



10 juli 2014- Versie 3.0

Samenvatting

In het kader van het project *Groningen Spoorzone* wijzigt ProRail de sporen rond station Groningen. In het kader van dit project worden nieuwe sporen en wissels aangelegd en wordt het spoorgebruik aangepast. Deze aanpassingen kunnen invloed hebben op de trillingssterkte ten gevolge van passerende treinen in de gebouwen in de nabijheid van het spoor.

Het project *Groningen Spoorzone* is niet tracéwetplichtig, en ook andere ruimtelijke besluitvormingsprocessen zijn niet nodig. Alle wijzigingen in sporenlay-out vinden plaats binnen de huidige sporenbundel. Omdat er geen ruimtelijk besluit behoeft te worden genomen, is toetsing aan trillingsrichtlijnen formeel niet nodig. Omdat er wel wijzigingen aan de sporenlay-out, het spoorgebruik en de treinenloop plaatsvinden, is desondanks een trillingsonderzoek uitgevoerd om met behulp van metingen en modellen de wijzigingen in trillingshinder ten gevolge van het project in kaart te brengen. Het onderzoek geeft een beeld van de trillingshinder die kan optreden in de omgeving van het spoor en de wijzigingen in trillingshinder ten gevolge van het project. De trillingssituatie is in beeld gebracht met behulp van een trillingsmodel, waarbij gebruik is gemaakt van de resultaten van valproeven¹ en maaiveldmetingen² die in het onderzoeksgebied zijn uitgevoerd.

De adressen waar een voelbare toename in trillingshinder wordt verwacht ten gevolge van het project *Groningen Spoorzone*, zijn oranje gearceerd in Figuur 1. Naast deze adressen wordt ook bij een aantal opstallen in de Tuinwijk een voelbare toename in trillingshinder verwacht.



Figuur 1 Adressen waar een voelbare toename in trillingshinder wordt verwacht ten gevolge van het project, omgeving Verlengde Lodewijkstraat (links) en omgeving Rouaanstraat (rechts)

¹ Valproeven: metingen waarbij met behulp van een kunstmatige trillingsbron trillingen worden gegenereerd, waarna deze op verschillende afstanden tot de trillingsbron worden gemeten. Met behulp van dit type metingen kunnen de bodemeigenschappen worden bepaald. Deze bodemeigenschappen zijn van belang voor de uitdemping van de trillingen met de afstand tot het spoor.

² Maaiveldmetingen: bij deze metingen worden de trillingen van de passerende treinen op een vaste referentieafstand van 20 meter gemeten op verschillende locaties langs het tracé.

Door de optimalisatie van de locatie van wissels en het aantal wissels neemt in een groot deel van het onderzoeksgebied de trillingssterkte af, met name in de nabijheid van het station en de Lodewijkstraat. In enkele gebouwen wordt een voelbare toename in trillingssterkte verwacht. Het gaat om enkele bedrijfspanden aan de Rouaanstraat en bij de woningen rond de nieuwe overloopwissels bij de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat.

In de bedrijfspanden aan de Rouaanstraat worden maximale toenames in trillingssterkte verwacht tussen de 41 en 56 procent, in de opstallen in Tuinwijk bedraagt de maximale toename zo'n 55 procent en in de woningen rond de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat maximale toenames van 32 tot 45 procent. De grootste toenames treden op bij de woningen aan de kop van de Verlengde Oosterstraat, dichtbij de geplande nieuwe wissels. De hoogste trillingssterktes in de situatie na realisatie van het project worden verwacht bij de Verlengde Willemstraat. In deze woningen zal de trillingssterkte na realisatie van het project vergelijkbaar zijn met de trillingssterkte in de huidige situatie bij de Lodewijkstraat, tussen de nummers 25 en 35.

Om de toename in trillingshinder te reduceren kunnen mitigerende maatregelen worden toegepast. Een maatregel wordt voldoende effectief geacht als deze ervoor zorgt dat de trillingen, na het nemen van de maatregel, niet meer voelbaar toenemen. De ervaring leert dat het realiseren van een maatregel met voldoende effect zeer complex is, voornamelijk doordat de toename in trillingshinder wordt veroorzaakt door wissels. Wissels geven vaak laagfrequente trillingen, die lastig zijn te reduceren. Een maatregel met mogelijk voldoende effect is een betonnen trillingsscherm of een afgeveerde spoorconstructie. Op voorhand is echter niet te garanderen dat deze maatregelen voldoende effect hebben. Daarom is verplaatsing van wissels naar een andere locatie een optie die ook overwogen kan worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond van dit rapport	6
1.2 Doel van het onderzoek	6
1.3 Opzet van het onderzoek	6
1.4 Leeswijzer	6
2 Situatiebeschrijving	7
2.1 Onderzoeksgebied	7
2.2 Referentiesituatie	7
2.2.1. <i>Spoorgebruik</i>	7
2.2.2. <i>Snelheden</i>	8
2.3 Plansituatie	8
2.3.1. <i>Uitgangspunten</i>	8
2.3.2. <i>Spoorgebruik</i>	9
2.3.3. <i>Taludgeometrie</i>	9
2.3.4. <i>Wijzigingen in treinintensiteit</i>	9
3 Opzet trillingsonderzoek	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Gebruikt rekenmodel	11
3.3 Classificatie van trillingshinder	11
3.4 Onderzoeksaanpak	12
4 Resultaten	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Resultaten	13
4.2.1. <i>Verlengde Lodewijkstraat</i>	14
4.2.2. <i>Omgeving Tuinwijk</i>	16
4.2.3. <i>Omgeving Rouaanstraat</i>	16
4.3 Mitigerende maatregelen	17
4.3.1. <i>Bronmaatregelen</i>	19
4.3.2. <i>Transmissie-maatregelen</i>	20
4.3.3. <i>Ontvangermaat-regelen</i>	20
4.4 Samenvatting	21
5 Conclusies	22
Colofon	24

Bijlage I	Resultaten bodemonderzoek en maaiveldmetingen
Bijlage II	Trillingssituatie na realisatie, omgeving Verlengde Lodewijkstraat
Bijlage III	Trillingssituatie na realisatie, Tuinwijck
Bijlage IV	Trillingssituatie na realisatie, omgeving Rouaanstraat

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van dit rapport

In het kader van het project *Groningen Spoorzone* wijzigt ProRail de sporen rond station Groningen. Er worden nieuwe sporen en wissels aangelegd en het spoorgebruik wordt aangepast. Deze aanpassingen kunnen invloed hebben op de trillingssterkte ten gevolge van passerende treinen in de gebouwen in de nabijheid van het spoor.

Het project *Groningen Spoorzone* is niet tracéwetplichtig, en ook andere ruimtelijke besluitvormingsprocessen zijn niet nodig. Alle wijzigingen in sporenlay-out vinden plaats binnen de huidige sporenbundel. Omdat er geen ruimtelijk besluit behoeft te worden genomen, is een toetsing aan trillingsrichtlijnen formeel niet nodig. Omdat er wel wijzigingen aan de sporenlay-out, het spoorgebruik en de treinenloop plaatsvinden, is desondanks een trillingsonderzoek uitgevoerd om met behulp van metingen en modellen de wijzigingen in trillingshinder ten gevolge van het project in kaart te brengen.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te creëren in de trillingseffecten van de wijzigingen in sporenlay-out en treinintensiteit ten opzichte van de huidige situatie en zo een beeld te geven van de locaties waar een kans op trillingshinder optreedt ten gevolge van het project *Groningen Spoorzone*.

1.3 Opzet van het onderzoek

In dit onderzoek wordt het effect van het sporenmodel variant B4 op de trillingshinder voor omwonenden in het onderzoeksgebied onderzocht. Hierbij wordt de invloed van alle wijzigingen ten gevolge van het project nader geanalyseerd. Met behulp van modelberekeningen, op basis van locatiespecifieke metingen aan treinpassages en bodemeigenschappen, wordt de trillingshinder in het onderzoeksgebied bepaald.

De onderzoeksaanpak wordt nader toegelicht in hoofdstuk 3.

1.4 Leeswijzer

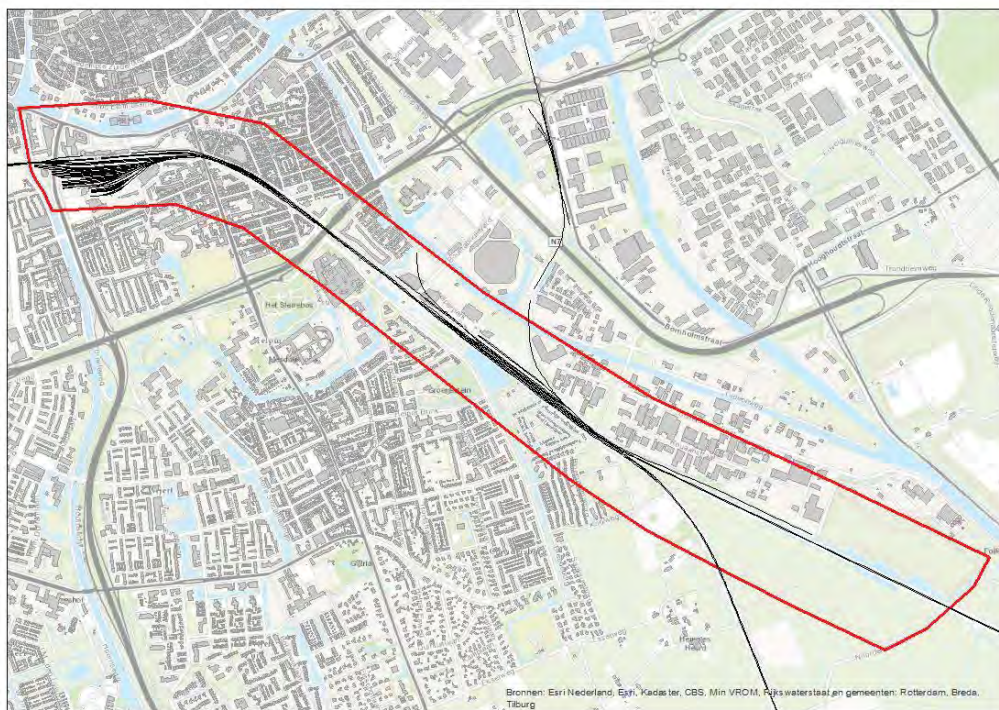
In hoofdstuk 2 is een situatiebeschrijving opgenomen met de gehanteerde uitgangspunten voor dit onderzoek. Hoofdstuk 3 beschrijft de gevolgde onderzoeksaanpak en hoofdstuk 4 bevat de resultaten en een analyse daarvan. Bijlage I bevat de resultaten van de in de berekeningen gebruikte maaiveld- en valproefmetingen.

2 Situatiebeschrijving

Dit hoofdstuk beschrijft de referentie- en plansituatie van het project *Groningen Spoorzone*.

2.1 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied voor het trillingsonderzoek betreft het tracédeel tussen het Hoornsediep (km 80.112 richting Leeuwarden/Roodeschool/Delfzijl), de Noorderzanddijk (km 85.00 richting Nieuweschans) en de Kooiweg (km. 73.60 richting Assen). Deze grenzen zijn opgesteld aan de hand van de voorgestelde wijzigingen in het project *Groningen Spoorzone*. Dit onderzoeksgebied is in Figuur 2-1 ingekaderd door middel van rode lijnen. Buiten dit onderzoeksgebied treden geen voelbare wijzigingen in trillingshinder op ten gevolge van het project.



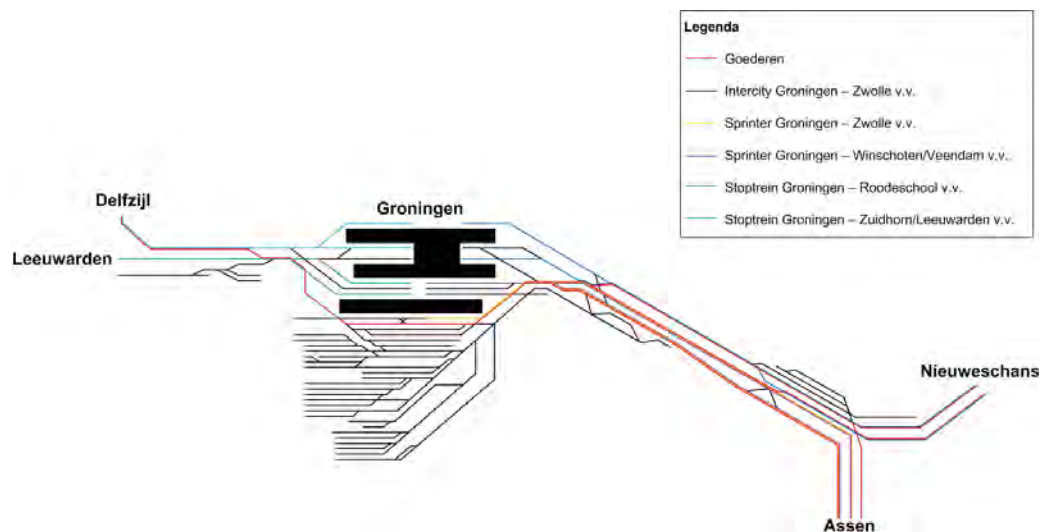
Figuur 2-1 Onderzoeksgebied trillingsonderzoek

2.2 Referentiesituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de referentiesituatie rond station Groningen. Als referentiesituatie wordt de spoorligging van 2011 genomen, voor aanvang van alle werkzaamheden. Ook station Groningen Europapark was destijds nog niet gerealiseerd. De trillingssituatie na realisatie van het project wordt dus niet met de huidige (zomer 2014) situatie, maar met de situatie van 2011 vergeleken. Bij trillingsonderzoeken is het gebruikelijk om te refereren naar de nul- of aanvangssituatie van een project, dit om te voorkomen dat door het stapelen van effecten de invloed van het project wordt gereduceerd.

2.2.1. Spoorgebruik

Het spoorgebruik in de referentiesituatie is weergegeven in Figuur 2-2. Het goederenverkeer richting Nieuweschans is op incidentele basis.



Figuur 2-2 Lijnvoeringsschema in referentiesituatie

2.2.2. Snelheden

Voor de snelheidsprofielen worden de maximaal door treinen haalbare snelheden gebruikt, deze zijn bepaald uit de seinplaatsing. De rijsnelheid is maximaal 40 km/h rond station Groningen, maximaal 80 km/h tussen de Hereweg en station Groningen Europapark, en tussen station Groningen Europapark en opstelterrein Rouaanstraat 90 km/h.

2.3 Plansituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie rond station Groningen, na realisatie van de werkzaamheden in het kader van het project *Groningen Spoorzone*.

2.3.1. Uitgangspunten

Er is gebruik gemaakt van de in Tabel 2-1 weergegeven documenten.

Tabel 2-1 Gebruikte documenten

[1]	Tekeningen Groningen Spoorzone, Movares, C30-RVL-AU-1400012, versie 2.0, 24 januari 2014
[2]	Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN, hoogte-informatie)

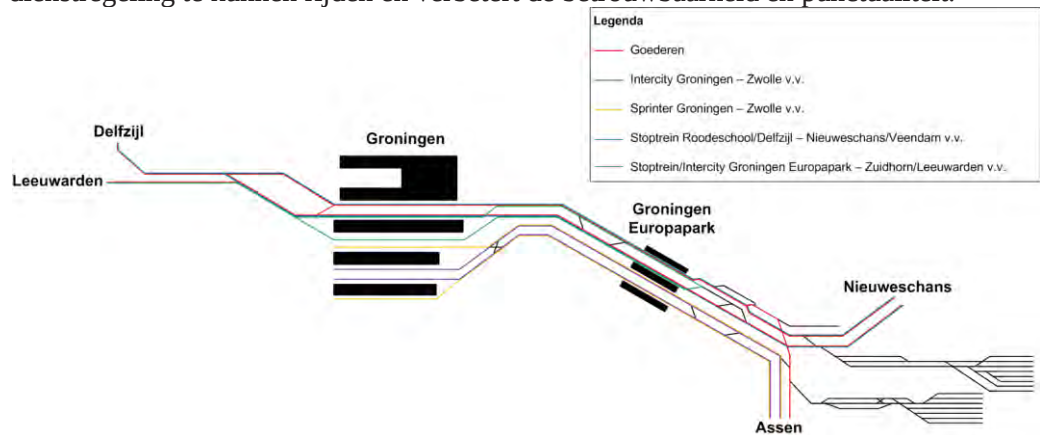
Ten opzichte van de referentiesituatie zijn in de plansituatie de volgende zaken gewijzigd:

1. Sporenlay-out wordt aangepast. De belangrijkste wijzigingen zijn:
 - a. Het emplacement bij station Groningen wordt verwijderd en vervangen door een emplacement ten oosten van Groningen, opstelterrein Rouaanstraat;
 - b. De NS- en Arrivasporen (wel resp. geen bovenleiding) aan de oostzijde van station Groningen worden ontvlochten. De treinen maken zo veel mogelijk gebruik van de eigen sporen;
 - c. Wissels verplaatsen, verwijderen en nieuw realiseren. Met name in de onmiddellijke nabijheid van het station neemt het aantal wissels af. Bij de Verlengde Lodewijkstraat, Groningen Losplaats en bij het nieuwe opstelterrein Rouaanstraat komen er wissels bij. De locatie van wissels is geoptimaliseerd om de (geluids- en trillings)hinder voor omwonenden te minimaliseren en de gewenste opvolgtijden tussen treinen onderling te realiseren;
2. Treinintensiteit wijzigt;

3. Realisatie van station Groningen Europapark (momenteel reeds gerealiseerd, slechts de uitbreiding met een extra perron zit in de scope van *Groningen Spoorzone*) en vervangen van spoorwegovergang door tunnel bij de Esperantostraat (deze tunnel komt mogelijk in de scope van *Aanpak Ring Zuid*). Overige wijzigingen binnen het project hebben geen invloed op de trillingen ten gevolge van het treinverkeer.

2.3.2. Spoorgebruik

Het spoorgebruik in de plansituatie is weergegeven in Figuur 2-3. Door de realisatie van *Groningen Spoorzone* worden de opvolgtijden van de treinen aanzienlijk korter, doordat treinen minder lang van dezelfde sporen gebruik maken. Dit is nodig om de dienstregeling te kunnen rijden en verbetert de betrouwbaarheid en punctualiteit.



Figuur 2-3 Lijnvoeringsschema in plansituatie

2.3.3. Taludgeometrie

Er zijn geen significante wijzigingen in taludgeometrie binnen dit project. De vorm van het spoortalud in de plansituatie is in de berekeningen ongewijzigd gelaten ten opzichte van de referentiesituatie. Deze taludgeometrie is bepaald aan de hand van gegevens uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Gewoonlijk leidt een spoor dat op een dijklichaam ligt tot minder trillingen dan een spoor dat op of onder maaiveldniveau ligt.

2.3.4. Wijzigingen in treinintensiteit

De treinintensiteiten, inclusief ritten naar het opstelterrein Rouaanstraat, in de referentie- en plansituatie zijn weergegeven in Tabel 2-2. De dagperiode loopt van 7:00 tot 19:00, de avond van 19:00 tot 23:00 en de nacht van 23:00 tot 7:00.

Tabel 2-2 Treinintensiteiten voor en na realisatie van Groningen Spoorzone, in aantal treinen per uur, per richting en per tracédeel, gemiddeld over jaardienstregeling

Tracédeel	Treintype	dag		avond		nacht	
		2011	2020	2011	2020	2011	2020
Groningen – Groningen Europapark	Sprinter NSR	2.00	4.00	1.88	3.50	0.38	0.88
	Intercity NSR	1.96	2.00	2.00	1.75	0.75	0.58
	Leeg materieel NSR	-.--	0.83	-.--	4.00	-.--	1.25
	Stoptrein Arriva	4.00	6.21	2.38	3.00	1.63	2.19
	Intercity Arriva	0.00	2.00	1.00	1.25	2.00	0.25
	Goederen	0.07	0.09	0.00	0.29	0.03	0.16
Groningen Europapark – Assen	Sprinter NSR	2.00	4.00	1.88	3.50	0.38	0.88
	Intercity NSR	1.96	2.00	2.00	1.75	0.75	0.58
	Leeg materieel NSR	-.--	0.83	-.--	4.00	-.--	1.25
	Goederen	0.07	0.09	0.00	0.10	0.03	0.07
Groningen Europapark – Winschoten	Stoptrein Arriva	4.00	4.33	2.38	2.00	1.63	1.63
	Leeg materieel Arriva	-.--	0.75	-.--	1.25	-.--	2.50
	Goederen	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.09

Met name tussen de stations Groningen en Groningen Europapark neemt het aantal treinen sterk toe, zowel op de NS-sporen als op de Arriva-sporen. Daarnaast rijdt er, met name in de avond- en nachturen, in de plansituatie leeg materieel van een naar het opstelterrein Rouaanstraat. Dit laatste verkeer is aangegeven met *leeg materieel*.

3 Opzet trillingsonderzoek

3.1 Inleiding

In dit onderzoek wordt het effect van de wijzigingen ten gevolge van het project *Groningen Spoorzone* op de trillingshinder voor omwonenden onderzocht. Met behulp van modelberekeningen, op basis van locatiespecifieke metingen aan treinpassages en bodemeigenschappen, wordt de trillingshinder in het onderzoeksgebied bepaald. De valproeven³ en maaiveldmetingen⁴ die als basis dienen voor het trillingsmodel, zijn uitgevoerd in het voorjaar van 2013.

Het onderzoeken van de trillingen in gebouwen is complexe materie, omdat de trillingen in een gebouw afhankelijk zijn van een groot aantal parameters, waaronder het type spoor, het type treinen, de rijsnelheid van de treinen, de bodem, obstakels in de bodem en eigenschappen van de bebouwing. Het maken van een nauwkeurige predictie van de trillingssituatie in een gebouw is daardoor zeer lastig.

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksaanpak toegelicht.

3.2 Gebruikt rekenmodel

Om een goede voorspelling te kunnen maken van de trillingssituatie in de gebouwen, is door Movares het rekenmodel *VibraDyna*⁵ ontwikkeld op basis van een groot aantal metingen die in geheel Nederland zijn uitgevoerd, aangevuld met gegevens uit modelberekeningen. Met dit model wordt voor het gehele onderzoeksgebied de trillingssituatie in beeld gebracht. Het model wordt toegepast op een zone van 500 meter aan weerszijden van de sporen. Er wordt gebruik gemaakt van een nauwkeurige, frequentieafhankelijke berekening, gebaseerd op de resultaten van de valproeven en maaiveldmetingen. In de berekeningen wordt rekening gehouden met de eigenschappen van de bebouwing, zoals de afmetingen, de hoogte en het type vloeren.

3.3 Classificatie van trillingshinder

Bij trillingshinder worden er twee grootheden onderscheiden, de trillingssterkte en de trillingsintensiteit:

1. De trillingssterkte V_{max} is de zogenaamde pieksterkte, een indicatie van het maximaal optredende trillingsniveau. Dit piekniveau wordt bepaald door de treinen die de hoogste trillingen veroorzaken, doorgaans zijn dat goederentreinen. Een toe- of afname van het aantal treinen heeft weinig tot geen invloed op deze parameter, wijzigingen in sporenlay-out, treinenloop of treintype wel. Doorgaans is de trillingssterkte V_{max} de parameter die voor omwonenden de meeste hinder geeft;
2. De trillingsintensiteit V_{per} is een tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze parameter wordt wel beïnvloed door het aantal treinen, maar ook door wijzigingen in sporenlay-out, treinenloop en treintype.

Omdat de trillingssterkte V_{max} door omwonenden doorgaans als hinderlijker wordt ervaren dan de trillingsintensiteit V_{per} , wordt in dit onderzoek vooral gefocust op de trillingssterkte.

³ Valproeven: metingen waarbij met behulp van een kunstmatige trillingsbron trillingen worden gegenereerd, waarna deze op verschillende afstanden tot de trillingsbron worden gemeten. Met behulp van dit type metingen kunnen de bodemeigenschappen worden bepaald. Deze bodemeigenschappen zijn van belang voor de uitdamping van de trillingen met de afstand tot het spoor.

⁴ Maaiveldmetingen: bij deze metingen worden de trillingen van de passerende treinen op een vaste referentieafstand van 20 meter gemeten op verschillende locaties langs het tracé.

⁵ *VibraDyna* is een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.4.

3.4 Onderzoeksaanpak

Om de wijzigingen in trillingshinder in beeld te brengen, is voor alle gebouwen in het onderzoeksgebied de trillingssituatie in de referentie- en plansituatie bepaald. Uit onderzoek blijkt dat veranderingen in trillingssterkte van 30 procent waarneembaar zijn, kleinere wijzigingen niet. Voor de adressen waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, wordt een nauwkeurige voorspelling gegeven van de toekomstige trillingssituatie, na realisatie van het project. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de eigenschappen van de gebouwen, gebaseerd op de Basis Administratie Gegevens (BAG) uit februari 2014. In dit onderzoek wordt gerekend met een 90 procent betrouwbaarheidsinterval⁶ om de variatie in trillingshinder aan te geven. Dit betekent dat er een kans van 5 procent is op een hogere en een kans van 5 procent op een lagere trillingssterkte dan volgt uit dit onderzoek.

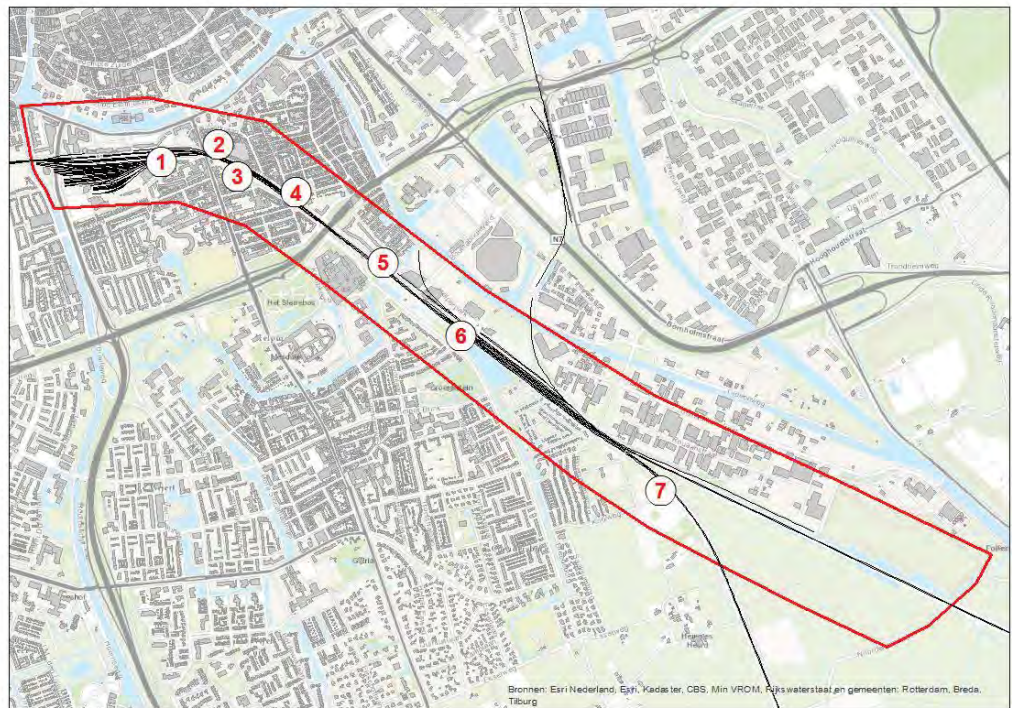
Vervolgens wordt aangegeven welke mitigerende maatregelen kunnen worden overwogen om de trillingshinder te reduceren voor de locaties waar een voelbare toename in trillingshinder wordt verwacht.

⁶ Dit betrouwbaarheidsinterval is empirisch vastgesteld door de resultaten van modelberekeningen te vergelijken met de resultaten uit trillingsmetingen in gebouwen voor een groot aantal locaties verspreid door Nederland.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

De trillingssterkte is bepaald met behulp van het rekenmodel *VibraDyna*. Hiervoor is gebruik gemaakt van valproeven en maaiveldmetingen, die verspreid langs het tracé zijn uitgevoerd om de variatie in bodem en baanopbouw zo goed mogelijk mee te nemen in het model, zie Figuur 4-1 voor de locaties van de valproeven en maaiveldmetingen, zie ook Bijlage I voor de resultaten van het onderzoek. De valproeven en maaiveldmetingen zijn uitgevoerd in het voorjaar van 2013.



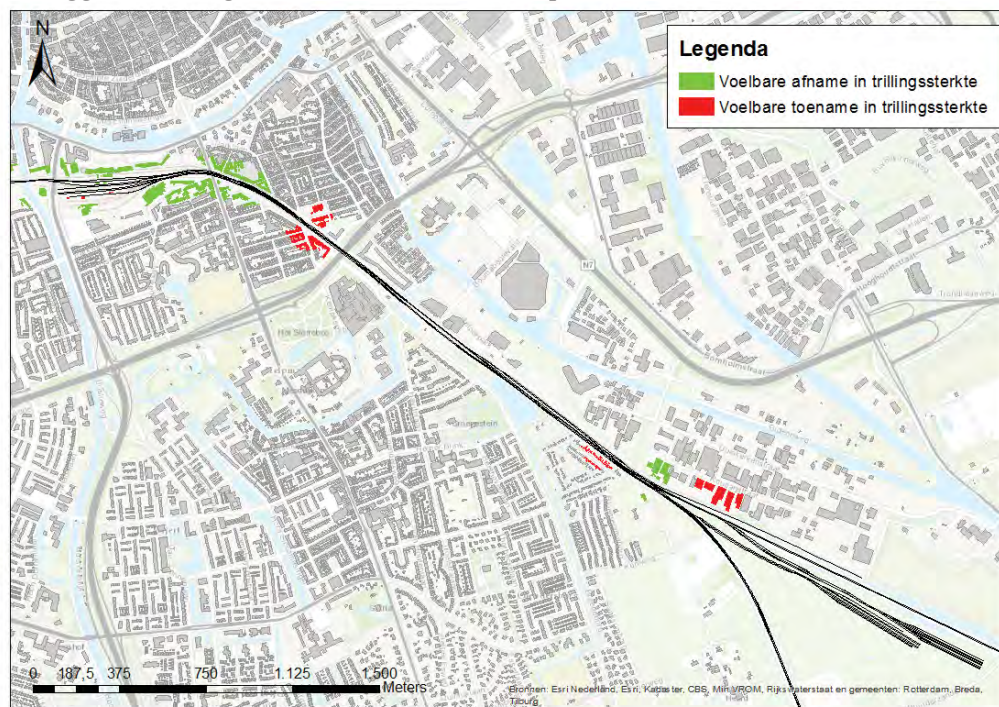
Figuur 4-1 Uitgevoerde locatiespecifieke onderzoeken

4.2 Resultaten

Het project leidt op een aantal locaties tot wijzigingen in de trillingssituatie. De gebouwen waar een voelbare toe- of afname wordt verwacht, zijn rood respectievelijk groen gearceerd in Figuur 4-2. De effecten in de buurt van gebouwen worden hieronder nader toegelicht:

- Rond station Groningen: doordat de meest noordelijke sporen niet meer in gebruik zijn, neemt de trillingshinder aan de noordzijde van het station af. Aan de zuidzijde van het station daarentegen is een toename zichtbaar door het dichterbij komen van de in gebruik zijnde sporen. Deze toename speelt echter alleen op het huidige emplacement, er treedt geen voelbare toename op in gebouwen in de omgeving;
- Rond de Hereweg en Lodewijkstraat: het verwijderen van de wissels zorgt voor een afname van de trillingshinder;
- Rond de Verlengde Lodewijkstraat en Verlengde Willemstraat: de nieuwe wissels zorgen voor een toename in trillingssterkte;
- Rond de Rouaanstraat: in een paar gebouwen met een industrie- of kantoorbestemming neemt de trillingssterkte toe door het realiseren van een aantal wissels. Deze wissels worden aangelegd in verband met de realisatie van het opstel terrein Rouaanstraat.

Ook rond de Tuinwijk neemt de trillingssterkte toe door het realiseren van enkele overloopwissels. Deze toenames treden vooral op in de nabijheid van het spoor, de invloed van de wissels neemt sterk af met de afstand. De opstallen op deze locatie zijn geen formeel verblijfsobject, en hebben daarmee ook geen formeel adres. Dergelijke panden worden in trillingsonderzoeken doorgaans buiten beschouwing gelaten. In het voorliggende trillingsonderzoek worden deze opstallen wel nader beschouwd.



Figuur 4-2 Gebouwen met een voelbare toe- of afname in trillingssterkte

Voor de gebouwen waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, is de trillingssituatie na realisatie van het project weergegeven in Bijlage II, III en IV. Voor alle gebouwen is de trillingssterkte op de fundering weergegeven. De trillingssterkte op de fundering van een woning kan doorgaans vrij nauwkeurig worden bepaald uit maaiveldmetingen. Verder is op basis van bouwjaar, bouwhoogte, bouwstijl en gebouwafmetingen een inschatting gemaakt van de frequentieafhankelijke overdracht van de fundering naar het midden van de vloer op de hoogste verdieping in het gebouw. Daar treedt de grootste trillingshinder op.

Omdat het bij de Tuinwijk niet om formele verblijfsobjecten gaat, wordt daar de trillingssituatie op maaiveld weergegeven.

Een korte toelichting voor de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat, Tuinwijk en de Rouaanstraat is opgenomen in de volgende subparagrafen.

4.2.1. Verlengde Lodewijkstraat

De gebouwen waar een kans is op een voelbare toename in trillingshinder in de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat zijn gemarkeerd in Figuur 4-3. De trillingssterkte op de fundering en het midden van de vloer zijn weergegeven in Bijlage II. Gebouwspecifieke kenmerken, zoals betonnen vloeren, de bouwhoogte, de gebouwafmetingen of de bouwstijl, kunnen ervoor zorgen dat de invloed van de overloopwissels die worden gerealiseerd, beperkt is.



Figuur 4-3 Gebouwen waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, omgeving Verlengde Lodewijkstraat en Verlengde Willemstraat

De trillingssituatie op de fundering en in het midden van het vloerveld op de hoogste verdieping, is weergegeven in Bijlage II. De hoogste trillingssterktes treden op bij de Verlengde Willemstraat, de maximale trillingssterkte is daar 0.58. Een dergelijk trillingsniveau wordt door ruim 40 procent van de mensen als hinderlijk ervaren, zo blijkt uit internationaal onderzoek⁷. Deze hoogste trillingssterkte wordt veroorzaakt door de zwaarste goederentreinen die over de wissels rijden. Gezien het beperkte aantal goederentreinen dat over deze sporen rijdt (minder dan twee goederentreinen per dag per richting) is de verwachting dat dergelijke trillingssterktes slechts incidenteel (minder dan eens per week) zullen voorkomen.

De hoge trillingssterktes in de woningen aan de Verlengde Willemstraat worden veroorzaakt door een hoge overdracht van de fundering naar het midden van de vloer. Deze hoge overdracht komt doordat het hier gaat om woningen uit het begin van de 20^e eeuw. De trillingen in deze woningen zijn in het midden van de vloer op de bovenste verdieping vaak meer dan drie keer zo sterk als op de fundering. De trillingssterkte neemt door het project voelbaar toe, met 32 tot 45 procent. In deze woningen zal de trillingssterkte na realisatie van het project vergelijkbaar zijn met de trillingssterkte in de huidige situatie bij de Lodewijkstraat, tussen de nummers 25 en 35.

Aan de zuidzijde van het spoor (Verlengde Willemstraat en Verlengde Oosterweg) wordt een grotere toename verwacht dan aan de noordzijde, dit komt vooral door

⁷ Zie Klaeboe, R. e.a., *Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part II: exposure-effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models*, Applied Acoustics, 64, 89-109, 2003 en Klaeboe, R. e.a., *Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part III: towards a common methodology for socio-vibrational surveys*, Applied Acoustics, 64, 111-120, 2003

verschillen in gebouwkenmerken en doordat de doorgaande sporen hier dichtbij de bebouwing komen te liggen. De grootste toename in trillingssterkte treedt op bij de kop van de Verlengde Oosterweg, hier zijn toenames in trillingssterkte mogelijk van 44 tot 50 procent. Deze woningen bevinden zich het meest dichtbij de nieuwe wissels, daarnaast zijn de gebouwkenmerken van deze woningen dusdanig dat deze gebouwen gevoelig zijn voor de trillingen die ontstaan door treinpassages over de wissels.

4.2.2. Omgeving Tuinwijk

De opstallen in Tuinwijk waar een kans is op een voelbare toename in trillingshinder zijn gemarkeerd in Figuur 4-4. De trillingssterkte op maaiveld is weergegeven in Bijlage III.

De grootste toenames treden op in de opstallen op de kortste afstand van de wissels. De toenames in trillingssterkte ten gevolge van het project bedragen maximaal 55 procent in de Tuinwijk.



Figuur 4-4 Opstallen in Tuinwijk waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht op maaiveld

4.2.3. Omgeving Rouaanstraat

De gebouwen waar een kans is op een voelbare toename in trillingshinder in de omgeving van de Rouaanstraat zijn gemarkeerd in Figuur 4-5. De trillingssterkte op de fundering en het midden van de vloer zijn weergegeven in Bijlage IV. De gebouwen waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, zijn panden met bestemming *kantoor*. In trillingsrichtlijnen worden altijd ruimere grenswaarden gehanteerd voor gebouwen met bestemming *kantoor* dan voor gebouwen met bijvoorbeeld bestemming *wonen*.



Figuur 4-5 Locaties waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, omgeving Rouaanstraat

De hoogste trillingssterkte treedt op in het bedrijfspand Rouaanstraat 23-2, dit komt voornamelijk door de korte afstand tot het spoor. De grootste toename in trillingssterkte treedt voornamelijk op in de gebouwen op korte afstand tot het spoor, Rouaanstraat 23, 23a-c en 23-2.

4.3 Mitigerende maatregelen

Om de verwachte toenames in trillingshinder te reduceren, kunnen mitigerende maatregelen worden overwogen. De ervaring leert dat het reduceren van trillingshinder in gebouwen complex is. Zo is het effect van maatregelen sterk afhankelijk van bijvoorbeeld de opbouw van de bodem. Hierdoor kan het voorkomen dat een maatregel die op de ene locatie de trillingssituatie fors reduceert, op een andere locatie (vrijwel) geen effect heeft. Verder is het arsenaal aan mogelijke maatregelen beperkt. Een bronmaatregel als afvering van het spoor is alleen zinvol bij hoogfrequente trillingen. Omdat de toenames ten gevolge van dit project voornamelijk worden veroorzaakt door wissels, die vooral laagfrequente trillingen introduceren, zijn veel bronmaatregelen onvoldoende effectief.

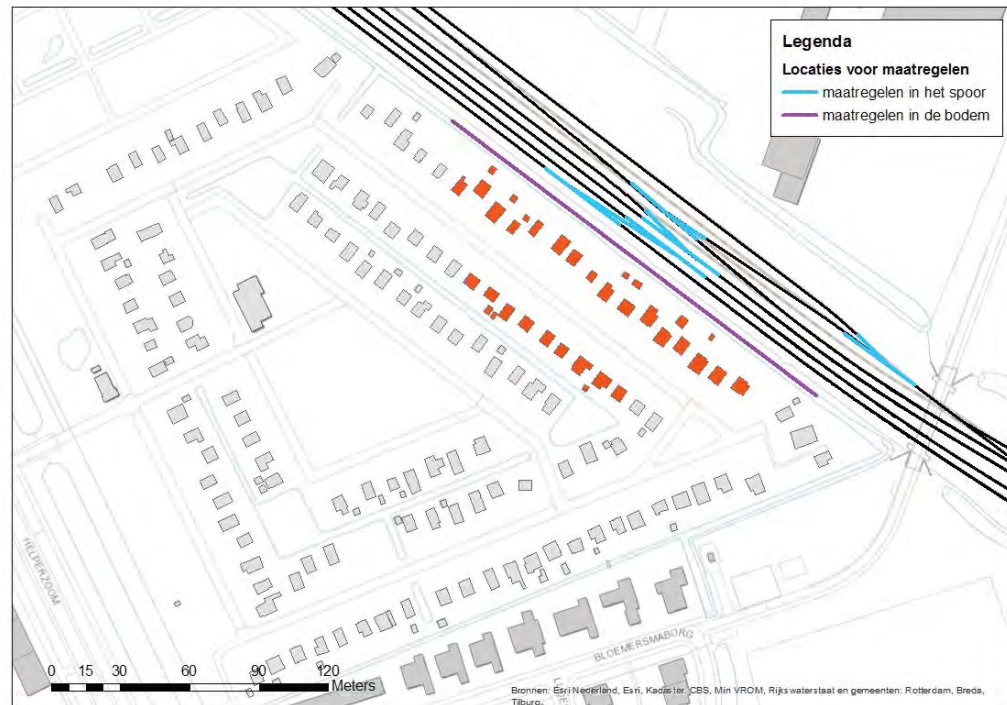
Er worden grofweg drie types maatregelen onderscheiden:

1. Maatregelen aan de bron (trein en spoor).
2. Maatregelen aan de transmissie (tussen bron en ontvanger);
3. Maatregelen aan de ontvanger (gebouwen);

Mogelijke maatregelen in deze categorieën worden in de volgende subparagrafen nader toegelicht. De locaties van de maatregelen zijn weergegeven in Figuur 4-6 voor de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat, in Figuur 4-7 voor de opstallen in Tuinwijk en in Figuur 4-8 voor de bedrijfspanden aan de Rouaanstraat.



Figuur 4-6 Locaties voor maatregelen, omgeving Verlengde Lodewijkstraat en Verlengde Willemstraat



Figuur 4-7 Locaties voor maatregelen, Tuinwijk

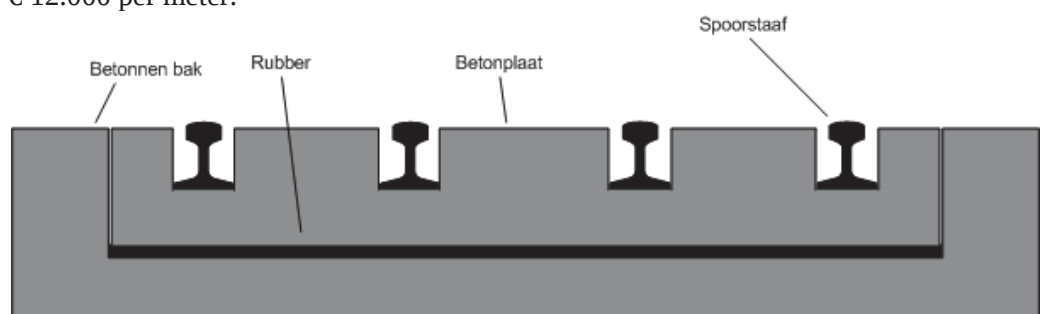


Figuur 4-8 Locaties voor maatregelen, omgeving Rouaanstraat

4.3.1. Bronmaatregelen

Qua bronmaatregelen is een breed scala aan diverse maatregelen mogelijk. Hierbij kan gedacht worden aan afgeveerde spoorconstructies, het realiseren van rubberen matten onder het ballast of de dwarsliggers of het aanpassen van de onderbouw van het spoor (vervangen van ballast en dwarsliggers door een betonnen constructie).

Belangrijke nadelen van bronmaatregelen zijn de zeer hoge investeringskosten (€ 10.000 tot € 30.000 per meter), de na aanleg jaarlijks terugkerende beheerskosten en de beperkte effectiviteit bij wissels. Alleen een speciale constructie waarbij het spoor wordt afgeveerd met behulp van betonplaten en rubber, is mogelijk voldoende effectief bij dit project. Een schematische weergave van zo'n afgeveerde spoorconstructie is weergegeven in Figuur 4-9. De investeringssom van deze constructie kost € 10.000 tot € 12.000 per meter.



Figuur 4-9 Schematische doorsnede van een afgeveerde spoorconstructie

In de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat dienen de wissels te worden afgeschermd, hiervoor moeten maatregelen worden genomen over een lengte van 246 meter. De totale investeringskosten hiervan bedragen ongeveer € 2.7 mln. Om de wissels bij de Tuinwijk voldoende af te screenen is een totale lengte van 322

meter aan bronmaatregelen nodig, de totale investeringskosten bedragen dan ongeveer € 3.5 mln. Het effect van deze maatregel op de (sterk diverse types) opstallen kent echter een grote mate van onzekerheid.

Ook in de omgeving van de Rouaanstraat dienen de wissels te worden afgeschermd, hier is een totale lengte nodig van 470 meter aan bronmaatregelen. De totale investeringskosten hiervan bedragen ongeveer € 5.3 mln. Ook hier geldt dat het effect van deze maatregel nog onzeker is.

4.3.2. Transmissie- maatregelen

Bij transmissiemaatregelen is het aantal mogelijkheden groter dan bij bronmaatregelen. Voorbeelden van maatregelen in de bodem zijn een holle ruimte in de bodem, gecreëerd door twee damwanden op een korte afstand van elkaar te plaatsen, een betonnen trillingsscherm (al dan niet met rubber bekleed voor extra effectiviteit) of de realisatie van een diepe spoorsloot.

Over het algemeen zijn transmissiemaatregelen minder kostbaar dan bronmaatregelen, onder meer doordat de sporen niet of minder lang buiten dienst dienen te worden genomen. Daartegenover staan extra kosten voor het omleggen van kabels en leidingen en de herinrichting van bijvoorbeeld een park of straat. Ook transmissiemaatregelen hebben vaak slechts beperkte effectiviteit bij lage frequenties.

Aan de noordzijde van het spoor in de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat is een maatregel met een lengte van 137 meter afdoende om de wissels af te schermen, aan de zuidzijde is een maatregel met een lengte van 194 meter nodig. Een effectieve maatregel, bijvoorbeeld een trillingsscherm van jet-grout of beton) kost tussen de €1.4 en €5.3 mln.

Bij Tuinwijk is een lengte van 198 meter nodig. Een effectieve maatregel, zoals het aanzienlijk verdiepen van de spoorsloot of het realiseren van een trillingsscherm van beton of jet-grout tussen het spoor en de spoorsloot, kent een totale investeringssom tussen de €0.6 en €3.1 mln.

In de omgeving van de Rouaanstraat is een totale lengte nodig van 258 meter aan bronmaatregelen. Een mogelijk effectieve maatregel is het aanzienlijk verdiepen van de spoorsloot, of het realiseren van een trillingsscherm van jet-grout of beton tussen het spoor en de spoorsloot. Dergelijke maatregelen kosten tussen de €0.7 en € 4.1 mln.

4.3.3. Ontvangermaat- regelen

De laatste categorie maatregelen zijn maatregelen aan de ontvanger, aan de gebouwen. Mogelijkheden zijn onder meer het verstevigen van vloeren en muren door middel van stalen of betonnen constructies of het inpakken van de fundering van een woning met rubber. De kosten van dergelijke maatregelen bedragen tussen de € 40.000 en € 200.000 per gebouw, afhankelijk van de grootte van het gebouw en de bouwstijl. Er zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen bij ontvangermaatregelen:

- Het realiseren van deze maatregelen bij bestaande bebouwing geeft veel overlast en heeft veel impact op de gebruikers, doordat deze gedurende langere tijd niet in het gebouw kunnen verblijven;
- Het verstijven van vloeren is slechts in enkele gevallen realiseerbaar bij oudere bebouwing met houten vloeren. Bij gebouwen met betonnen vloeren is het vrijwel niet mogelijk om de vloeren effectief te verstijven. Bij veel gebouwen met houten vloeren is de fundering niet solide genoeg om effectieve versteviging van de vloeren mogelijk te maken;

Maatregelen aan de ontvanger worden daarom zelden overwogen voor bestaande bebouwing.

4.4 Samenvatting

Samengevat leidt het project *Groningen Spoorzone* tot de volgende effecten: door de optimalisatie van het aantal wissels en de locaties van de wissels neemt in een groot deel van het onderzoeksgebied de trillingssterkte (voelbaar) af, voornamelijk in de nabijheid van het station en de Lodewijkstraat. In enkele gebouwen wordt een voelbare toename in trillingssterkte verwacht, bij enkele bedrijfspanden aan de Rouaanstraat en bij de woningen rond de nieuwe overloopwissels bij de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat. Ook bij enkele opstallen in Tuinwijk wordt een voelbare toename in trillingssterkte verwacht.

In de bedrijfspanden aan de Rouaanstraat worden maximale toenames in trillingssterkte verwacht tussen de 41 en 56 procent, in de opstallen in Tuinwijk bedraagt de maximale toename zo'n 55 procent en in de woningen rond de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat maximale toenames van 32 tot 45 procent. De grootste toenames treden op bij de woningen aan de kop van de Verlengde Oosterstraat, dichtbij de wissels. De hoogste trillingssterktes in de situatie na realisatie van het project worden verwacht bij de Verlengde Willemstraat. In deze woningen zal de trillingssterkte na realisatie van het project vergelijkbaar zijn met de trillingssterkte in de huidige situatie bij de Lodewijkstraat, tussen de nummers 25 en 35.

De toename in trillingssterkte wordt met name veroorzaakt door enkele wissels. Wissels zorgen vooral voor laagfrequente trillingen, zeker bij lage rijsnelheden zoals in het onderzoeksgebied. Het reduceren van deze laagfrequente trillingen is zeer lastig realiseerbaar. Mogelijke maatregelen zijn het maken van een afgeveerde spoorconstructie rond de wissels, of het aanleggen van een (betonnen) trillingsscherm tussen de woningen en het spoor. Op voorhand is niet te garanderen dat deze maatregelen voldoende effect hebben.

De totale investeringskosten van maatregelen variëren tussen de € 1.4 en € 5.3 mln voor de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat, tussen de € 0.6 en € 3.1 mln. voor Tuinwijk en tussen de € 0.7 en € 5.3 mln voor de bedrijfspanden aan de Rouaanstraat.

5 Conclusies

In dit trillingsonderzoek zijn de trillingseffecten van het project *Groningen Spoorzone* in beeld gebracht. Het onderzoek geeft een beeld van de trillingshinder die kan optreden in de omgeving van het spoor en de wijzigingen in trillingshinder ten gevolge van het project. De trillingssituatie is in beeld gebracht met behulp van een trillingsmodel, waarbij gebruik is gemaakt van valproeven en maaiveldmetingen die in het onderzoeksgebied zijn uitgevoerd.

De adressen waar een voelbare toename in trillingshinder wordt verwacht ten gevolge van het project *Groningen Spoorzone*, zijn oranje gearceerd in Figuur 1. Naast deze adressen wordt ook bij een aantal opstallen in de Tuinwijk een voelbare toename in trillingshinder verwacht.



Figuur 1 Adressen waar een voelbare toename in trillingshinder wordt verwacht ten gevolge van het project, omgeving Verlengde Lodewijkstraat (links) en omgeving Rouaanstraat (rechts)

Door de optimalisatie van de locatie van wissels en het aantal wissels neemt in een groot deel van het onderzoeksgebied de trillingssterkte af, met name in de nabijheid van het station en de Lodewijkstraat. In enkele gebouwen wordt een voelbare toename in trillingssterkte verwacht. Het gaat om enkele bedrijfspanden aan de Rouaanstraat en bij de woningen rond de nieuwe overloopwissels bij de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat.

In de bedrijfspanden aan de Rouaanstraat worden maximale toenames in trillingssterkte verwacht tussen de 41 en 56 procent, in de opstallen in Tuinwijk bedraagt de maximale toename zo'n 55 procent en in de woningen rond de Verlengde Lodewijkstraat en de Verlengde Willemstraat maximale toenames van 32 tot 45 procent. De grootste toenames treden op bij de woningen aan de kop van de Verlengde Oosterstraat, dichtbij de geplande nieuwe wissels. De hoogste trillingssterktes in de situatie na realisatie van het project worden verwacht bij de Verlengde Willemstraat. In deze woningen zal de trillingssterkte na realisatie van het project vergelijkbaar zijn met de trillingssterkte in de huidige situatie bij de Lodewijkstraat, tussen de nummers 25 en 35.

Om de toename in trillingshinder te reduceren kunnen mitigerende maatregelen worden toegepast. Een maatregel wordt voldoende effectief geacht als deze ervoor zorgt dat de trillingen, na het nemen van de maatregel, niet meer voelbaar toenemen.

De ervaring leert dat het realiseren van een maatregel met voldoende effect zeer complex is, voornamelijk doordat de toename in trillingshinder wordt veroorzaakt door wissels. Wissels geven vaak laagfrequente trillingen, die lastig zijn te reduceren. Een maatregel met mogelijk voldoende effect is een betonnen trillingsscherm of een afgeveerde spoorconstructie. Op voorhand is echter niet te garanderen dat deze maatregelen voldoende effect hebben. Daarom is verplaatsing van wissels naar een andere locatie een optie die ook overwogen kan worden.

Colofon

Opdrachtgever ProRail B.V.
Bert Kassies/Tryfon Roelofs

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw en Geotechniek

Daalse Kwint G 3.00
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030-265 5322

Ondertekenaar ir. P.M. Boon
Adviseur

Projectnummer RA000170

Opgesteld door Boon, PM

© 2013, Movares Nederland B.V.

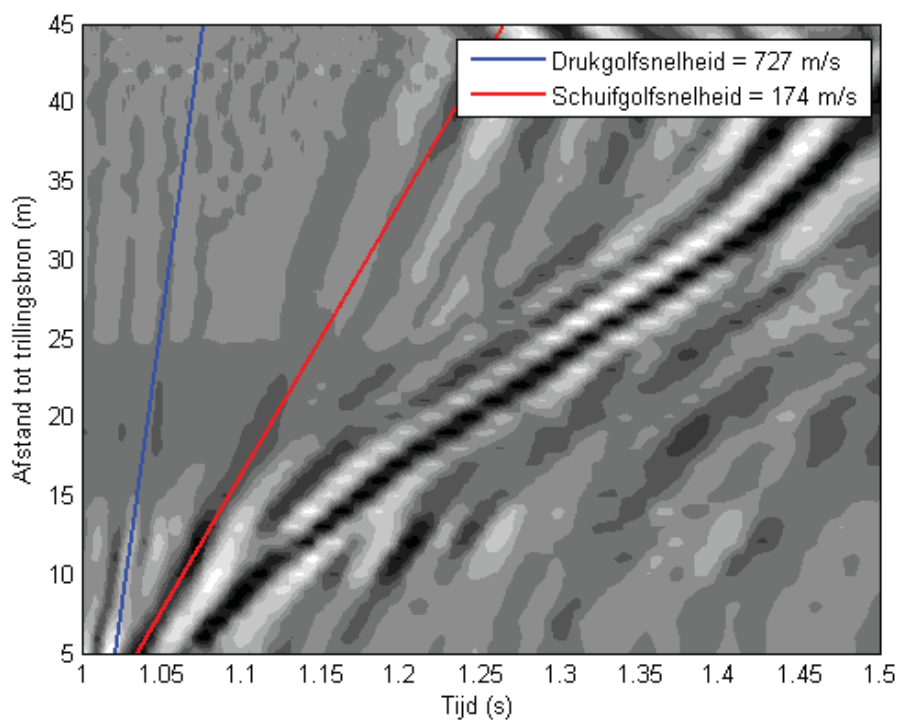
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Bijlage I Resultaten bodemonderzoek en maaiveldmetingen

Voor dit trillingsonderzoek zijn in het voorjaar van 2013 metingen uitgevoerd om de bodemeigenschappen en de trillingen van het treinverkeer op maaiveld te bepalen. de bodemopbouw en treinpassages. De bodemeigenschappen zijn bepaald met behulp van valproeven, de gevolgde methodiek wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

Valproeven

Bij de valproeven is er gebruik gemaakt van een kunstmatige gecontroleerde bron, een valgewicht, die de bodem in trilling brengt. Trillingsopnemers registreren vervolgens de resulterende bodemtrillingen. Door de trillingsopnemers in een rij op de bodem te plaatsen, kunnen de loopsnelheden van de verschillende typen trillingsgolven (druk golf en schuifgolf) bepaald worden. De schuifgolf is de dominante trillingsgolf. Een voorbeeld hiervan staat in Figuur II-1. In deze figuur zijn de geregistreerde trillingen in de tijd uitgezet tegen de afstand tot de trillingsbron.



Figuur II-1 Voortplanting van trillingen in de bodem

Als kunstmatige trillingsbron is gebruik gemaakt van een kleine heistelling met een valgewicht van 50 kg, zie Figuur II-2. Het valgewicht valt naar beneden en introduceert zo een trilling in de bodem. De valhoogte bedroeg 2.0 meter.



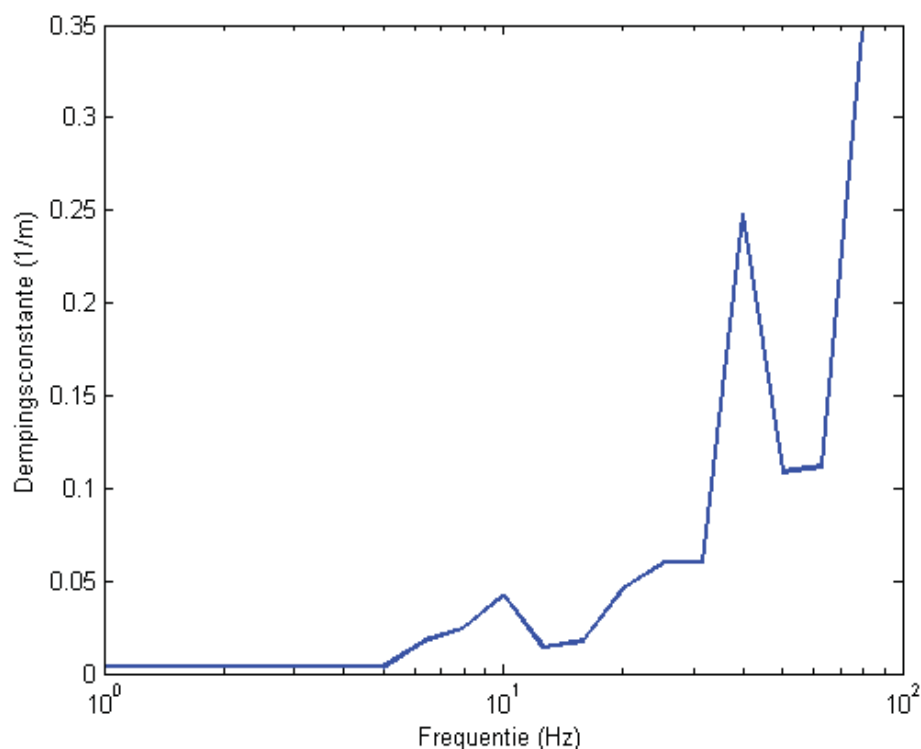
Figuur II-2 Opstelling valgewicht

Door de afstand tussen trillingsbron en trillingsopnemers te variëren kan op elke willekeurige afstand tot de trillingsbron de trillingssterkte worden gemeten als functie van de tijd. Door per positie een aantal trillingssignalen te middelen neemt de invloed van de achtergrondtrillingen (ruis) af.

Door de trillingssignalen als functie van de tijd te transformeren naar het frequentie-domein (Fourier-transformatie) kan voor elke afstand tot de trillingsbron een tertsbandspectrum worden gegenereerd. Vervolgens kan met behulp van de zogenaamde Barkanvergelijking de trillingssterkte op een willekeurige afstand tot het spoor worden bepaald. De gebruikte Barkanvergelijking luidt:

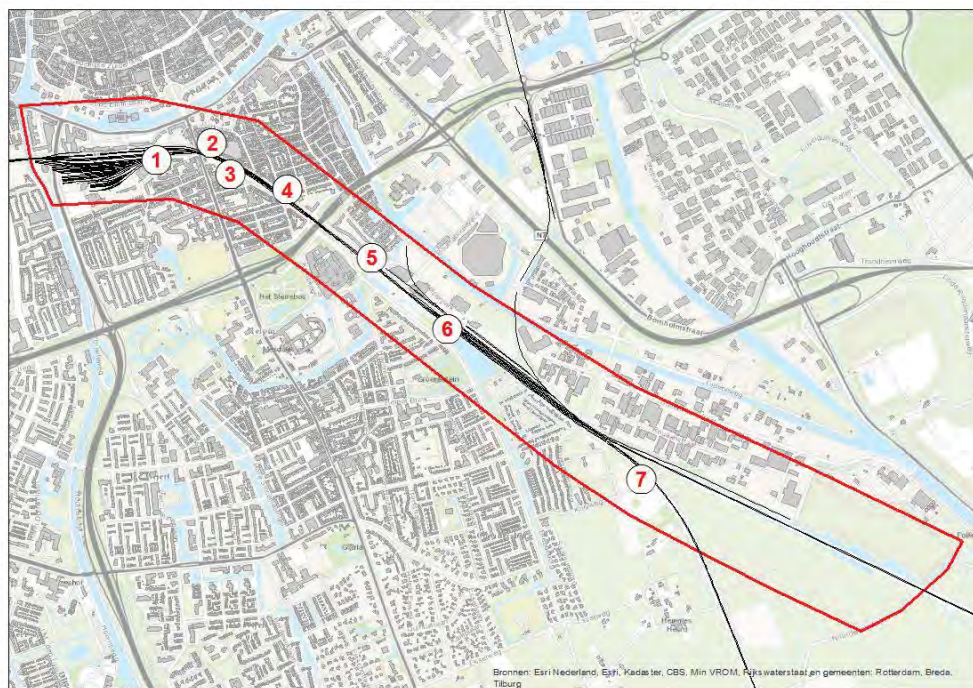
$$V(r, f) = V(r_0, f) \frac{r_0}{r} e^{-\alpha(f)(r-r_0)}$$

Hierin is $V(r, f)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r tot de trillingsbron, r_0 een referentieafstand, n een frequentieafhankelijke factor die de geometrische uitbreiding van de trillingen beschrijft en α een frequentieafhankelijke factor die de bodemdemping beschrijft. Met behulp van de kleinste-kwadratenmethode is deze relatie voor elke frequentie in het tertsbandspectrum te bepalen. Een voorbeeld van de resulterende bodemdemping als functie van de frequentie is weergegeven in Figuur II-3.

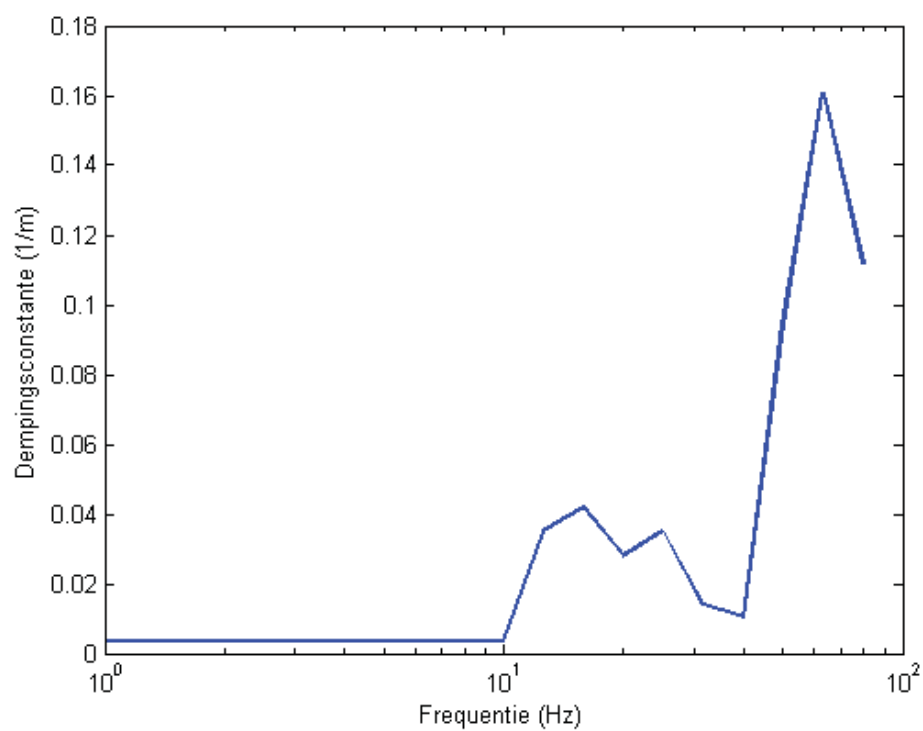
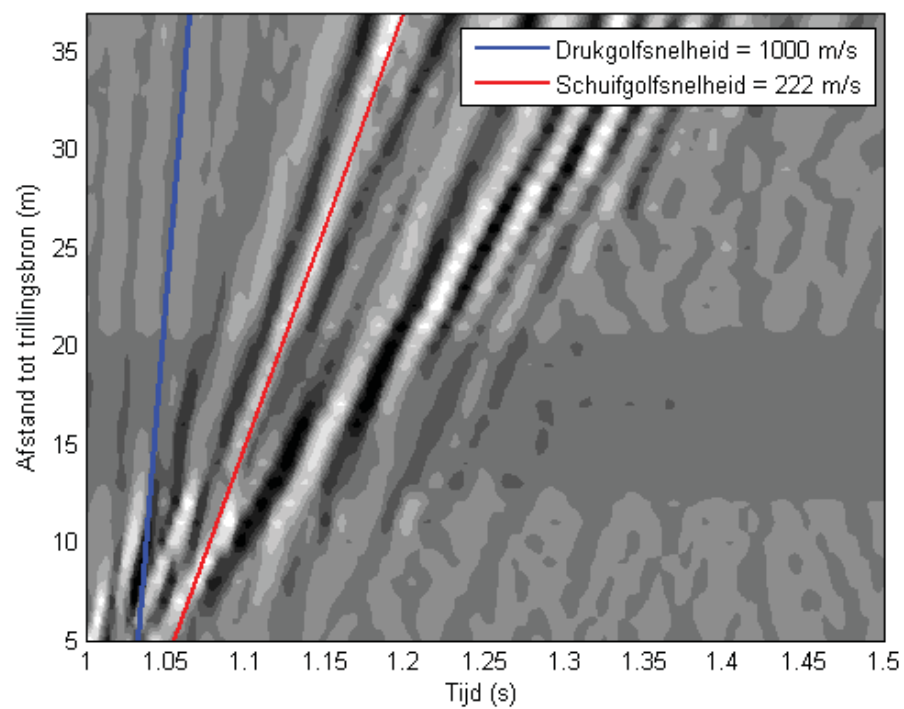


Figuur II-3 Bodemdemping als functie van de frequentie

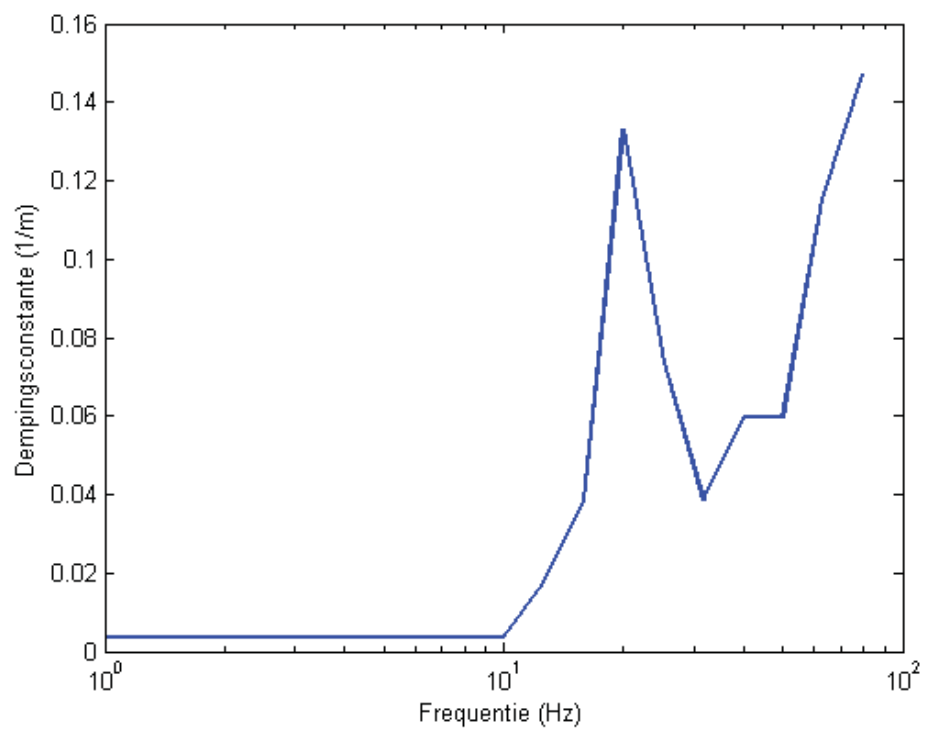
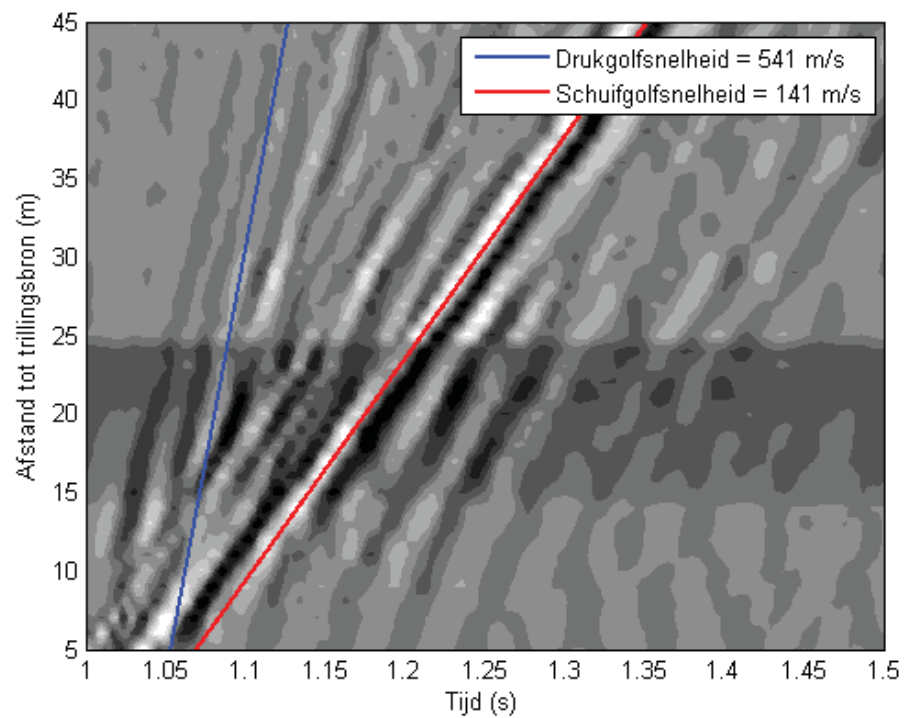
De valproeven voor het project *Groningen Spoorzone* zijn uitgevoerd op in totaal 7 locaties, verdeeld langs het tracé, zie Figuur II-4. De resultaten van de valproeven (golfpatronen en bodemeigenschappen) zijn per locatie weergegeven in Figuur II-5 tot en met Figuur II-11.



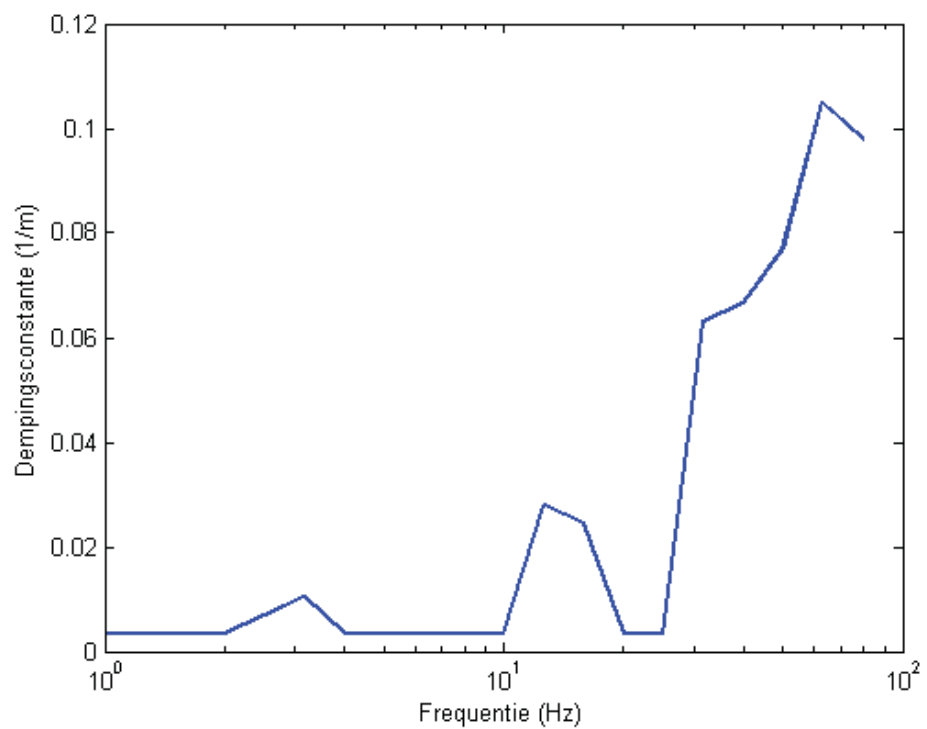
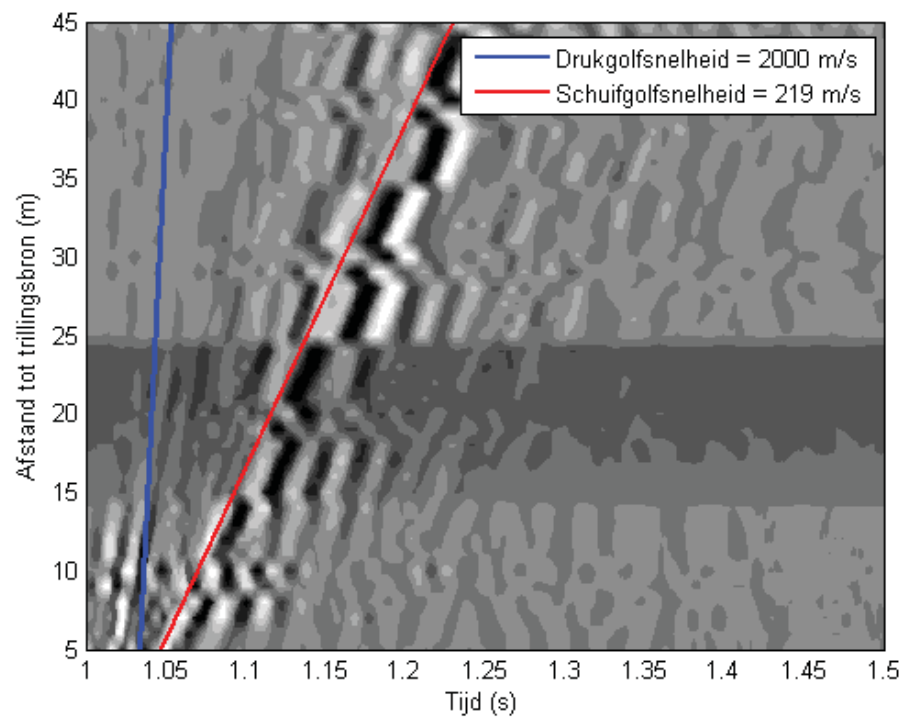
Figuur II-4 Locaties voor valproeven en maaiveldmetingen



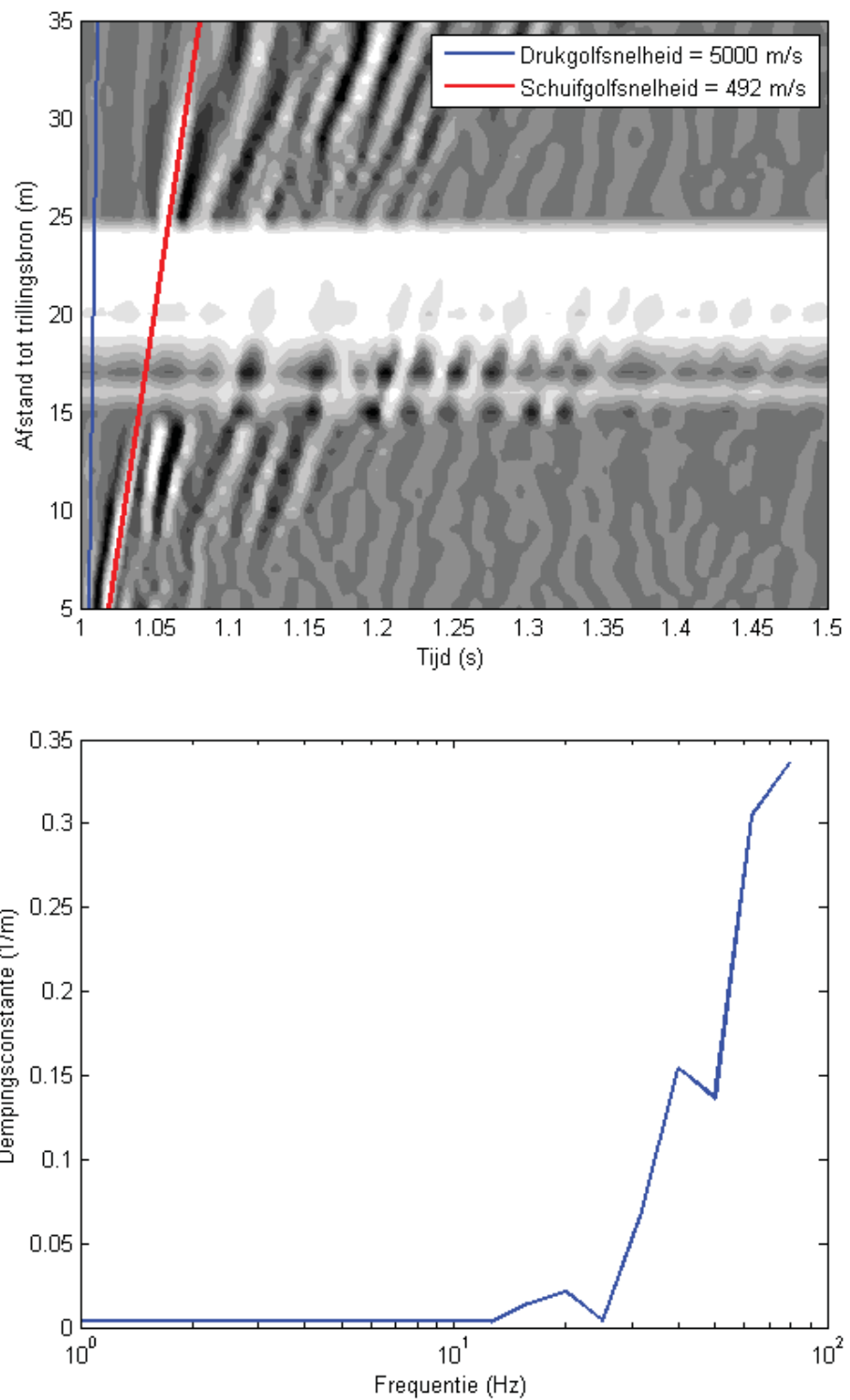
Figuur II-5 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 1, Viaductstraat



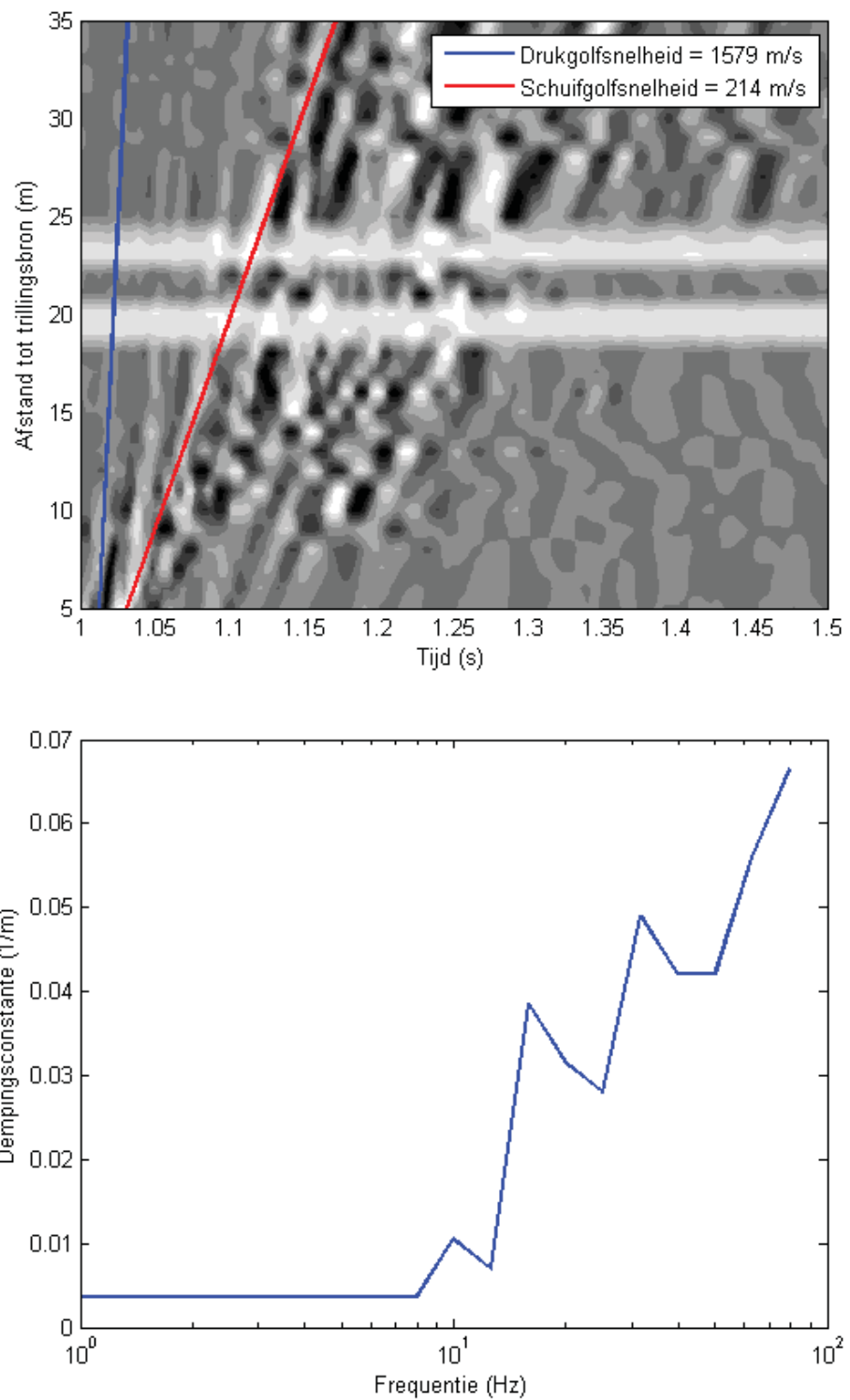
Figuur II-6 Golffatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 2, Brandenburgerstraat



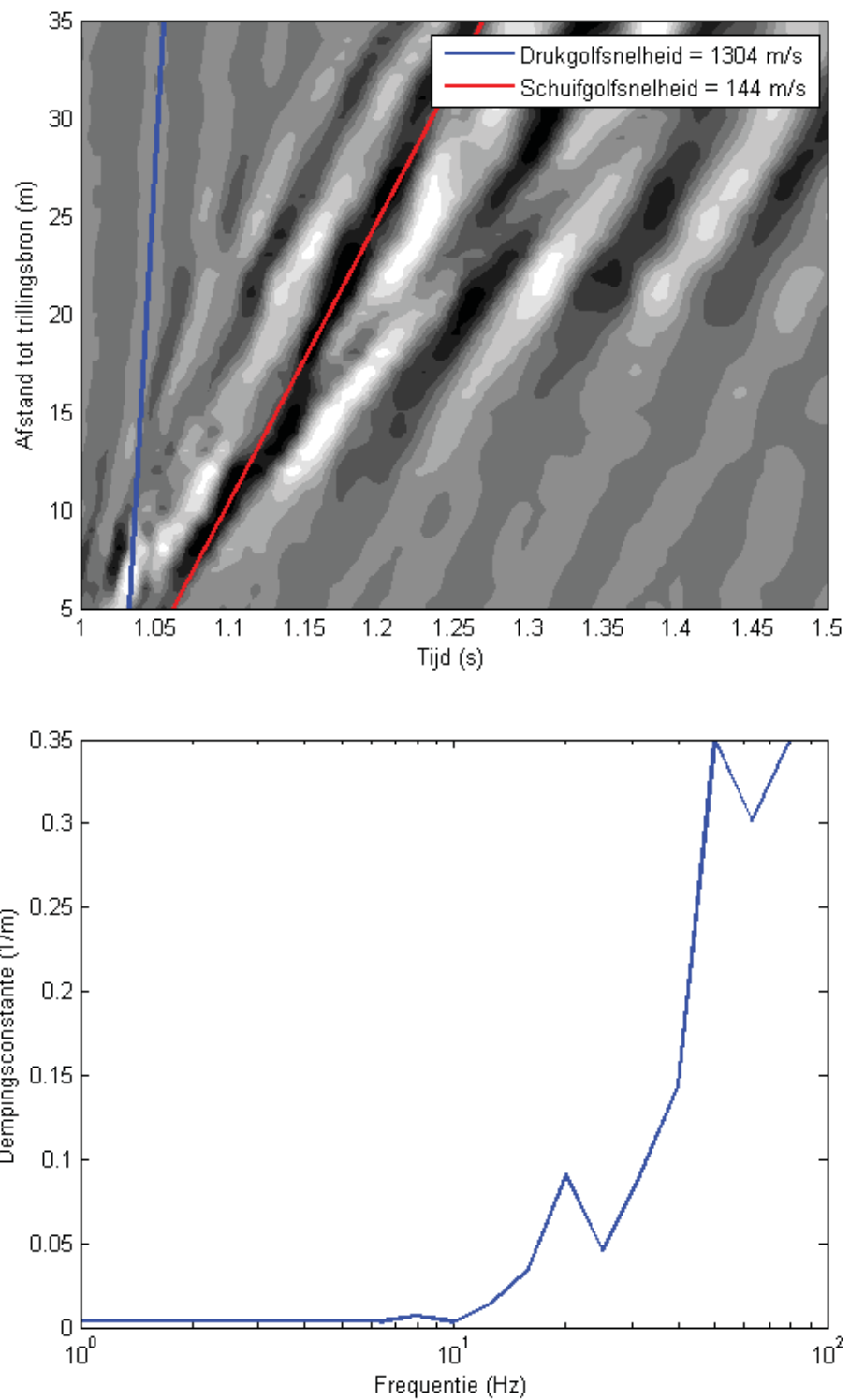
Figuur II-7 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 3, Herehof



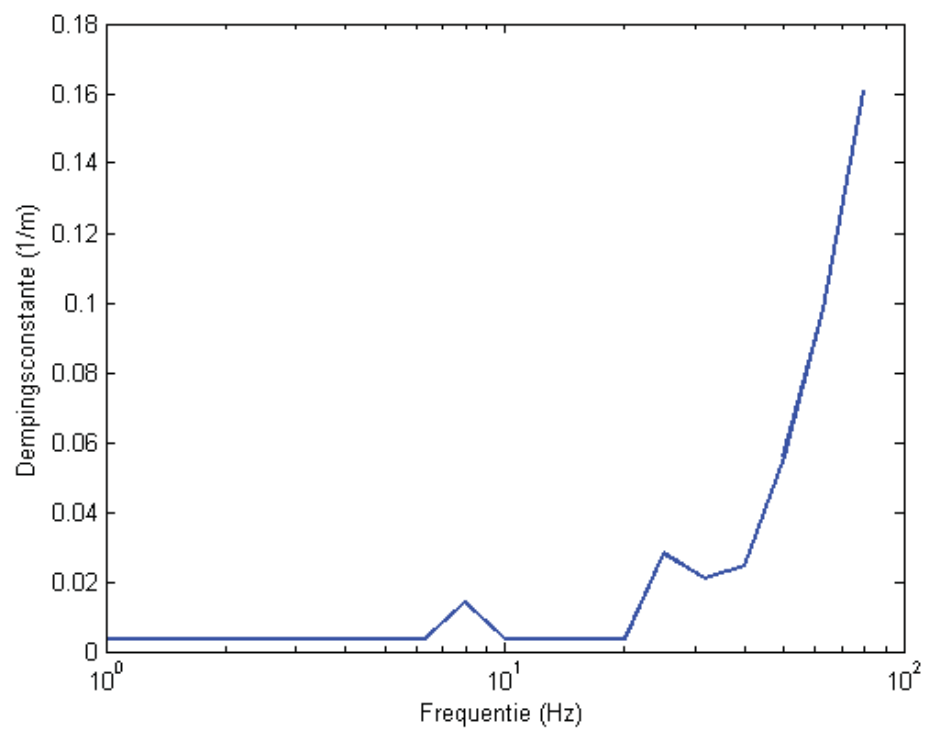
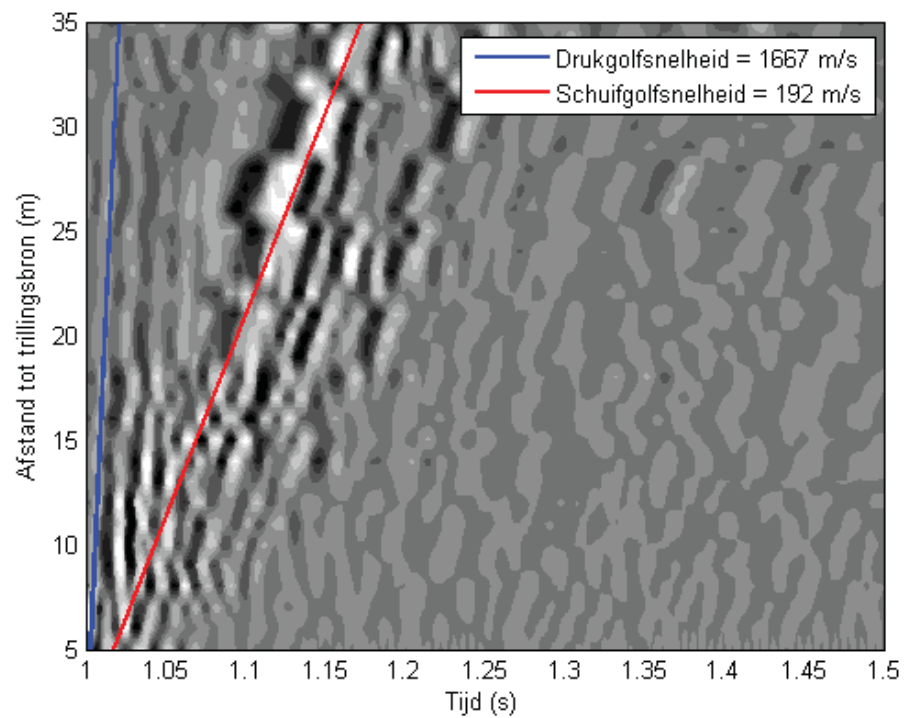
Figuur II-8 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 4, Kwintlaan



Figuur II-9 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 5, Verlengde Lodewijkstraat



Figuur II-10 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 6, Groenendaal



Figuur II-11 Golfpatronen (boven) en dempingsparameter als functie van de frequentie (onder) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechtsonder) voor locatie 7, Kooiweg

De schuifgolfsnelheid, die bepalend is voor de dominante trillingsgolf, verschilt nauwelijks langs het tracé en varieert tussen de 119 en 222 m/s. Alleen bij de locatie Kwintlaan wijkt deze snelheid sterk af. De bodem in Groningen is vrij uniform, al is de bodem rond station Groningen meer zandig dan verder van het station vandaan. Bij het station is de demping van de bodem daardoor lager.

De compressiegolf varieert wel sterk, dat heeft te maken met variaties in de toplaag (asfalt of andere verharding versus een zachte toplaag van grond of zand).

Maaiveldmetingen

Naast valproefmetingen zijn ook maaiveldmetingen uitgevoerd aan passerende treinen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een aantal sensoren op verschillende afstanden tot de sporen. Op deze manier zijn de frequentieafhankelijke trillingen per treintype vastgesteld op verschillende afstanden van het spoor. Deze informatie is gebruikt in het trillingsmodel.

Bijlage II Trillingssituatie na realisatie, omgeving Verlengde Lodewijkstraat

Voor de gebouwen in de omgeving van de Verlengde Lodewijkstraat waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, is per adres de trillingssituatie na realisatie van het project weergegeven in Tabel II-1 met een betrouwbaarheidsinterval van 90 procent.

Tabel II-1 Voorspelling trillingssituatie in gebouwen, omgeving Verlengde Lodewijkstraat

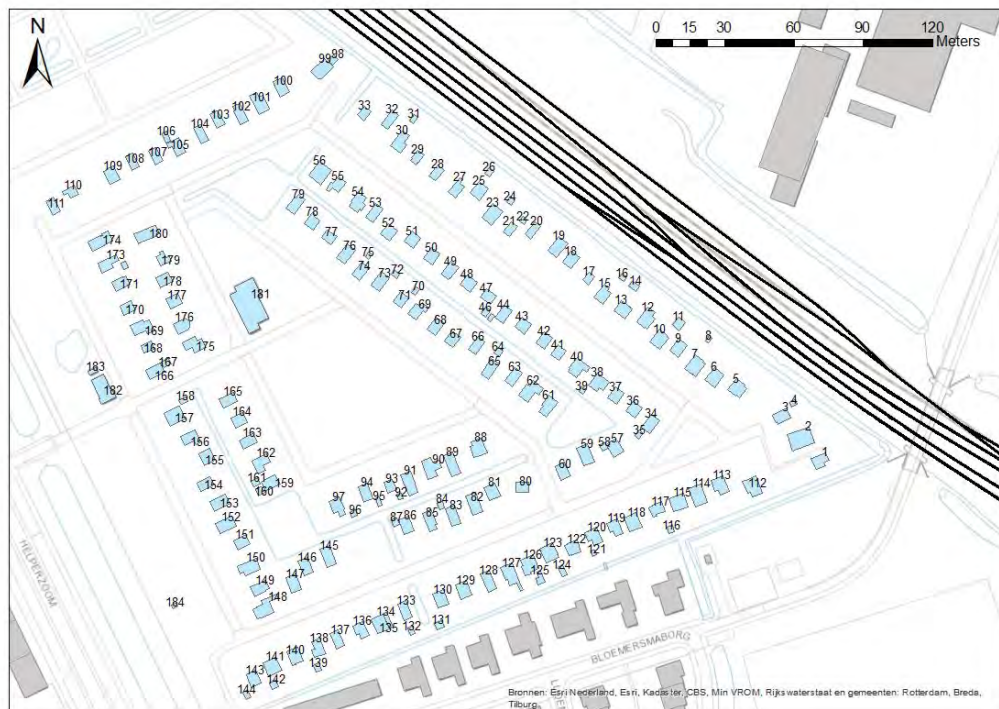
Adres	Functie	Bouwjaar	Fundering	Vloer bovenste verdieping		
			V_{max}	V_{max}	V_{per}	Toename
Blekerslaan 1	kantoor	1915	0.09-0.16	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.42
Kwintlaan 1	wonen	1994	0.13-0.23	0.25-0.38	0.03-0.04	1.46-1.46
Kwintlaan 11	wonen	1994	0.10-0.18	0.22-0.32	0.02-0.03	1.33-1.41
Kwintlaan 13	wonen	1994	0.09-0.17	0.20-0.31	0.02-0.03	1.35-1.45
Kwintlaan 15	wonen	1994	0.09-0.16	0.20-0.30	0.02-0.03	1.36-1.45
Kwintlaan 17	wonen	1994	0.08-0.15	0.19-0.29	0.02-0.03	1.38-1.47
Kwintlaan 19	wonen	1994	0.08-0.14	0.18-0.27	0.02-0.03	1.32-1.35
Kwintlaan 3	wonen	1994	0.12-0.22	0.24-0.37	0.02-0.04	1.42-1.42
Kwintlaan 5	wonen	1994	0.11-0.21	0.23-0.35	0.02-0.04	1.40-1.48
Kwintlaan 7	wonen	1994	0.11-0.20	0.23-0.34	0.02-0.04	1.36-1.39
Kwintlaan 9	wonen	1994	0.10-0.19	0.22-0.34	0.02-0.04	1.39-1.42
Tweede Willemstraat 39	wonen	1938	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.42
Tweede Willemstraat 39a	wonen	1938	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.42
Tweede Willemstraat 39b	wonen	1938	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.42
Tweede Willemstraat 41	wonen	1938	0.07-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 41a	wonen	1938	0.07-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 41b	wonen	1938	0.07-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 43	wonen	1938	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.33-1.36
Tweede Willemstraat 43a	wonen	1938	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.33-1.36
Tweede Willemstraat 43b	wonen	1938	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.33-1.36
Tweede Willemstraat 45	wonen	1938	0.08-0.15	0.17-0.33	0.02-0.03	1.38-1.41
Tweede Willemstraat 56	wonen	1935	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.35
Tweede Willemstraat 56a	wonen	1935	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.35
Tweede Willemstraat 56b	wonen	1935	0.07-0.13	0.15-0.28	0.01-0.03	1.33-1.35
Tweede Willemstraat 58	wonen	1938	0.08-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 58a	wonen	1938	0.08-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 58b	wonen	1938	0.08-0.14	0.16-0.30	0.02-0.03	1.30-1.40
Tweede Willemstraat 60	wonen	1935	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.32-1.33
Tweede Willemstraat 60a	wonen	1935	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.32-1.33
Tweede Willemstraat 60b	wonen	1935	0.08-0.15	0.17-0.32	0.02-0.03	1.32-1.33
Tweede Willemstraat 62	wonen	1939	0.09-0.16	0.18-0.34	0.02-0.04	1.36-1.39
Tweede Willemstraat 64	wonen	1939	0.09-0.17	0.18-0.36	0.02-0.04	1.38-1.38
Verlengde J. A. Feithstraat 23	wonen	1939	0.11-0.20	0.20-0.39	0.02-0.04	1.26-1.32
Verlengde J. A. Feithstraat 23a	wonen	1939	0.11-0.20	0.20-0.39	0.02-0.04	1.26-1.32
Verlengde J. A. Feithstraat 24	wonen	1939	0.12-0.22	0.21-0.41	0.02-0.04	1.37-1.39
Verlengde J. A. Feithstraat 25	wonen	1939	0.12-0.22	0.21-0.41	0.02-0.04	1.37-1.39

Verlengde J. A. Feithstraat 25a	wonen	1939	0.12-0.22	0.21-0.41	0.02-0.04	1.37-1.39
Verlengde J. A. Feithstraat 26	wonen	1939	0.11-0.21	0.21-0.41	0.02-0.04	1.41-1.41
Verlengde J. A. Feithstraat 26a	wonen	1939	0.11-0.21	0.21-0.41	0.02-0.04	1.41-1.41
Verlengde Lodewijkstraat 7	kantoor	1991	0.13-0.23	0.25-0.38	0.03-0.04	1.36-1.38
Verlengde Oosterweg 1	wonen	1915	0.10-0.19	0.25-0.49	0.03-0.05	1.44-1.50
Verlengde Oosterweg 10	wonen	1915	0.10-0.18	0.19-0.44	0.02-0.05	1.33-1.40
Verlengde Oosterweg 10a	wonen	1915	0.10-0.18	0.19-0.44	0.02-0.05	1.33-1.40
Verlengde Oosterweg 12	wonen	1915	0.10-0.18	0.25-0.48	0.03-0.05	1.37-1.48
Verlengde Oosterweg 14	wonen	1915	0.09-0.18	0.25-0.48	0.03-0.05	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 18	wonen	1934	0.09-0.17	0.20-0.38	0.02-0.04	1.31-1.33
Verlengde Oosterweg 18a	wonen	1934	0.09-0.17	0.20-0.38	0.02-0.04	1.31-1.33
Verlengde Oosterweg 18b	wonen	1934	0.09-0.17	0.20-0.38	0.02-0.04	1.31-1.33
Verlengde Oosterweg 2	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 20	wonen	1936	0.09-0.17	0.19-0.37	0.02-0.04	1.28-1.33
Verlengde Oosterweg 20a	wonen	1936	0.09-0.17	0.19-0.37	0.02-0.04	1.28-1.33
Verlengde Oosterweg 21	wonen	1938	0.09-0.16	0.25-0.42	0.03-0.04	1.44-1.45
Verlengde Oosterweg 21a	wonen	1938	0.09-0.16	0.25-0.42	0.03-0.04	1.44-1.45
Verlengde Oosterweg 23	wonen	1938	0.09-0.16	0.25-0.42	0.03-0.04	1.44-1.45
Verlengde Oosterweg 25	wonen	1915	0.08-0.15	0.22-0.43	0.02-0.05	1.43-1.46
Verlengde Oosterweg 27	wonen	1915	0.08-0.15	0.22-0.42	0.02-0.05	1.39-1.40
Verlengde Oosterweg 29	wonen	1915	0.08-0.15	0.22-0.42	0.02-0.04	1.40-1.44
Verlengde Oosterweg 2a	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2b	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2c	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2d	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2e	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2f	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 2g	wonen	1989	0.12-0.21	0.21-0.31	0.02-0.03	1.41-1.45
Verlengde Oosterweg 3	wonen	1895	0.10-0.18	0.25-0.48	0.03-0.05	1.45-1.50
Verlengde Oosterweg 5	wonen	1939	0.10-0.18	0.19-0.37	0.02-0.04	1.37-1.46
Verlengde Oosterweg 5a	wonen	1939	0.10-0.18	0.19-0.37	0.02-0.04	1.37-1.46
Verlengde Oosterweg 6	wonen	1915	0.11-0.20	0.21-0.47	0.02-0.05	1.38-1.42
Verlengde Oosterweg 6a	wonen	1915	0.11-0.20	0.21-0.47	0.02-0.05	1.38-1.42
Verlengde Oosterweg 8	wonen	1915	0.10-0.19	0.20-0.46	0.02-0.05	1.35-1.42
Verlengde Oosterweg 8a	wonen	1915	0.10-0.19	0.20-0.46	0.02-0.05	1.35-1.42
Verlengde Willemstraat 10	wonen	1906	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.34-1.37
Verlengde Willemstraat 10-1	wonen	1906	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.34-1.37
Verlengde Willemstraat 11	wonen	1906	0.11-0.22	0.29-0.56	0.03-0.06	1.37-1.37
Verlengde Willemstraat 12	wonen	1906	0.11-0.22	0.29-0.56	0.03-0.06	1.33-1.37
Verlengde Willemstraat 14	wonen	1906	0.12-0.22	0.29-0.56	0.03-0.07	1.30-1.38
Verlengde Willemstraat 15	wonen	1915	0.12-0.22	0.29-0.57	0.03-0.07	1.33-1.41
Verlengde Willemstraat 16	wonen	1915	0.12-0.23	0.30-0.57	0.03-0.07	1.33-1.41
Verlengde Willemstraat 17	wonen	1895	0.12-0.24	0.30-0.58	0.03-0.07	1.32-1.38
Verlengde Willemstraat 3	wonen	1895	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.42-1.45
Verlengde Willemstraat 3a	wonen	1895	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.42-1.45
Verlengde Willemstraat 4	wonen	1915	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.41-1.44
Verlengde Willemstraat 5	wonen	1906	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.41-1.44
Verlengde Willemstraat 6	wonen	1895	0.12-0.22	0.28-0.55	0.03-0.06	1.41-1.44
Verlengde Willemstraat 7	wonen	1906	0.12-0.22	0.28-0.55	0.03-0.06	1.38-1.41

Verlengde Willemstraat 8	wonen	1920	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.38-1.41
Verlengde Willemstraat 8a	wonen	1920	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.38-1.41
Verlengde Willemstraat 9	wonen	1915	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.38-1.41
Verlengde Willemstraat 9a	wonen	1915	0.12-0.22	0.29-0.55	0.03-0.06	1.38-1.41
Waterloolaan 29	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 30	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 31	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 32	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 33	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 34	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 35	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 36	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 37	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 38	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 39	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 40	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 41	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 42	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 43	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 44	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 45	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 46	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 47	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 48	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 49	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 50	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 51	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Waterloolaan 52	wonen	1983	0.13-0.27	0.27-0.40	0.03-0.05	1.25-1.36
Willemstraat 58	wonen	1866	0.08-0.14	0.18-0.35	0.02-0.04	1.25-1.32
Willemstraat 60	wonen	1866	0.07-0.14	0.19-0.36	0.02-0.04	1.29-1.42
Willemstraat 62	wonen	1866	0.08-0.15	0.20-0.38	0.02-0.04	1.31-1.33
Willemstraat 63	wonen	1870	0.07-0.14	0.19-0.36	0.02-0.04	1.38-1.48
Willemstraat 65	wonen	1870	0.08-0.14	0.19-0.37	0.02-0.04	1.37-1.46
Willemstraat 66	wonen	1866	0.08-0.16	0.20-0.39	0.02-0.04	1.30-1.37
Willemstraat 68	wonen	1866	0.08-0.16	0.21-0.41	0.02-0.04	1.36-1.37
Willemstraat 69	wonen	1915	0.08-0.15	0.21-0.40	0.02-0.04	1.37-1.38
Willemstraat 70	wonen	1866	0.09-0.17	0.22-0.42	0.02-0.04	1.35-1.39
Willemstraat 71	wonen	1870	0.08-0.16	0.21-0.41	0.02-0.04	1.41-1.41
Willemstraat 72	wonen	1866	0.09-0.17	0.22-0.43	0.02-0.05	1.34-1.38
Willemstraat 73	wonen	1870	0.09-0.16	0.22-0.43	0.02-0.04	1.43-1.43
Willemstraat 74	wonen	1866	0.10-0.18	0.23-0.45	0.02-0.05	1.36-1.48
Willemstraat 75	wonen	1870	0.09-0.17	0.23-0.45	0.02-0.05	1.41-1.45
Willemstraat 76	wonen	1866	0.10-0.19	0.24-0.46	0.02-0.05	1.39-1.47
Willemstraat 77	wonen	1870	0.10-0.18	0.24-0.46	0.02-0.05	1.44-1.48
Willemstraat 78	wonen	1939	0.11-0.20	0.20-0.39	0.02-0.04	1.33-1.34
Willemstraat 79	wonen	1870	0.10-0.19	0.25-0.48	0.03-0.05	1.45-1.47
Willemstraat 81	wonen	1870	0.11-0.20	0.26-0.49	0.03-0.05	1.44-1.48

Bijlage III Trillingssituatie na realisatie, Tuinwijk

De opstallen in Tuinwijk zijn geen formele verblijfsobjecten en hebben daarom geen adres. In dit onderzoek heeft elke opstal daarom een uniek nummer gekregen, zie Figuur III-1.



Figuur III-1 Gehanteerde opstalnummers in Tuinwijk

Voor de opstallen waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht (nummers 5 tot en met 27 en 37 tot en met 48), is per nummer de trillingssituatie na realisatie van het project weergegeven in Tabel III-1 met een betrouwbaarheidsinterval van 90 procent.

Tabel III-1 Voorspelling trillingssituatie op maaiveld, Tuinwijk

Nummer	Vmax	Maaiveld	
		Vper	Toename
5	0.11-0.15	<0.01-0.02	1.23-1.31
6	0.11-0.15	<0.01-0.02	1.23-1.32
7	0.10-0.14	<0.01-0.02	1.24-1.34
8	0.25-0.35	0.03-0.06	1.21-1.31
9	0.11-0.15	<0.01-0.02	1.24-1.40
10	0.10-0.19	<0.01-0.03	1.26-1.52
11	0.16-0.20	0.02-0.04	1.21-1.31
12	0.12-0.17	0.01-0.03	1.18-1.53
13	0.10-0.15	<0.01-0.02	1.22-1.54
14	0.17-0.22	0.02-0.05	1.13-1.40
15	0.11-0.16	<0.01-0.02	1.23-1.53
16	0.18-0.23	0.02-0.05	1.15-1.40

17	0.11-0.16	<0.01-0.02	1.26-1.54
18	0.13-0.18	0.01-0.03	1.36-1.55
19	0.15-0.21	0.02-0.05	1.40-1.55
20	0.13-0.18	0.01-0.03	1.32-1.55
21	0.10-0.14	<0.01-0.02	1.26-1.54
22	0.12-0.16	0.01-0.02	1.28-1.54
23	0.10-0.14	<0.01-0.02	1.20-1.52
24	0.13-0.17	0.01-0.03	1.18-1.46
25	0.11-0.14	<0.01-0.02	1.14-1.35
26	0.27-0.35	0.04-0.06	1.10-1.31
27	0.09-0.12	<0.01-0.01	1.13-1.32
37	0.07-0.10	<0.01	1.15-1.31
38	0.07-0.10	<0.01	1.17-1.32
39	0.07-0.09	<0.01	1.18-1.34
40	0.07-0.10	<0.01	1.18-1.34
41	0.07-0.10	<0.01	1.18-1.34
42	0.07-0.10	<0.01	1.19-1.34
43	0.07-0.09	<0.01	1.20-1.35
44	0.07-0.09	<0.01	1.20-1.35
45	0.06-0.08	<0.01	1.19-1.34
46	0.06-0.08	<0.01	1.18-1.34
47	0.07-0.09	<0.01	1.18-1.33
48	0.07-0.09	<0.01	1.16-1.32

Bijlage IV Trillingssituatie na realisatie, omgeving Rouaanstraat

Voor de gebouwen in de omgeving van de Rouaanstraat waar een voelbare toename in trillingssterkte wordt verwacht, is per adres de trillingssituatie na realisatie van het project weergegeven in Tabel IV-1 met een betrouwbaarheidsinterval van 90 procent.

Tabel IV-1 *Voorspelling trillingssituatie in gebouwen, omgeving Rouaanstraat*

Adres	Functie	Bouwjaar	Fundering	Vloer bovenste verdieping		
			Vmax	Vmax	Vper	Toename
Rouaanstraat 19	kantoor	1971	0.09-0.18	0.23-0.35	0.02-0.04	1.30-1.41
Rouaanstraat 21	kantoor	1968	0.08-0.17	0.17-0.26	0.02-0.02	1.37-1.47
Rouaanstraat 23	kantoor	2000	0.11-0.24	0.24-0.35	0.02-0.03	1.40-1.56
Rouaanstraat 23a	kantoor	2000	0.11-0.24	0.24-0.35	0.02-0.03	1.40-1.56
Rouaanstraat 23b	kantoor	2000	0.11-0.24	0.24-0.35	0.02-0.03	1.40-1.56
Rouaanstraat 23c	kantoor	2000	0.11-0.24	0.24-0.35	0.02-0.03	1.40-1.56
Rouaanstraat 23-2	kantoor	1995	0.11-0.24	0.37-0.55	0.03-0.05	1.41-1.54
Rouaanstraat 25	kantoor	1970	0.09-0.20	0.25-0.38	0.02-0.03	1.36-1.48