op begane grond en op de eerste verdieping zijn geplaatst, zijn veel stoortrillingen aanwezig. Dit is hoofdzakelijk het resultaat van het lopen van de bewoners. Om deze stoortrillingen uit de meetdataset te kunnen filteren is de data gefilterd:

1. er is een grenswaarde gehanteerd waarboven alles gefilterd wordt (grenswaarde is per set handmatig bepaald);
2. ProRail (Prestatie Analyse Bureau) heeft een overzicht aangeleverd van alle treinen die het meetpunt Kethel passeerden: alle waarden die meer dan 1 minuut verschillen met PAB treinpassagetijden zijn verwijderd. Hierbij is er op gelet dat er geen langzame of stilstaande (goederen)treinen worden verwijderd;
3. indien er relatief hoge trillingsniveaus op de begane grond en op de eerste verdieping zijn gemeten terwijl deze niet op het maaiveld zijn terug te vinden, dan zijn deze gemeten waarden als stoortrillingen aangeduid en uit de dataset gefilterd;
4. indien er hogere trillingsniveaus dan factor 5 op de begane grond zijn gemeten ten opzichte van dezelfde meting op de eerste verdieping, zijn deze gemeten waarden als stoortrillingen aangeduid en uit de dataset gefilterd. Waarden op de begane-grond die een groter dan 5 maal de waarde op de 1^{e} verdieping zijn, zijn niet meegenomen in de bepaling van Vmax Bts.

Nadat stoortrillingen uit de datasets zijn gefilterd is een iteratieve procedure toegepast om tot een bepaling van Vmax Bts te komen. In onderstaande figuren worden de resultaten op de drie locaties weergegeven. De rode lijn betreft de Vmax Bts die volgt uit de dataset.

Er zijn 4gevallen waar de reproduceerbaarheid R boven de 10% ligt. In deze waarden is een verdiscontering van de reproduceerbaarheid toegepast (zie hoofdstuk 2). De maatgevende waarden in huis betreffen de Y-richting op de eerste verdieping met een waarde van 1,47 (zie figuur XVIII.5) en de Z-richting op de begane grond met een waarde van 2,02 (zie figuur XVIII.9). De rode lijn in de figuren geeft de berekende Vmax Bts weer.

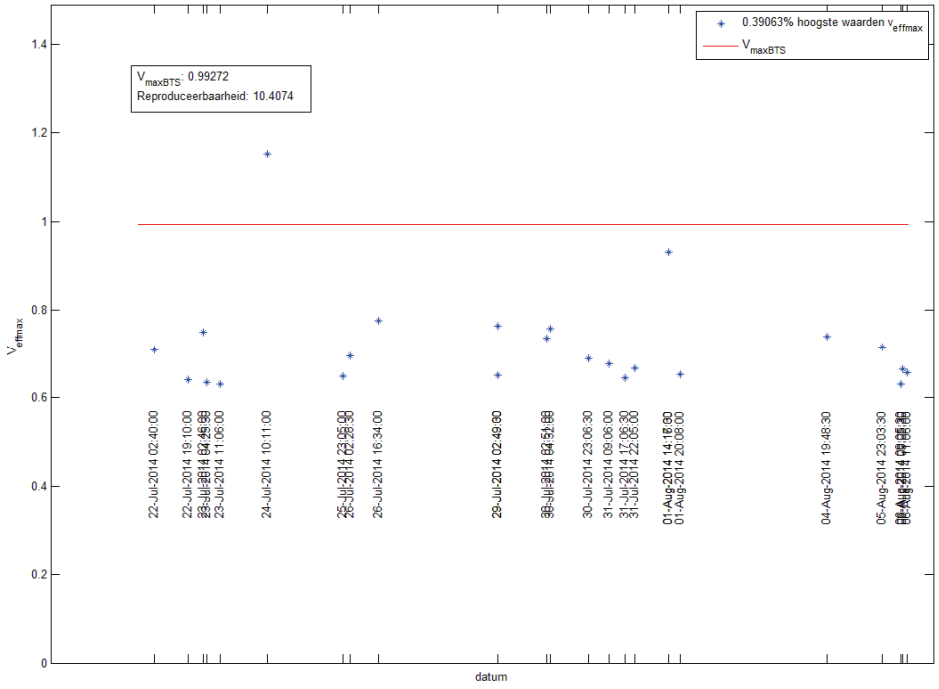
Omdat de maatgevende Vmax Bts waarde binnen het huis 2,02 is (lager dan de grenswaarde 3,2), is er geen sprake van ernstige hinder op de Buitenkerklaan 38 en 40. Wel is er sprake van hinder.

Eerste verdieping

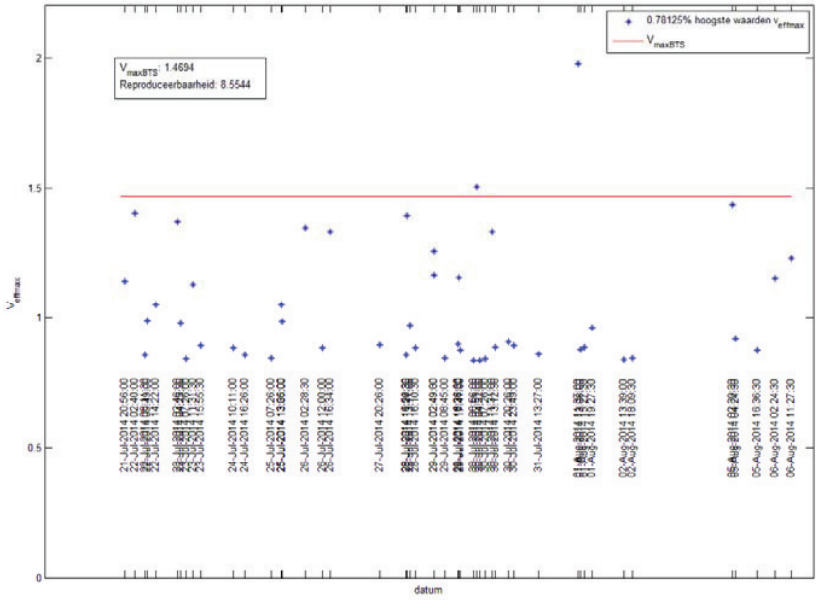
Tabel XVIII.1 Bepaling Vmax Bts

Richting	Vmax Bts	μ	σ	B	N	R	Vmax_toets
X	0.99272	-0.3102	0.2089	1.4500	25	10.4074	1.096
Y	**1.4694**	**0.0157**	**0.2075**	**1.7786**	**49**	**8.5544**	**1.4694**
Z	1.3951	-0.4499	0.3037	2.5779	388	6.0288	1.3951

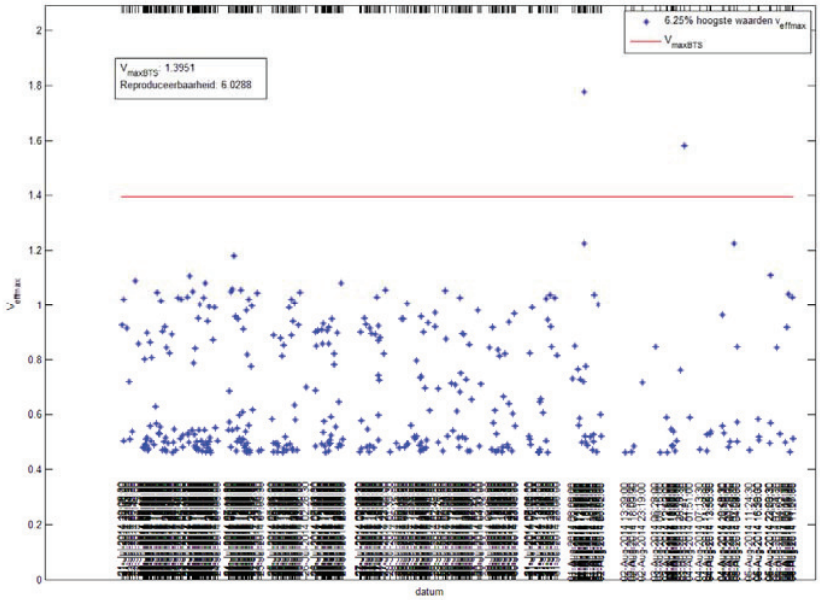
Figuur XVIII.4 Meetresultaten op de eerste verdieping - X-richting



Figuur XVIII.5 Meetresultaten op de eerste verdieping - Y-richting



Figuur XVIII.6 Meetresultaten op de eerste verdieping - Z-richting

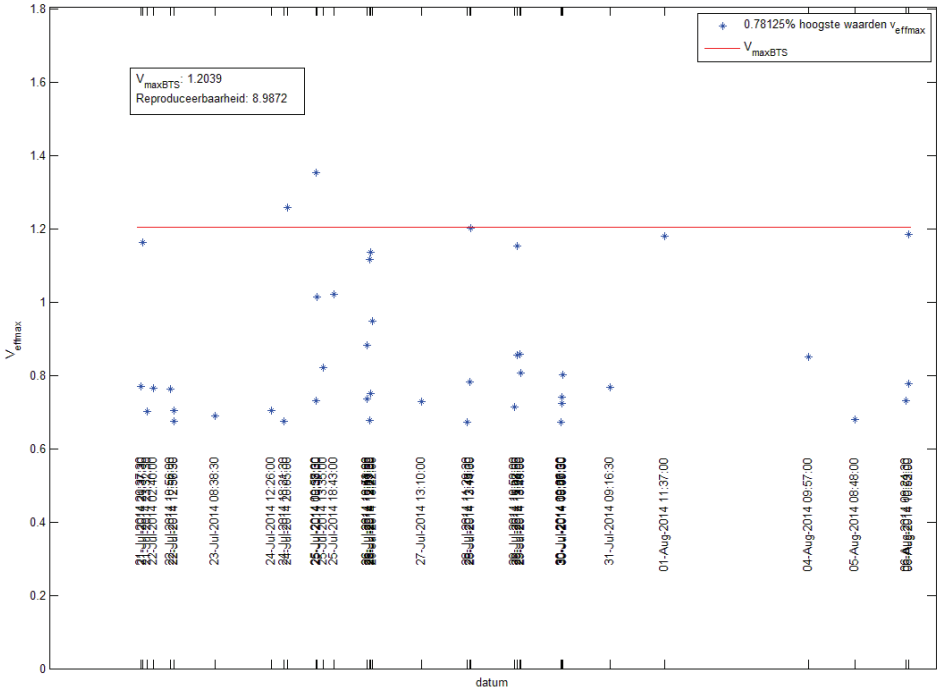


Begane grond

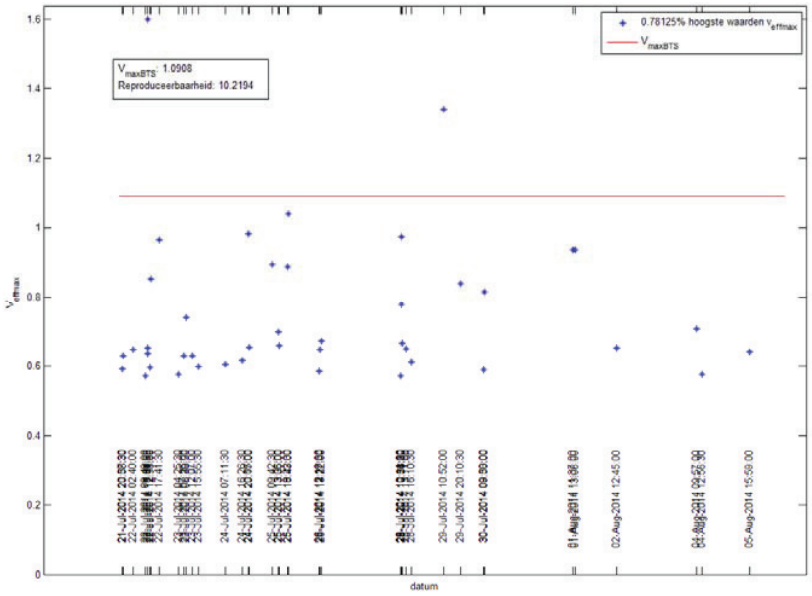
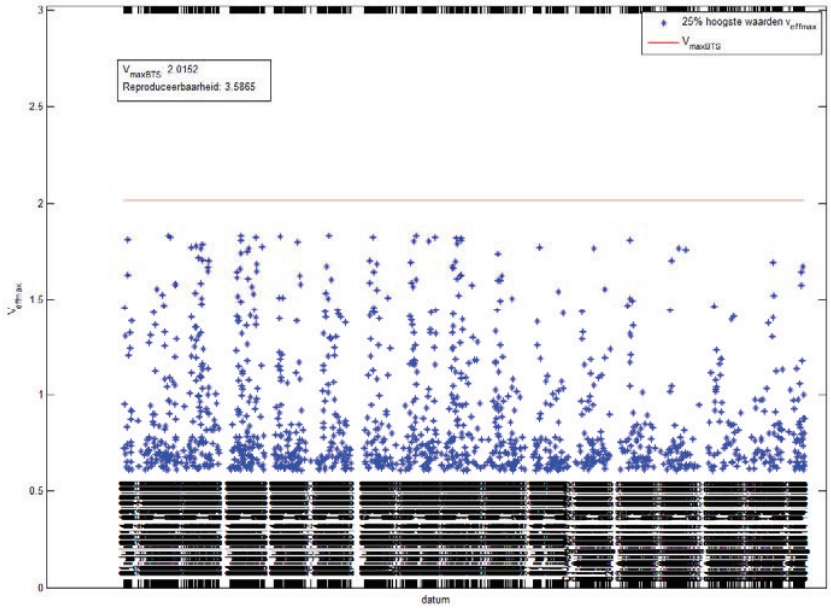
Tabel XVIII.2 Bepaling Vmax Bts

Richting	Vmax Bts	μ	σ	B	N	R	Vmax_toets
X	1.2039	-0.1746	0.2096	1.7188	43	8.9872	1.2039
Y	1.0908	-0.3227	0.2383	1.7188	43	10.2194	1.2023
Z	**2.0152**	**-0.1869**	**0.2979**	**2.9799**	**1363**	**3.5865**	**2.0152**

Figuur XVIII.7 Meetresultaten op de begane grond - X-richting



Figuur XVIII.8 Meetresultaten op de begane grond - Y-richting



Figuur XVIII.9 Meetresultaten op de begane grond - Z-richting