

29 May 2015- Versie 5.0

Samenvatting

In het voorliggende trillingsonderzoek is de trillingssituatie bepaald voor de referentie- (2014) en plansituatie (in het jaar 2018, na realisatie van het extra spoor bij Emmen-Zuid) voor gebouwen in de omgeving van station Emmen-Zuid. Op basis van metingen en berekeningen wordt de trillingssituatie in de referentie- en plansituatie voor alle eerstelijnsgebouwen in het onderzoeksgebied weergegeven.

Uit het onderzoek volgt dat het project tot een overschrijding van de SBR B-richtlijn leidt in vier woningen aan de Sierduif en de Tortelduif in Emmen. Overigens leidt het project nergens tot een voelbare toename in trillingshinder, de toename in trillingssterkte is overal kleiner dan 30 procent.

Gezien deze overschrijdingen van het beoordelingskader is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Op basis van de hoge kosten van maatregelen en de relatief grote afstand tussen de woningen, is het aantal kosteneffectieve maatregelen beperkt. Alleen het aanpassen van het spoorontwerp, het verdiepen van de spoorvloer en het aanpassen van de ongunstige overdrachtskarakteristieken van de woningen zijn maatregelen waarvan de kosten mogelijk lager zijn dan het richtbedrag per woning van € 47.000.

Het aanpassen van het spoorontwerp, bijvoorbeeld door het verplaatsen van de wissels, leidt niet tot een reductie in aantal woningen waar het beoordelingskader wordt overschreden en is daarmee niet kosteneffectief. Het verdiepen van de spoorvloer tot een diepte van 7.3 meter leidt wel tot een reductie in aantal woningen waar het beoordelingskader wordt overschreden, maar de kosten van deze maatregel zijn aanzienlijk hoger dan € 47.000 per woning. Bovendien leidt deze maatregel tot een sterke reductie van de oppervlakte van het park en zijn er risico's ten aanzien van de taludstabiliteit, gezien de grote diepte van de vloer.

Uit de metingen blijkt ook dat vrijwel alle onderzochte woningen ongunstige gebouweigenschappen kennen, waardoor de trillingen van goederentreinen fors worden versterkt. Door het aanpassen van de gebouweigenschappen kan de trillingssterkte worden gereduceerd tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn voor gebouwen met meer dan een bouwlaag. De kosten van aanpassingen aan de woningen bedragen naar schatting ca. € 30.000 tot € 60.000 per gebouw. De verwachting is dat met dergelijke maatregelen de trillingssterkte in drie van de vier woningen kan worden gereduceerd tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Voor Sierduif 15 vormen constructieve aanpassingen geen afdoende oplossing, dit gebouw heeft slechts een bouwlaag. Nadeel van deze maatregel is de grote impact ervan op de bewoners. Bewoners kunnen gedurende een periode van minimaal enkele weken niet in hun woning verblijven, bovendien leiden maatregelen aan de bebouwing vrijwel in alle gevallen tot blijvende wijzigingen in de indeling van de woning.

Bijlage 5 van de SBR B-richtlijn geeft aanvullende richtlijnen om de trillingssterkte V_{\max} van weg- en railverkeer te beoordelen op hinderlijkheid bij overschrijding van de streefwaarden. Voor het huidige onderzoeksgebied geldt dat de berekende trillingssterkte geclassificeerd wordt als matige hinder, slechts incidenteel voorkomt bij goederentreinpassages en dat de trillingssterkte op geen enkele locatie voelbaar toeneemt. Verder geldt dat mitigerende maatregelen aan het spoor of tussen de woningen en het spoor zeer hoge kosten met zich mee brengen, terwijl het aanpassen van de woningen tot ernstige hinder voor de omwonenden leidt. Op basis van de historische aanwezigheid van trillingen in het onderzoeksgebied, de niet-voelbare toename in trillingssterkte ten gevolge van het project met de bestaande jurisprudentie daaromtrent en de grote impact van maatregelen aan de bebouwing op de omwonenden, adviseren wij daarom om geen maatregelen toe te passen.

Begrippenlijst

SBR-richtlijn	Door de Stichting BouwResearch opgestelde richtlijn om trillingen te beoordelen. De richtlijn bestaat uit 3 delen: <ul style="list-style-type: none">• Deel A: schade aan gebouwen;• Deel B: hinder voor personen in gebouwen;• Deel C: verstoring van apparatuur.
Referentiesituatie	Huidige situatie. In dit onderzoek wordt als jaartal 2014 gehanteerd
Plansituatie	Situatie die ontstaat in het planjaar 2018 na realisatie van het extra spoor.
OTC	Ondergrondse Trillingsreducerende Constructie, een constructie in de bodem waarmee trillingen worden gedempt of gereflecteerd, zodat in de bebouwing achter deze constructie minder trillingshinder wordt ervaren
V_{max}	Maximaal optredende trillingssterkte gedurende de meetperiode, bepaald conform de SBR B-richtlijn. De trillingssterkte neemt niet toe bij een groter aantal treinen.
V_{per}	Trillingsintensiteit gedurende de dagperiode (7:00 tot 19:00), avondperiode (19:00 tot 23:00) of nachtperiode (23:00 tot 7:00). De trillingsintensiteit is te vergelijken met het tijdsgemiddelde van de trillingen, waarbij hoge trillingssterktes zwaarder meetellen dan lagere trillingssterktes. De trillingsintensiteit neemt toe bij een groter aantal treinen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Begrippenlijst	3
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond van dit rapport	6
1.2 Doel van het onderzoek	6
1.3 Algemeen onderzoekskader	6
1.4 Toegepaste kaders en uitgangspunten	6
1.5 Opzet van het onderzoek	6
1.6 Leeswijzer	7
2 Situatiebeschrijving	8
2.1 Onderzoeksgebied	8
2.2 Referentiesituatie	8
2.3 Plansituatie	8
2.3.1. <i>Uitgangspunten</i>	8
2.3.2. <i>Spoorgebruik</i>	9
2.3.3. <i>Treinsnelheid</i>	9
2.3.4. <i>Treinintensiteit</i>	9
2.3.5. <i>Taludgeometrie</i>	9
3 Opzet trillingsonderzoek	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Selectie maatgevende woning	10
3.3 Uitvoeren metingen	12
3.4 Berekenen referentie- en plansituatie	12
3.5 Beoordelen trillingssituatie	13
3.6 Maatregelenonderzoek	13
4 Beoordelingskader trillingshinder	14
4.1 Inleiding	14
4.2 Algemeen	14
4.3 Streefwaarden	15
4.4 Beoordeling van trillingssituatie	15
5 Meetresultaten	17
5.1 Meetresultaten Sierduif	17
5.2 Meetresultaten Sierduif	19
5.3 Meetresultaten Sierduif	20
5.4 Meetresultaten Tortelduif	21
5.5 Meetresultaten Tortelduif	22
5.6 Meetresultaten Tortelduif	23
5.7 Meetresultaten Tortelduif	24
5.8 Meetresultaten Tortelduif	25
5.9 Meetresultaten Tortelduif	27

5.10	Meetresultaten Tortelduif 43	28
5.11	Meetresultaten Tortelduif 43A	30
5.12	Meetresultaten Tortelduif 44	31
6	Resultaten berekening plansituatie	32
6.1	Resultaten berekening plansituatie	32
6.2	Plansituatie Sierduif 11	32
6.3	Plansituatie Sierduif 13	32
6.4	Plansituatie Sierduif 15	33
6.5	Plansituatie Tortelduif 37	33
6.6	Plansituatie Tortelduif 38	34
6.7	Plansituatie Tortelduif 39	34
6.8	Plansituatie Tortelduif 40	34
6.9	Plansituatie Tortelduif 41	35
6.10	Plansituatie Tortelduif 42	35
6.11	Plansituatie Tortelduif 43	36
6.12	Plansituatie Tortelduif 43A	36
6.13	Plansituatie Tortelduif 44	37
6.14	Samenvatting	37
7	Trillingsmaatregelen	39
7.1	Gevolgde methodiek	39
7.2	Mogelijke maatregelen	40
7.2.1.	<i>Mogelijke maatregelen aan de bron</i>	41
7.2.2.	<i>Mogelijke maatregelen aan de transmissie</i>	42
7.2.3.	<i>Mogelijke maatregelen aan de ontvanger</i>	44
7.3	Onderzochte maatregelen	45
7.3.1.	<i>Verplaatsen wissel</i>	46
7.3.2.	<i>Verdiepen sloot</i>	47
7.3.3.	<i>Aanpassing aan bebouwing</i>	49
7.4	Afweging van maatregelen	49
8	Conclusies en aanbevelingen	51
8.1	Conclusies	52
8.2	Aanbevelingen	53
	Colofon	54

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van dit rapport

Op 12 december 2012 heeft Arriva de treindienst op het traject Zwolle-Emmen overgenomen van NS Reizigers. De nieuwe Arriva-dienstregeling (per 12 december 2012) gaat uit van een kwartierdienst tussen Zwolle en Coevorden in de spitsen op werkdagen. In de dienstregeling van 2018 rijdt de kwartierdienst verder door naar Emmen. Uit een analyse van spoorbeheerder ProRail blijkt dat een passeermogelijkheid noodzakelijk is ter hoogte van station Emmen-Zuid om de gewenste dienstregeling in 2018 mogelijk te maken.

Deze uitbreiding van de sporen leidt ertoe dat een deel van de treinen dichterbij de woningen aan de zuidoostzijde van het tracé komt te rijden. Daarnaast worden wissels gerealiseerd om de overloop van een naar twee sporen mogelijk te maken. Deze infrastructurele wijzigingen kunnen, samen met de toename van het aantal treinen, leiden tot een toename in trillingshinder in gebouwen in de onmiddellijke nabijheid van het spoor. Om de trillingshinder in de huidige en toekomstige situatie vast te stellen ten behoeve van het bestemmingsplan, wordt daarom een trillingsonderzoek uitgevoerd.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om in het gehele onderzoeksgebied, waarbinnen wijzigingen in trillingshinder zijn te verwachten ten gevolge van de realisatie van het extra spoor bij station Emmen-Zuid, de trillingssituatie in de referentie- en plansituatie vast te stellen. Indien er overschrijdingen worden geconstateerd van het beoordelingskader, wordt daarnaast aangegeven welke mitigerende maatregelen kunnen worden overwogen.

1.3 Algemeen onderzoekskader

Het onderzoeksgebied voor het trillingsonderzoek betreft het tracédeel tussen station Nieuw Amsterdam en Emmen, bij station Emmen-Zuid, tussen km 69.50 en 70.50. Alleen binnen dit gebied vinden wijzigingen in sporenlay-out en spoorgebruik plaats. In dit onderzoek wordt alleen de eerstelijnsbebouwing beschouwd, tenzij het onderzoek aanleiding geeft om het onderzoeksgebied uit te breiden.

1.4 Toegepaste kaders en uitgangspunten

De SBR B-richtlijn (trillingshinder voor personen in gebouwen) vormt het beoordelingskader in dit onderzoek.

1.5 Opzet van het onderzoek

De opzet van het onderzoek naar trillingshinder is als volgt:

1. Analyse van de situatie en vaststellen maatgevende woning (woning waarin op basis van de ligging en gebouweigenschappen de sterkste effecten van het project worden verwacht t.a.v. trillingshinder);
2. Uitvoeren van een meting in de maatgevende woning en een maaiveldmeting om de lokale bodemcondities vast te stellen;
3. Uitvoeren van langeduurmeting in de maatgevende woning en metingen in de omliggende woningen (eerstelijnsbebouwing) om de referentiesituatie vast te stellen;
4. Maken van een berekening voor de plansituatie in de maatgevende

- woning en de omliggende woningen in het onderzoeksgebied;
5. Beoordelen van de berekende trillingssituaties per gebouw op het beoordelingskader;
 6. Bij overschrijdingen afwegen van maatregelen.

Een nadere toelichting op de gevolgde aanpak is opgenomen in hoofdstuk 3.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een situatiebeschrijving opgenomen, hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van de onderzoeks aanpak, hoofdstuk 4 het beoordelingskader, hoofdstuk 5 de meetresultaten, hoofdstuk 6 de berekeningsresultaten en hoofdstuk 7 de analyse van trillingsmaatregelen in woningen met een overschrijding.

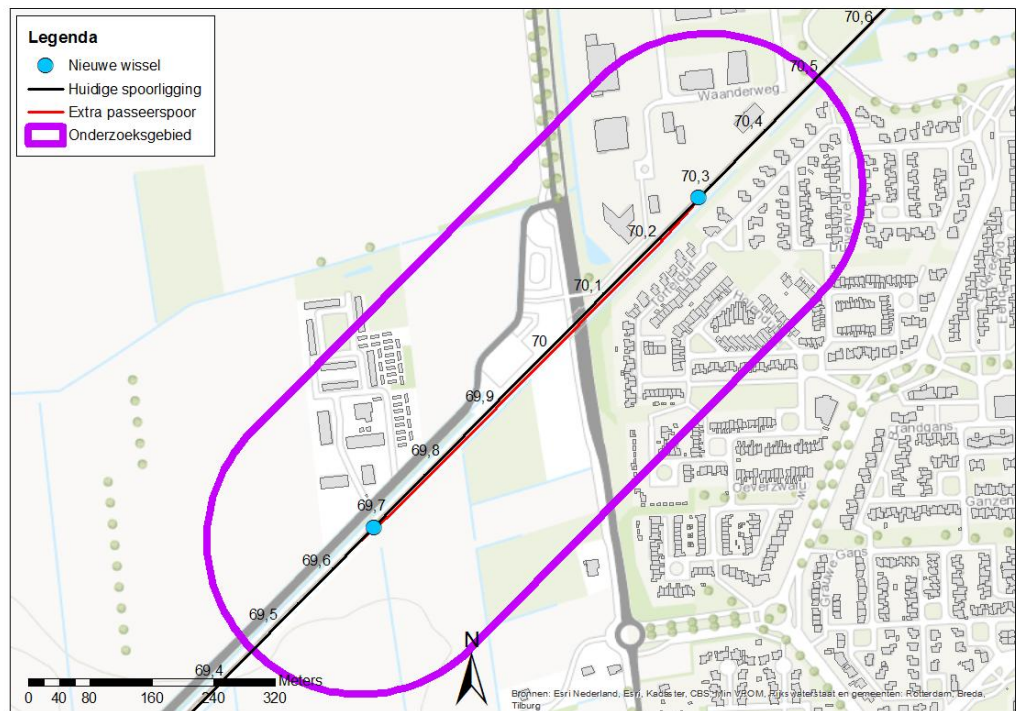
2 Situatiebeschrijving

In het trillingsonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen twee situaties:

1. De referentie- of huidige situatie, conform de sporenlay-out en het spoorgebruik van 2014;
2. De plansituatie in 2018, na realisatie van het extra spoor.

2.1 Onderzoeksgebied

Het tracédeel waarop dit trillingsonderzoek betrekking heeft, is het gebied rond station Emmen-Zuid, tussen km. 69.65 en km 70.29. Omdat de invloed van de wissels aan de uiteinden van dit tracédeel verder reikt, is het onderzoeksgebied groter. In dit trillingsonderzoek wordt een buffer van 200 meter rond het tracédeel waar wijzigingen plaatsvinden, opgenomen. Het onderzoeksgebied voor het trillingsonderzoek is paars gemarkeerd in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Onderzoeksgebied trillingsonderzoek

2.2 Referentiesituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de referentiesituatie. Als referentiesituatie geldt de spoorligging van 2014. De beoordeling van trillingshinder vindt plaats ten opzichte van deze situatie.

De treinaantallen per uur per richting in de referentiesituatie zijn weergegeven in Tabel 2-2.

2.3 Plansituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie rond Emmen-Zuid in 2018. De belangrijkste wijzigingen zijn veranderingen in spoorgebruik en sporenlay-out, en daarnaast het toegenomen aantal treinen.

2.3.1. Uitgangspunten

Voor de plansituatie is in het trillingsonderzoek gebruik gemaakt van de in

Tabel 2-1 weergegeven documenten.

Tabel 2-1 Gebruikte documenten voor plansituatie

- 1 *Geotechnisch onderzoek en milieukundig veldwerk ten behoeve van halte en onderdoorgang Emmen Zuid 'Delftlanden' te Emmen*, De Ruiter Boringen en Bemalingen .bv, kenmerk MBO/DDH/BB071502/3840383/21-8-2007.
- 2 Tekening: *Dwarsprofiel Emmen Zuid, Spoorverdubbeling station Emmen Zuid*, ARCADIS, D02041.000286, 2-012101, versie A, 17-04-2013.
- 3 Tekening: *Situatietekening station Emmen, Spoorverdubbeling station Emmen Zuid*, ARCADIS, D02041.000283, 2-012001, versie A, 16-04-2013.
- 4 *Klanteisenspecificatie Emmen Zuid, Infra-uitbreiding en stationsaanpassingen ten behoeve van treindienst Zwolle-Emmen*, ProRail, versie 1.1, 30 juni 2014

2.3.2. Spoorgebruik

Het spoorgebruik in de plansituatie wijzigt licht ten opzichte van de huidige situatie. Door de ingebruikname van het passeerspoor zullen reizigerstreinen richting Emmen gebruik maken van het nieuwe spoor. Goederentreinen en reizigerstreinen richting Coevorden blijven gebruik maken van het huidige spoor.

2.3.3. Treinsnelheid

Het project leidt niet tot significante wijzigingen in treinsnelheid. Doorgaande goederentreinen kennen geen wijziging in treinsnelheid ten gevolge van het project, voor de reizigerstreinen is de wijziging in treinsnelheid niet-significant.

De invloed van doorgaande reizigerstreinen, die met hogere snelheid passeren (120 km/h) en niet halteren op station Emmen-Zuid, wordt ook onderzocht. Op dit moment zijn hier echter geen concrete plannen voor.

2.3.4. Treinintensiteit

De treinintensiteiten in de referentie- en plansituatie zijn weergegeven in Tabel 2-2. In deze tabel staat *Ref* voor referentiesituatie en *Plan* voor plansituatie. De treinaantallen zijn gemiddeld over het jaar. Het project voorziet in een verdubbeling van het aantal reizigerstreinen per uur, met name in de spitsuren. Het project voorziet niet in een wijziging in het aantal goederentreinen, dit blijft ongewijzigd ten opzichte van de referentiesituatie.

Tabel 2-2 Treinaantallen per uur per richting

Treintype en verbinding	Dag		Avond		Nacht	
	(7:00 – 19:00)		(19:00 – 23:00)		(23:00 – 7:00)	
	Ref	Plan	Ref	Plan	Ref	Plan
Stoptrein Zwolle-Emmen v.v.	2.00	4.00	2.00	4.00	0.50	1.00
Goederen Hengelo-Emmen v.v.	0.09	0.09	0.09	0.09	0.06	0.06

2.3.5. Taludgeometrie

De geometrie van het talud aan de zuidoostzijde van het onderzoeksgebied wordt gewijzigd in verband met de realisatie van het extra spoor. De vorm van het talud wordt niet gewijzigd, maar verschuift enkele meters naar het zuidoosten. Deze wijziging heeft geen invloed op de trillingen in de woningen, en wordt daarom in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

3 Opzet trillingsonderzoek

3.1 Inleiding

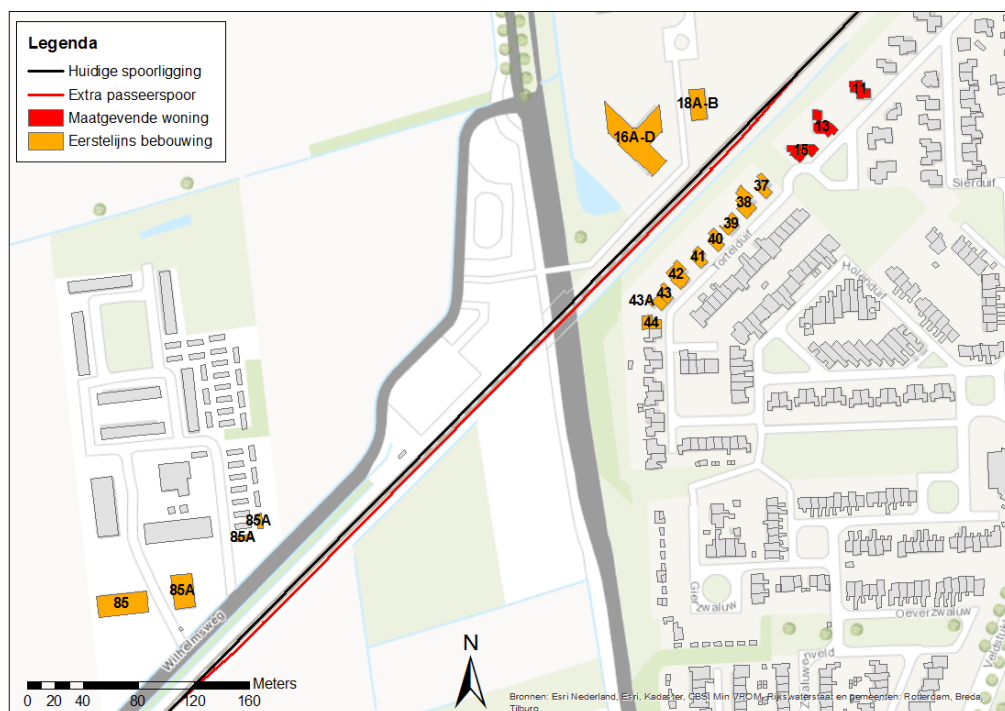
Dit onderzoek bestaat uit een aantal stappen, zoals reeds eerder is aangegeven in hoofdstuk 1. De volgende stappen worden doorlopen:

1. Analyse van de situatie en vaststellen maatgevende woning (woning waarin op basis van de ligging en gebouweigenschappen de sterkste effecten van het project worden verwacht t.a.v. trillingshinder);
2. Uitvoeren van een maaiveldmeting om de lokale bodemcondities vast te stellen;
3. Uitvoeren van een langeduurmeting in de maatgevende woning en gelijktijdig metingen met een looptijd van een dag in de omliggende woningen in de eerste lijn om voor elk van deze woningen een nauwkeurige vaststelling van de huidige en toekomstige trillingssituatie te kunnen maken;
4. Maken van een berekening voor de plansituatie in woningen in het onderzoeksgebied waar een overschrijding van het beoordelingskader niet op voorhand kan worden uitgesloten;
5. Beoordelen van de berekende trillingssituaties per gebouw op het beoordelingskader;
6. Bij overschrijdingen afwegen van maatregelen op basis van expert judgment.

Een nadere toelichting op elk van deze stappen is opgenomen in de paragrafen hieronder.

3.2 Selectie maatgevende woning

Een overzicht van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 3-1. De eerstelijnsbebouwing in het onderzoeksgebied, zoals weergegeven in Figuur 2-1, is gemarkeerd. De huisnummers zijn eveneens weergegeven.



Figuur 3-1 *Overzicht projectgebied met eerstelijnsbebouwing en maatgevende woning*

Alle niet-gemarkeerde woningen worden in eerste instantie buiten beschouwing gelaten, omdat daar geen toename in trillingssterkte wordt verwacht en de trillingssterkte naar verwachting lager is dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Wanneer uit de meetresultaten blijkt dat de invloed van het project verder reikt dan de gemarkeerde bebouwing, dan zullen ook deze woningen worden beschouwd.

De maatgevende woning is geselecteerd op basis van afstand tot het spoor in de huidige en toekomstige situatie, afstand tot de wissels, gebouwkenmerken en gebouwbestemming. Deze gegevens zijn opgenomen in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 *Gebouwkenmerken en afstanden tot het spoor*

Adres	Bestemming	Bouwjaar	Bouwlagen	Afstand tot spoor		Afstand tot wissel	
				Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst
Wilhelmsweg 85	Wonen	2000	1	60.8	60.8	--	62.6
Wilhelmsweg 85A	Wonen	2000	1	60.8	60.8	--	57.0
Wilhelmsweg 85A	Wonen	2011	1	44.1	44.1	--	104.8
Wilhelmsweg 85A	Wonen	2011	1	44.2	44.2	--	124.0
Waanderweg 16A-D	Kantoor	2005	2	23.6	23.6	--	95.5
Waanderweg 18A-B	Kantoor	2008	2	23.5	23.5	--	55.3
Sierduif 11	Wonen	1991	3	30.7	30.7	--	51.4
Sierduif 13	Wonen	1992	2	25.9	25.1	--	27.1
Sierduif 15	Wonen	1990	1	31.3	28.7	--	39.1
Tortelduif 37	Wonen	1991	2	31.7	26.9	--	59.8
Tortelduif 38	Wonen	1991	1	27.8	23.0	--	72.6

Adres	Bestemming	Bouwjaar	Bouwlagen	Afstand tot spoor		Afstand tot wissel	
				Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst
Tortelduif 39	Wonen	1991	2	37.1	32.3	--.	93.5
Tortelduif 40	Wonen	1991	3	35.5	30.7	--.	108.9
Tortelduif 41	Wonen	1991	2	36.4	31.6	--.	125.8
Tortelduif 42	Wonen	1992	1	32.5	27.7	--.	141.7
Tortelduif 43	Wonen	1992	3	37.4	32.6	--.	160.9
Tortelduif 43A	Wonen	1992	3	37.3	32.5	--.	175.8
Tortelduif 44	Wonen	1992	3	42.8	38.0	--.	189.3

De grootste toename in trillingshinder wordt op basis van de ligging van de bebouwing verwacht in de nabijheid van Sierduif 13. Wanneer ook de bouwhoogte, bouwstijl en constructiewijze worden meegenomen, zijn zowel Sierduif 11, 13 en 15 als maatgevende woningen te kenmerken.

3.3 Uitvoeren metingen

De volgende stap is het uitvoeren van een meting in een van de maatgevende woningen. In verband met de beschikbaarheid van bewoners is de meting uitgevoerd in Sierduif 11. Deze meting is bedoeld om de huidige trillingssituatie of referentiesituatie in de woning vast te stellen. Gezien het onregelmatige patroon van goederentreinen en het beperkte aantal goederentreinen is voor een werkduur van een week gekozen, gebaseerd op de bepaling in par. 8.4.3 van de SBR B-richtlijn.

De meting is uitgevoerd conform de SBR B-richtlijn, met meetpunten op de hoogst bewoonde verdieping, in het midden van het vloerveld, en op enkele andere punten in het gebouw, zoals op een stijf punt bij de fundering.

De gemeten trillingssignalen zijn verwerkt conform de procedure in Bijlage III.

Tussen de Sierduif en de Tortelduif is een maaiveldmeting uitgevoerd om de uitdemping van de trillingen van het treinverkeer met de afstand tot het spoor op deze locatie te bepalen. Deze parameters zijn van belang om de invloed van het extra spoor en het nieuwe wissel te bepalen, alsmede de lokale bodemeigenschappen.

Vervolgens zijn in de omliggende woningen waar een overschrijding van het beoordelingskader niet op voorhand kan worden uitgesloten, metingen uitgevoerd met een looptijd van een dag, terwijl tegelijkertijd in de maatgevende woning is gemeten. Deze metingen zijn uitgevoerd met een looptijd van een dag en eveneens meetpunten op de hoogst bewoonde verdieping (in het midden van het vloerveld) en op een stijf punt bij de fundering. Met behulp van deze metingen kan de langeduurmeting in de maatgevende woning 'vertaald' worden naar een langeduurmeting in de overige woningen. Op deze manier ontstaat voor alle woningen een nauwkeurige vaststelling van de huidige en toekomstige trillingssterktes.

3.4 Berekenen referentie- en plansituatie

Uit de resultaten van de gelijktijdige metingen in de maatgevende woning en de

overige woningen zijn relaties bepaald tussen het effect van passerende treinen in de maatgevende woning en de overige woningen. De referentiesituatie voor de overige woningen kan vervolgens worden gereconstrueerd door de gevonden relaties op de referentiesituatie van de maatgevende woning toe te passen.

Vervolgens worden vanuit de gemeten en gereconstrueerde referentiesituaties de plansituaties voor alle woningen bepaald. Dit gebeurt aan de hand van de wijzigingen in sporenlay-out en spoorgebruik in de plansituatie en de resultaten van de maaiveldmeting. Het gebruikte rekenmodel is weergegeven in Bijlage II.

Naast de voorgestelde plansituatie worden ook berekeningen gemaakt voor de trillingssituatie in het onderzoeksgebied bij een plansituatie met aangepaste snelheden voor reizigerstreinen, in de situatie dat niet alle reizigerstreinen halteren op station Emmen-Zuid. Het rekenmodel in Bijlage II wordt hierbij gebruikt.

3.5 Beoordelen trillingssituatie

Per woning wordt de trillingssituatie beoordeeld op het beoordelingskader, de SBR B-richtlijn.

3.6 Maatregelenonderzoek

Voor de locaties met overschrijdingen wordt op basis van expert judgment aangegeven welke maatregelen voldoende mitigerend vermogen hebben, wat het ruimtebeslag van deze maatregelen is en wat de kosten hiervan zijn. Deze kosten worden gegeven met een bandbreedte.

Alleen die maatregelen worden in overweging genomen waarbij de kosten per woning lager zijn dan het richtbedrag van maximaal € 47.000 per woning. Dit bedrag wordt doorgaans gehanteerd als richtbedrag in doelmatigheidsafwegingen bij trillingsonderzoeken.

4 Beoordelingskader trillingshinder

4.1 Inleiding

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

De SBR richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

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

In dit onderzoek wordt verstoring aan apparatuur niet onderzocht. Voor het onderzoek naar trillingshinder wordt gebruik gemaakt van de SBR B-richtlijn. Schade aan gebouwen ten gevolge van het treinverkeer is voor de gebouwen in het onderzoeksgebied (allen categorie 1 of 2 uit de SBR A-richtlijn) niet te verwachten. In dit onderzoek wordt daarom alleen gefocust op hinder aan personen in gebouwen.

4.2 Algemeen

De SBR trillingsrichtlijn deel B wordt gebruikt om de streefwaarden ten aanzien van hinder te bepalen. Bij de SBR B-richtlijn zijn drie verschillende streefwaarden gedefinieerd. De betekenis van deze drie streefwaarden is weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Definitie streefwaarden volgens SBR B-richtlijn

Streefwaarde	Omschrijving
A1	Streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}
A2	Hoogste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}
A3	Streefwaarde voor de trillingsintensiteit V_{per} . V_{per} wordt groter naarmate de trilling vaker per uur optreedt

De gemeten grootheden zijn de effectieve trillingsnelheid V_{max} , een dimensieloze indicatie van de trillingssterkte, en de trillingsintensiteit V_{per} .

Conform de richtlijn wordt de effectieve trillingsnelheid bepaald als voortschrijdend gemiddelde per 30 seconden, zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn. Vervolgens wordt per 30 seconden de maximale waarde van dit voortschrijdend gemiddelde genomen. De hoogst gemeten waarde is de trillingssterkte V_{max} . Deze V_{max} wordt vervolgens beoordeeld op de van toepassing zijnde streefwaarde.

V_{per} geeft een indicatie van de trillingsintensiteit. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0,1 valt.

Trillingssnelheden onder de 0,1 zijn nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van de V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0,1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn.

4.3 Streefwaarden

De streefwaarden in de SBR B-richtlijn verschillen over de dag en avond (7.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur) en per gebouwfunctie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen met een *kritische werkruimte* (gevoelige apparatuur e.d.), *gezondheidszorg* en *wonen* en tenslotte voor *kantoren* en gebouwen ten behoeve van *bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere streefwaarden.

Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe, bestaande en gewijzigde situaties. Bij dit project is reeds sprake van bestaande trillingsbronnen (treinen), zodat sprake is van een gewijzigde situatie. De streefwaarden voor A1, A2 en A3 voor nieuwe en bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn zijn weergegeven in Tabel 4-2 resp. Tabel 4-3.

Tabel 4-2 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

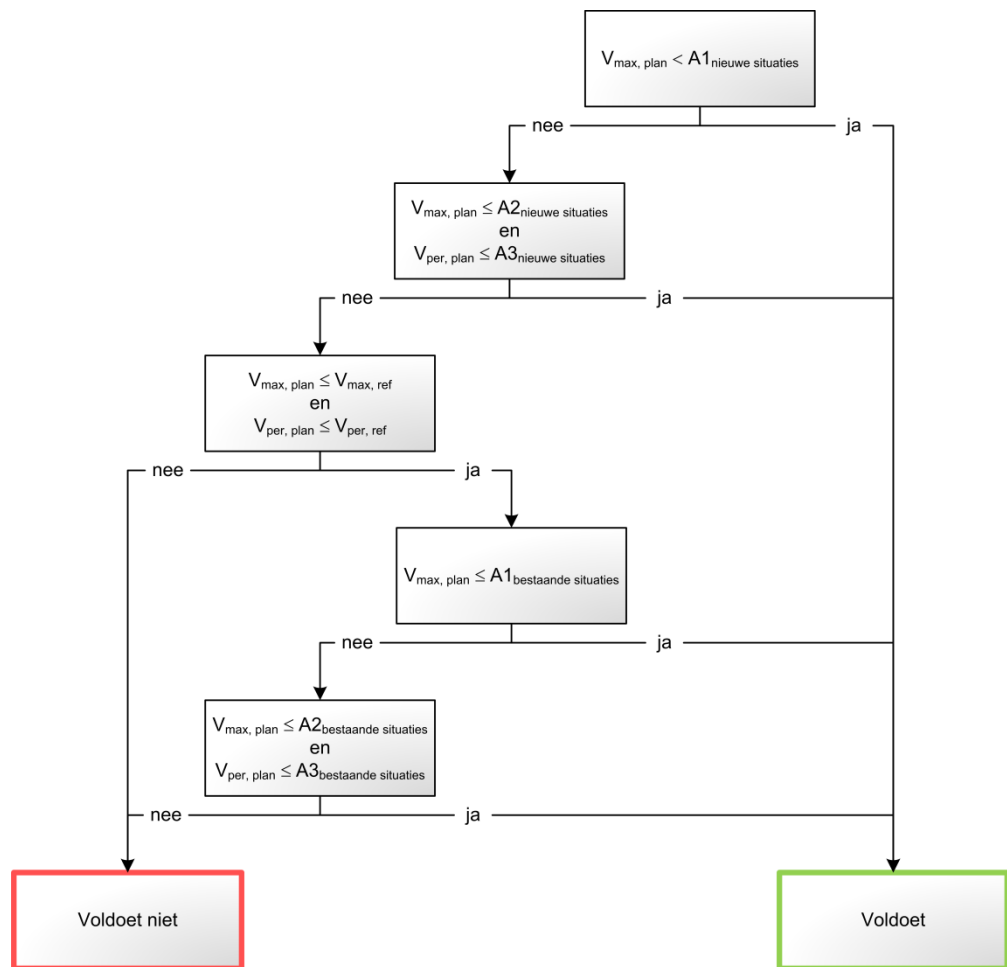
Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische werkruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

Tabel 4-3 Streefwaarden bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische werkruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

4.4 Beoordeling van trillingssituatie

Voor het beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de SBR B-richtlijn voor gewijzigde situaties moet het schema in Figuur 4-1 worden doorlopen.



Figuur 4-1 Stroomschema interpretatie toetsingswaarden A1, A2 en A3 voor gewijzigde situaties

Wanneer de berekende trillingen voor de plansituatie lager zijn dan de streefwaarden voor een nieuwe situatie (zie Tabel 4-2), dan voldoet de locatie. Wanneer dit niet het geval is, kan via een tweede mogelijkheid de locatie alsnog voldoen. In dat geval mogen de trillingssterkte en trillingsintensiteit niet toenemen ten gevolge van het project, bovendien moeten de berekende trillingen voor de plansituatie lager zijn dan de streefwaarden voor een bestaande situatie (zie Tabel 4-3).

De beoordeling op de streefwaarden voor een nieuwe of bestaande situatie gaat als volgt: een locatie voldoet wanneer de trillingssterkte lager is dan de A1-streefwaarde, of wanneer de trillingssterkte lager is dan de A2-streefwaarde en de trillingsintensiteit lager is dan de A3-streefwaarde.

Voor alle meetlocaties wordt het beoordelingsschema in Figuur 4-1 doorlopen.

5 Meetresultaten

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de metingen die zijn uitgevoerd voor de maatgevende woning en de overige gebouwen in de eerste lijn vanaf het spoor. Voor elk gebouw worden achtereenvolgens de meetresultaten, de berekende resultaten voor de referentiesituatie en de beoordeling op de SBR B-richtlijn toegelicht.

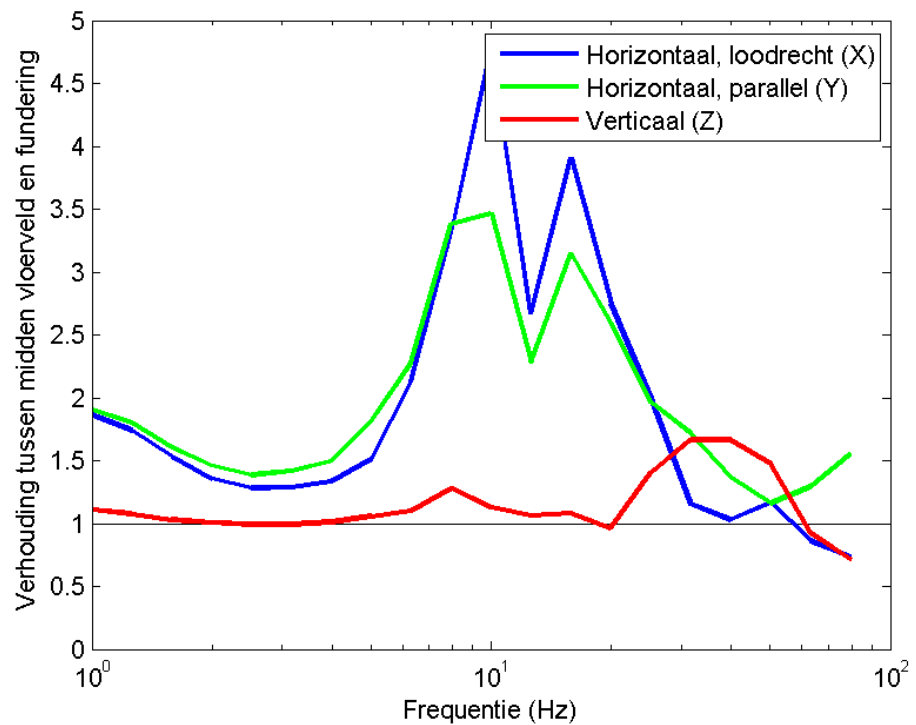
5.1 Meetresultaten Sierduif 11

De resultaten van de meting in de maatgevende woning Sierduif 11 zijn weergegeven in Tabel 5-1. H1 is hier de richting horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is de richting horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal. Een overzicht van de meetwaarden is opgenomen in Bijlage I-1. Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben vrijwel allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie de figuur in Bijlage I-1;
- De trillingen in horizontale richting op de hoogste verdieping zijn een factor 2 tot 3 groter dan in verticale richting. Door de betonnen vloeren van deze woning is er weinig verticale opslingering, maar de hoogte van de woning in combinatie met de constructiewijze zorgt voor vrij grote horizontale trillingen op de bovenste verdieping, zie ook Figuur 5-1 voor de frequentieafhankelijke overdrachtsfactoren tussen de fundering (meetpunt 19) en midden vloerveld (meetpunt 13);

Tabel 5-1 Meetresultaten in Sierduif 11

	13, midden vloer			19, fundering			15, midden vloer	
	H1	H2	V	H1	H2	V	H1	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.27	0.43	0.16	0.06	0.09	0.15	0.37	0.13
$V_{max, streefwaarde}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05



Figuur 5-1 Overdrachtsfactoren tussen fundering en midden vloerveld

Tijdens de meting zijn 847 reizigerstreinpassages gemeten en 80 goederentreinpassages, gedurende een periode van ongeveer twee weken. In het weekend van 20 en 21 september 2014 was er geen treinverkeer in verband met werkzaamheden.

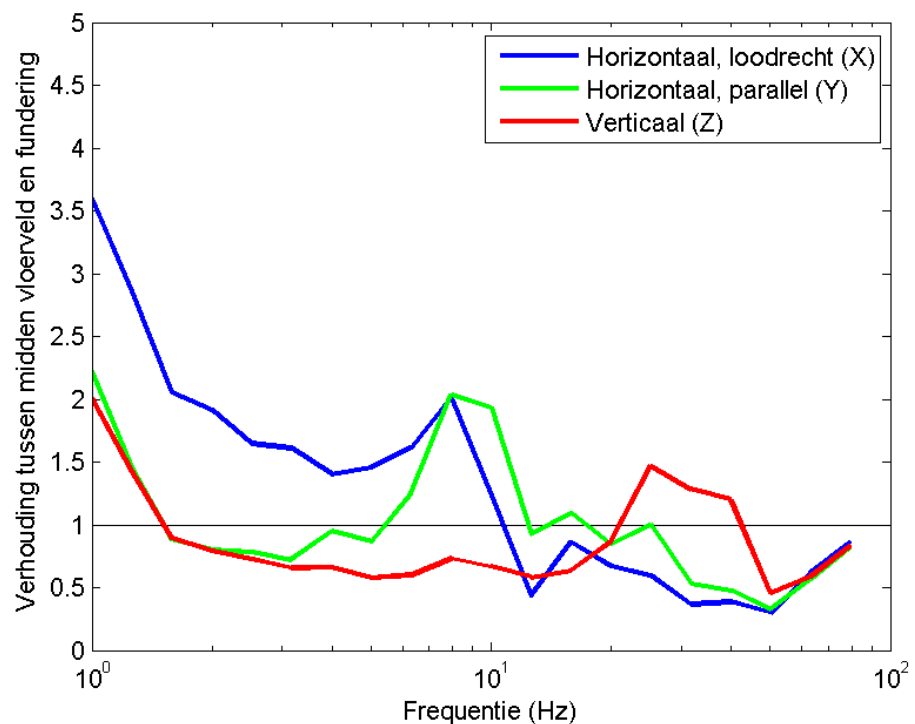
Bij Sierduif 13 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 78 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-2) tussen Sierduif 13 en 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor nummer 13. Tabel 5-2 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Sierduif 13.

Tabel 5-2 Berekende resultaten in Sierduif 13

	11, midden vloer			3_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.21	0.26	0.17	0.12	0.14	0.23
$V_{max, streefwaarde}$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-2;
- Aan de fundering is de trillingssterkte door goederentreinen dominant in verticale richting. De overdracht naar midden vloerveld is echter sterker in horizontale richting, zoals ook blijkt uit Figuur 5-2. De maximale trillingssterkte in deze woning is in horizontale richting.



Figuur 5-2 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Sierduif 13

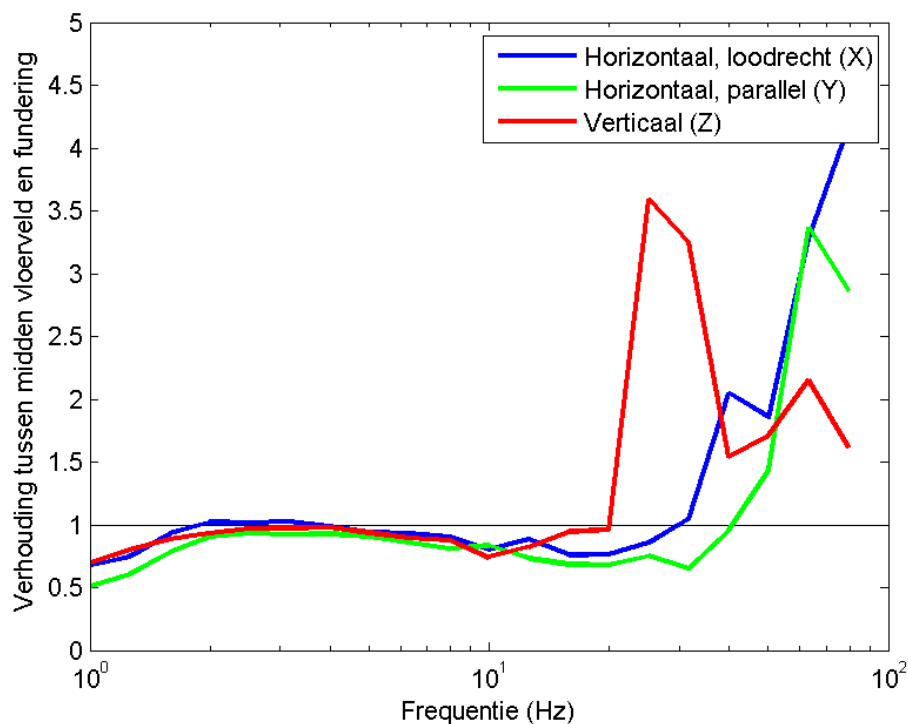
Bij Sierduif 15 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 81 reizigerstreinen gemeten en 4 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-3) tussen Sierduif 15 en 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor nummer 15. Tabel 5-3 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Sierduif 15.

Tabel 5-3 Berekende resultaten in Sierduif 15

	4, midden vloer			12, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.13	0.18	0.26	0.14	0.22	0.22
$V_{max, streefwaarde}$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben meestal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-3;
- De trillingen in verticale richting zijn dominant in deze woning. Omdat de woning een bouwlaag heeft, treedt er vrijwel geen versterking op tussen fundering en midden vloerveld in horizontale richting, zie Figuur 5-3.



Figuur 5-3 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Sierduif 15

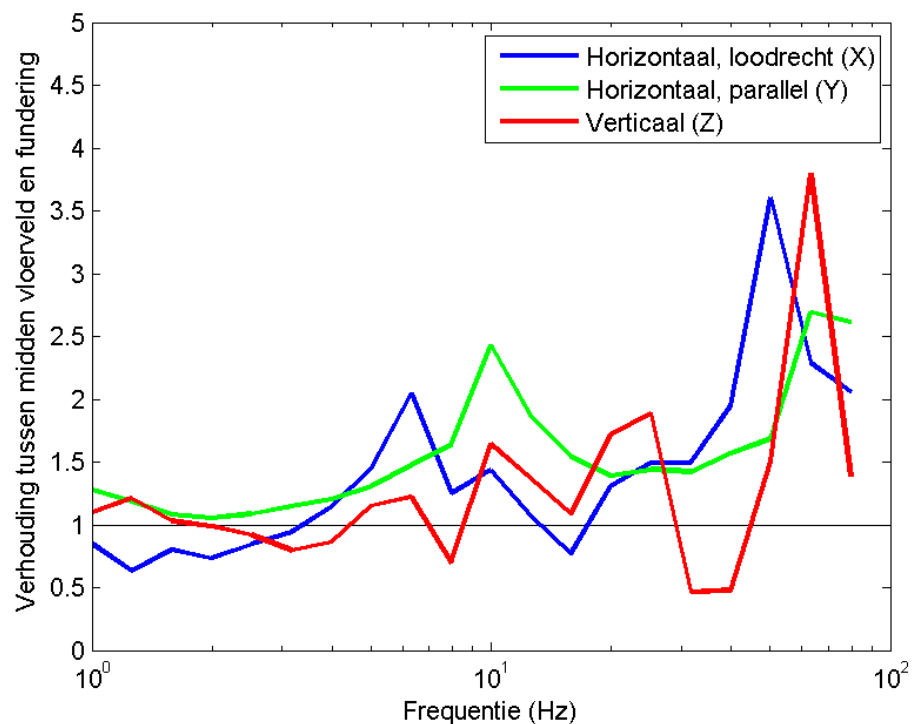
Bij Tortelduif 37 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 81 reizigerstreinen gemeten en 5 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-4) tussen Tortelduif 37 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 37. Tabel 5-4 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 37.

Tabel 5-4 Berekende resultaten in Tortelduif 37

	1_1, midden vloer			2_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.17	0.35	0.28	0.08	0.17	0.14
$V_{max, streefwaarde}$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben vrijwel allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn;
- De trillingssterkte in horizontale richting parallel aan het spoor en in verticale richting zijn ongeveer twee maal zo groot als de trillingssterkte in horizontale richting loodrecht op het spoor, dit komt door verschillen in de constructieve eigenschappen van de woning, zie ook Figuur 5-4.



Figuur 5-4 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 37

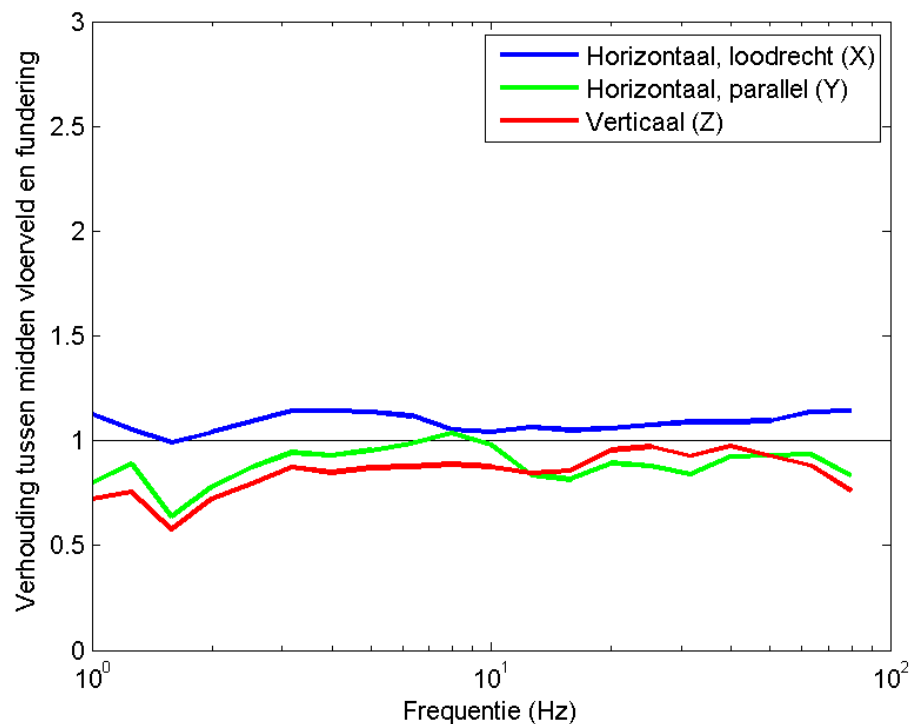
Bij Tortelduif 38 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 73 reizigerstreinen gemeten en 5 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-5) tussen Tortelduif 38 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 38. Tabel 5-5 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 38.

Tabel 5-5 Berekende resultaten in Tortelduif 38

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.13	0.21	0.18	0.11	0.20	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-5;
- Tortelduif 38 is een woning met een enkele bouwlaag, en kent daardoor nauwelijks versterking van de trillingen in horizontale richting, zie Figuur 5-5.



Figuur 5-5 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 38

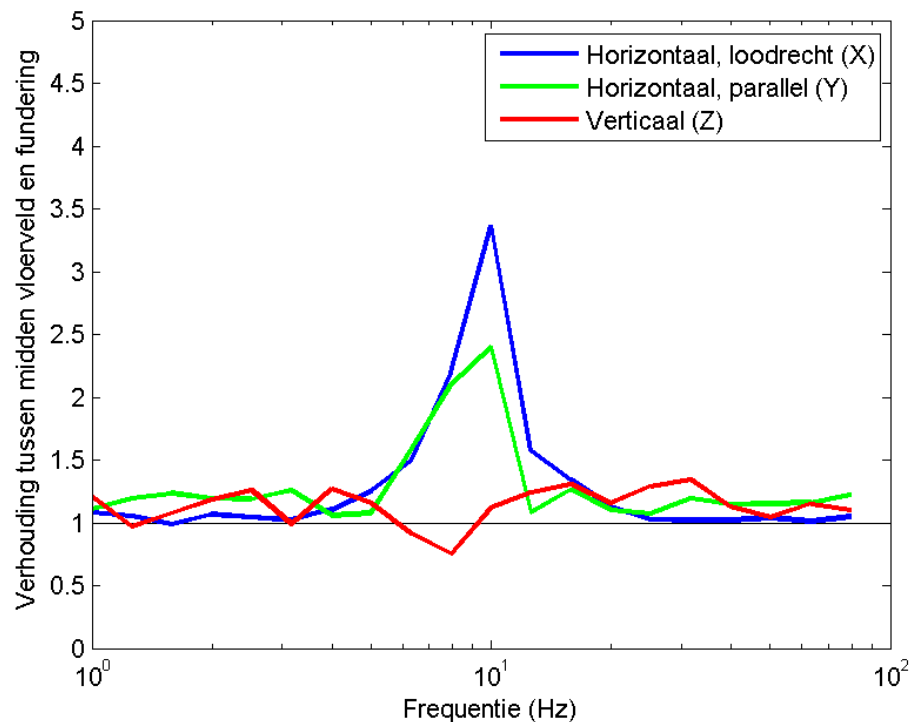
Bij Tortelduif 39 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 70 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-6) tussen Tortelduif 39 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 39. Tabel 5-6 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 39.

Tabel 5-6 Berekende resultaten in Tortelduif 39

	3_1, midden vloer			11, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.35	0.26	0.25	0.15	0.14	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben vrijwel allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn;
- De maximale trillingssterkte op midden vloerveld is het grootst in horizontale richting. De overdracht tussen fundering en midden vloerveld, weergegeven in Figuur 5-6, kent dan ook een sterke piek in horizontale richting rond 10 Hz.



Figuur 5-6 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 39

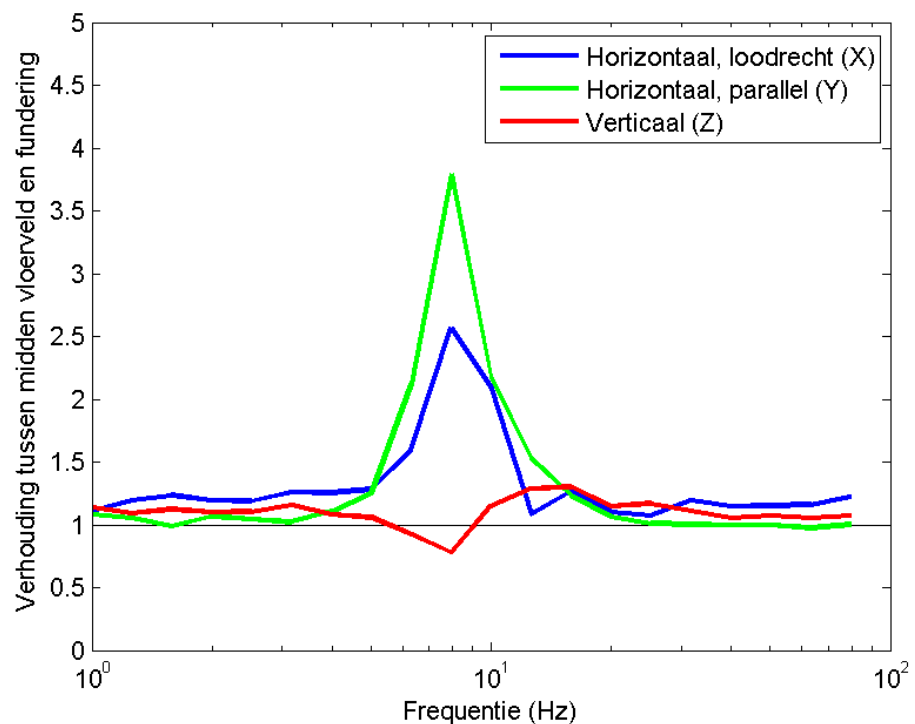
Bij Tortelduif 40 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 79 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-7) tussen Tortelduif 40 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 40. Tabel 5-7 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 40.

Tabel 5-7 Berekende resultaten in Tortelduif 40

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.16	0.45	0.24	0.10	0.15	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben vrijwel allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn;
- De maximale trillingssterkte in deze woning is in horizontale richting, parallel aan het spoor fors groter dan in de andere richtingen. In de overdracht tussen fundering en midden vloerveld, weergegeven in Figuur 5-7, is dit zichtbaar in een hoge piek in de Y-richting.



Figuur 5-7 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 40.

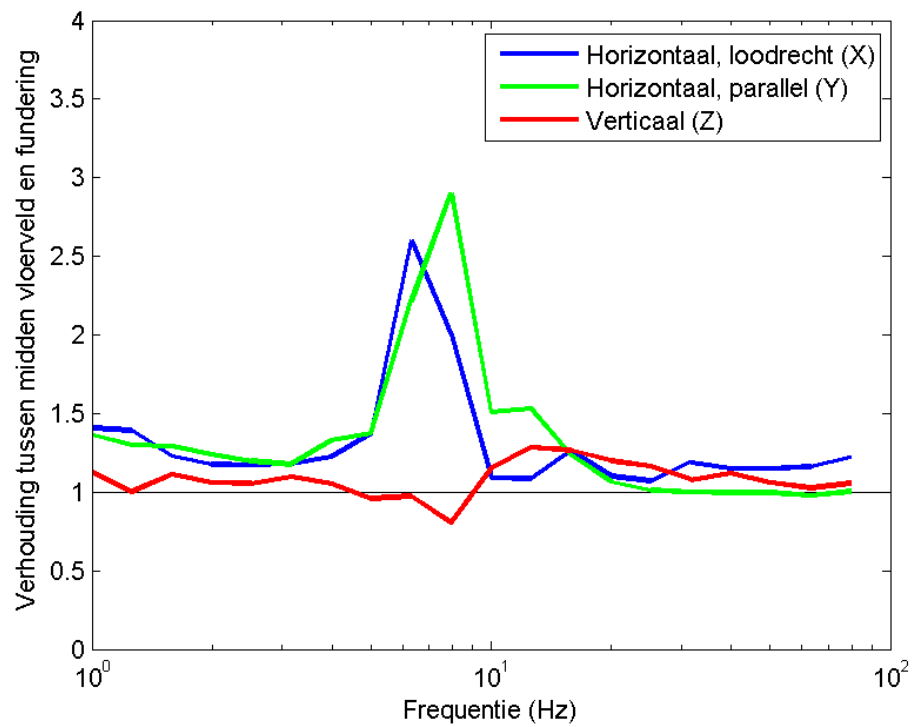
Bij Tortelduif 41 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 77 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-8) tussen Tortelduif 41 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 41. Tabel 5-8 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 41.

Tabel 5-8 *Berekende resultaten in Tortelduif 41*

	2_1, midden vloer			1_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.18	0.37	0.23	0.10	0.15	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-8;
- De maximale trillingssterkte in deze woning is in horizontale richting parallel aan het spoor groter dan in de andere richtingen. In de overdracht tussen fundering en midden vloerveld, weergegeven in Figuur 5-8, is een grote versterking te zien in de twee horizontale richtingen. De maximale trillingssterkte in de horizontale richting loodrecht op het spoor is echter lager omdat de trillingssterkte aan de fundering in deze richting lager is en omdat het gebouw in deze richting een iets lagere eigenfrequentie kent.



Figuur 5-8 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif
41

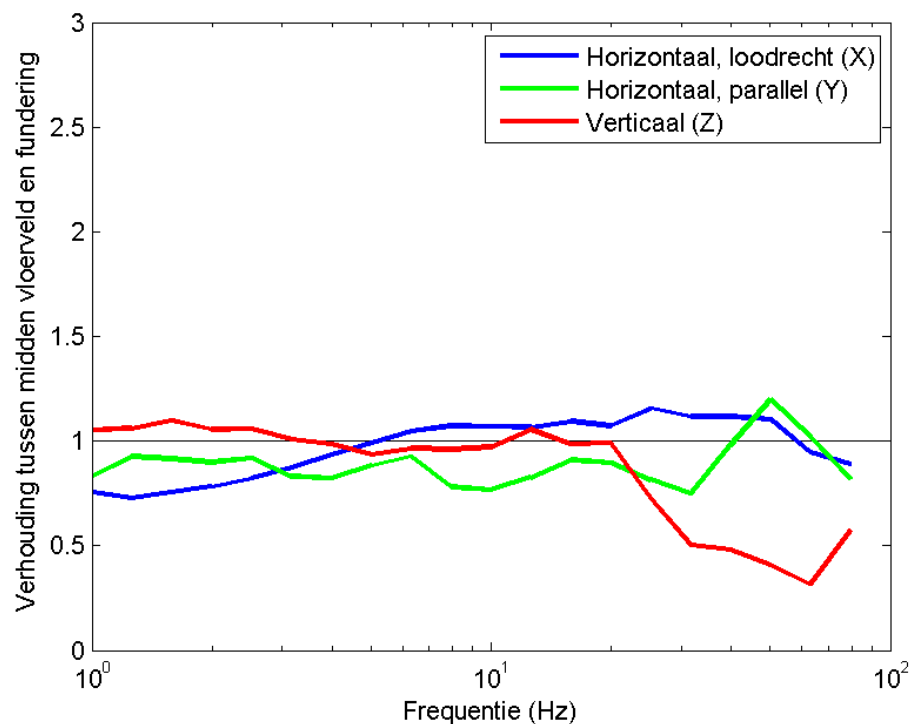
Bij Tortelduif 42 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 70 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-9) tussen Tortelduif 42 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 42. Tabel 5-9 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 42.

Tabel 5-9 Berekende resultaten in Tortelduif 42

	2_1, midden vloer			1_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.12	0.17	0.19	0.11	0.20	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-9;
- De trillingssterkte in deze woning is vrijwel gelijk op beide meetpunten. Omdat deze woning slechts een enkele bouwlaag heeft, laat de overdracht van deze woning, zie Figuur 5-9, vrijwel geen versterking zien.



Figuur 5-9 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 42

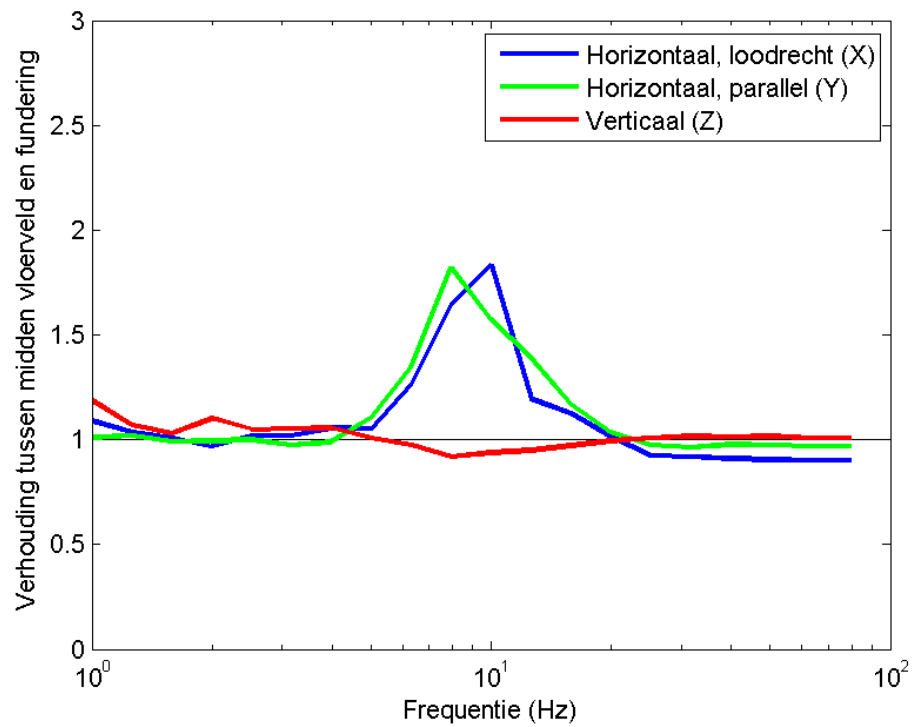
Bij Tortelduif 43 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 70 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-10) tussen Tortelduif 43 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 43. Tabel 5-10 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 43.

Tabel 5-10 *Berekende resultaten in Tortelduif 43*

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.20	0.38	0.28	0.15	0.25	0.28
$V_{max, streefwaarde}$	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-10;
- De maximale trillingssterkte in deze woning is in horizontale richting parallel aan het spoor groter dan in de andere richtingen. In de overdracht tussen fundering en midden vloerveld, weergegeven in Figuur 5-10, is een grote versterking te zien in de twee horizontale richtingen. De maximale trillingssterkte in de horizontale richting loodrecht op het spoor is echter lager omdat de trillingssterkte op de fundering in deze richting lager is.



Figuur 5-10 Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif
43

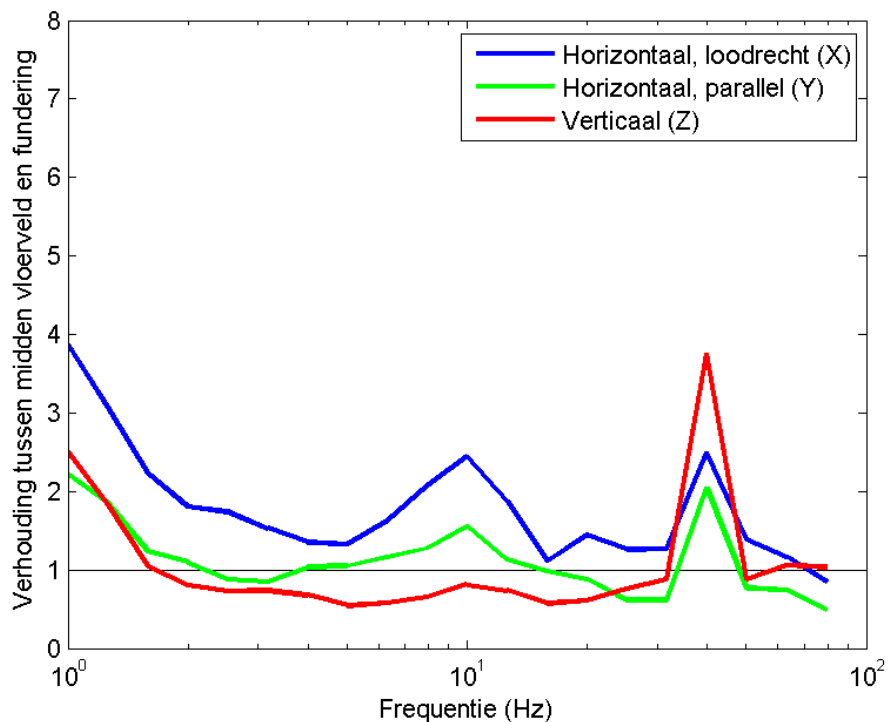
Bij Tortelduif 43A is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 77 reizigerstreinen gemeten en 5 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-11) tussen Tortelduif 43A en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 43A. Tabel 5-11 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 43A.

Tabel 5-11 *Berekende resultaten in Tortelduif 43A*

	11, midden vloer			3_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.30	0.33	0.21	0.15	0.25	0.28
$V_{max, streefwaarde}$	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-11;
- De maximale trillingssterktes zijn het grootst in horizontale richting. Dit komt door een vrij hoge overdracht in horizontale richting rond 10 Hz, zie ook Figuur 5-11. De piek in de overdracht bij 40 Hz wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de laminaatvloer in deze woning.



Figuur 5-11 *Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 43A*

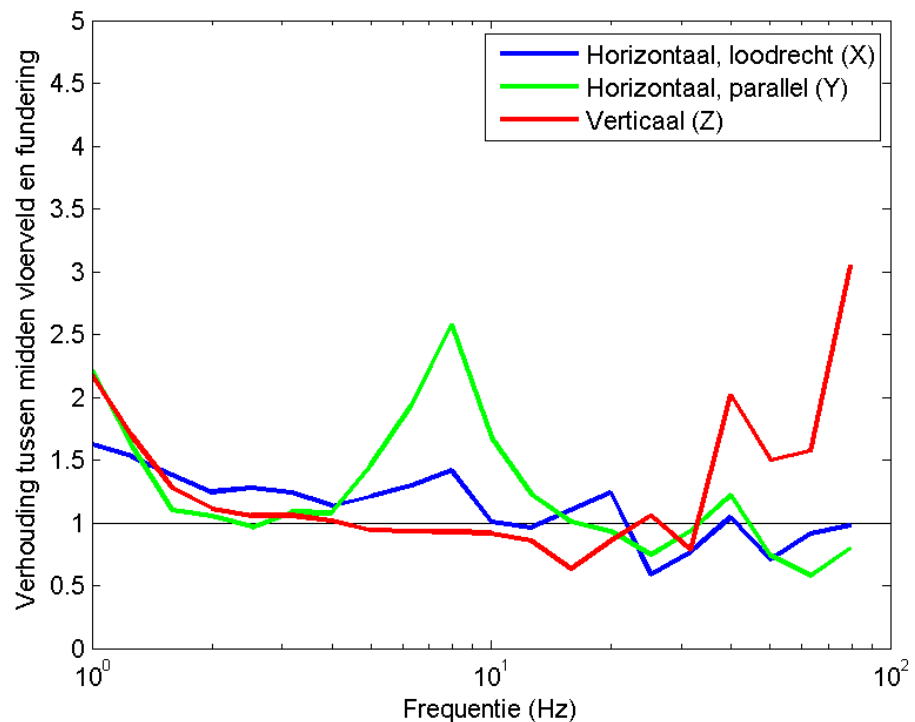
Bij Tortelduif 44 is een meting uitgevoerd met een meetduur van een dag. Tijdens deze meting zijn 87 reizigerstreinen gemeten en 6 goederentreinen. Met behulp van een correctie voor de fundering (zie Bijlage I-12) tussen Tortelduif 44 en Sierduif 11 zijn de meetresultaten van de langeduurmeting bij Sierduif 11 berekend voor Tortelduif 44. Tabel 5-12 geeft de berekende resultaten in de referentiesituatie voor Tortelduif 44.

Tabel 5-12 *Berekende resultaten in Tortelduif 44*

	12, midden vloer			4, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.14	0.17	0.11	0.11	0.10	0.12
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een aantal zaken valt op in de metingen:

- De reizigerstreinen hebben allemaal trillingssterktes die kleiner zijn dan de onderste streefwaarde A1 uit de SBR B-richtlijn, zie Bijlage I-12;
- De trillingssterkte in deze woning is het hoogst in horizontale richting parallel aan het spoor. De overdracht tussen fundering en midden vloerveld in Figuur 5-12 laat een grote versterking zien in deze richting voor frequenties rond de typische treinfrequentie van 4 tot 10 Hz.



Figuur 5-12 *Overdrachtsfactoren fundering naar midden vloerveld, Tortelduif 44*

6 Resultaten berekening plansituatie

6.1 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de wijzigingen in sporenlay-out, spoorgebruik en treinaantallen, zie hiervoor hoofdstuk 2, is voor elke woning een berekening gemaakt voor de trillingssituatie in de plansituatie. Deze berekening is per trein en frequentieafhankelijk uitgevoerd. Over de resulterende dataset wordt een nieuwe trillingssterkte en trillingsintensiteit bepaald, zie ook Bijlage II voor een beschrijving van het gebruikte model.

Voor elke woning zijn de resultaten in de plansituatie in een tabel gepresenteerd. De resultaten zijn beoordeeld op de SBR B-richtlijn en overschrijdingen zijn oranje gearceerd.

6.2 Plansituatie Sierduif 11

De resultaten van de berekening voor Sierduif 11 zijn weergegeven in Tabel 6-1. Er is een overschrijding in horizontale richting op de bovenste verdieping. De trillingssterkte neemt met ca. 10 procent toe door de realisatie van het wissel.

Tabel 6-1 Resultaten berekening plansituatie in Sierduif 11

	13, midden vloer			19, fundering			15, midden vloer	
	H1	H2	V	H1	H2	V	H1	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.29	0.47	0.17	0.06	0.10	0.16	0.40	0.14
$V_{max, streefwaarde}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.3 Plansituatie Sierduif 13

De resultaten van de berekening voor Sierduif 13 zijn weergegeven in Tabel 6-2. Er is een overschrijding in horizontale richting op de bovenste verdieping. De trillingssterkte neemt met ca. 15 procent toe door de realisatie van het wissel.

Tabel 6-2 Resultaten berekening plansituatie in Sierduif 13

	11, midden vloer			3_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.26	0.30	0.20	0.14	0.16	0.26
$V_{max, streefwaarde}$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.4 Plansituatie Sierduif 15

De resultaten van de berekening voor Sierduif 15 zijn weergegeven in Tabel 6-3. Er is een overschrijding in verticale richting op de bovenste verdieping. De trillingssterkte neemt met minder dan 5 procent toe door de realisatie van het wissel.

Tabel 6-3 Resultaten berekening plansituatie in Sierduif 15

	4, midden vloer			12, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.14	0.21	0.27	0.15	0.24	0.23
$V_{max, streefwaarde}$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

In de situatie dat een deel van de reizigerstreinen niet halteert op station Emmen-Zuid, neemt de trillingssterkte licht toe in deze woning. De trillingssituatie in dat geval is weergegeven in Tabel 6-4.

Tabel 6-4 Resultaten berekening plansituatie in Sierduif 15 met doorgaande reizigerstreinen

	4, midden vloer			12, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.14	0.21	0.28	0.15	0.24	0.23
$V_{max, streefwaarde}$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

6.5 Plansituatie Tortelduif 37

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 37 zijn weergegeven in Tabel 6-5. Er is een overschrijding in horizontale richting op de bovenste verdieping. De trillingssterkte neemt met ca. 5 procent toe door de realisatie van het wissel.

Tabel 6-5 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 37

	1_1, midden vloer			2_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.19	0.37	0.29	0.08	0.19	0.14
$V_{max, streefwaarde}$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.6 Plansituatie Tortelduif 38

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 38 zijn weergegeven in Tabel 6-6. Er is geen overschrijding op deze locatie, de trillingssterkte voldoet ook in de plansituatie aan de streefwaarden.

Tabel 6-6 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 38

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.14	0.22	0.19	0.12	0.21	0.21
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.7 Plansituatie Tortelduif 39

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 39 zijn weergegeven in Tabel 6-7. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-7 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 39

	3_1, midden vloer			11, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.35	0.26	0.25	0.15	0.14	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.8 Plansituatie Tortelduif 40

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 40 zijn weergegeven in Tabel 6-8. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt

gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-8 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 40

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.16	0.45 ¹⁾	0.24	0.10	0.15	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

¹⁾ 0.45 is in werkelijkheid een waarde van 0.446, en daarmee kleiner dan of gelijk aan 0.4, zie ook Figuur 4-1

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.9 Plansituatie Tortelduif 41

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 41 zijn weergegeven in Tabel 6-9. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-9 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 41

	2_1, midden vloer			1_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.18	0.37	0.23	0.10	0.15	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.10 Plansituatie Tortelduif 42

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 42 zijn weergegeven in Tabel 6-10. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder

zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-10 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 42

	2_1, midden vloer			1_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.12	0.17	0.19	0.11	0.20	0.20
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.11 Plansituatie Tortelduif 43

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 43 zijn weergegeven in Tabel 6-11. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-11 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 43

	10, midden vloer			26, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.20	0.38	0.28	0.15	0.25	0.28
$V_{max, streefwaarde}$	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.12 Plansituatie Tortelduif 43A

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 43A zijn weergegeven in Tabel 6-12. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het

nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-12 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 43A

	11, midden vloer			3_1, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.30	0.33	0.21	0.15	0.25	0.28
$V_{max, streefwaarde}$	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.13 Plansituatie Tortelduif 44

De resultaten van de berekening voor Tortelduif 44 zijn weergegeven in Tabel 6-13. Er is geen overschrijding in deze woning en de trillingssterkte neemt niet toe door het project. Dit komt doordat het wissel ver van deze woning wordt gesitueerd, waardoor het effect op de trillingssterkte verwaarloosbaar is. Verder zijn de hoogste trillingssterktes afkomstig van goederentreinen, deze rijden op het doorgaande spoor waaraan geen wijzigingen plaatsvinden. De treinen op het nieuwe spoor zijn reizigerstreinen die halteren op station Emmen-Zuid, en die een lagere trillingssterkte hebben dan de goederentreinen.

Tabel 6-13 Resultaten berekening plansituatie in Tortelduif 44

	12, midden vloer			4, fundering		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{per, dag}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, avond}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{per, nacht}$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$V_{max, gemeten}$	0.14	0.17	0.11	0.11	0.10	0.12
$V_{max, streefwaarde}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{per, streefwaarde}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Een verhoging van de rijsnelheid van reizigerstreinen heeft in deze woning geen effect op de maximale trillingssterkte. Goederentreinen zorgen voor de grootste trillingssterktes op deze locatie.

6.14 Samenvatting

Ook voor alle niet-gemeten locaties is aan de hand van de ligging ten opzichte van het spoor en de gebouweigenschappen de trillingssituatie in de referentie- en plansituatie beoordeeld. De resultaten voor alle woningen in het onderzoeksgebied zijn weergegeven in Tabel 6-14. Overschrijdingen zijn oranje gearceerd.

Tabel 6-14 Resultaten berekening trillingssituatie in referentie- en plansituatie

Adres	Bestemming	Referentiesituatie		Plansituatie	
		V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}
Wilhelmsweg 85	Wonen	0.13-0.22	<0.01	0.17-0.23	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.13-0.22	<0.01	0.18-0.28	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.15-0.25	<0.01	0.15-0.27	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.15-0.25	<0.01	0.15-0.27	<0.01
Waanderweg 16A-D	Kantoor	0.25-0.41	<0.01	0.25-0.41	<0.01
Waanderweg 18A-B	Kantoor	0.30-0.42	<0.01	0.30-0.42	<0.01
Sierduif 11	Wonen	0.43	<0.01	0.47	<0.01
Sierduif 13	Wonen	0.26	<0.01	0.30	<0.01
Sierduif 15	Wonen	0.26	<0.01	0.27	<0.01
Tortelduif 37	Wonen	0.35	<0.01	0.37	<0.01
Tortelduif 38	Wonen	0.21	<0.01	0.22	<0.01
Tortelduif 39	Wonen	0.35	<0.01	0.35	<0.01
Tortelduif 40	Wonen	0.45	<0.01	0.45	<0.01
Tortelduif 41	Wonen	0.37	<0.01	0.37	<0.01
Tortelduif 42	Wonen	0.20	<0.01	0.20	<0.01
Tortelduif 43	Wonen	0.38	<0.01	0.38	<0.01
Tortelduif 43A	Wonen	0.33	<0.01	0.33	<0.01
Tortelduif 44	Wonen	0.17	<0.01	0.17	<0.01

Goederentreinen zorgen in alle gebouwen voor de grootste trillingssterktes. De goederentreinen komen niet dicht bij de onderzoekslocaties te rijden in de plansituatie. Wel zullen de goederentreinen de wissels passeren. Hierdoor neemt de trillingssterkte in de gebouwen rond de wissels toe. In de woningen Sierduif 11 tot en met 15 en Tortelduif 37 is er daarom een overschrijding van de trillingssterkte in de plansituatie. De trillingssterkte neemt met maximaal 15 procent toe in het onderzoeksgebied. Een toename in trillingssterkte van minder dan 30 procent wordt in de literatuur als ‘niet voelbaar’ geassocieerd.

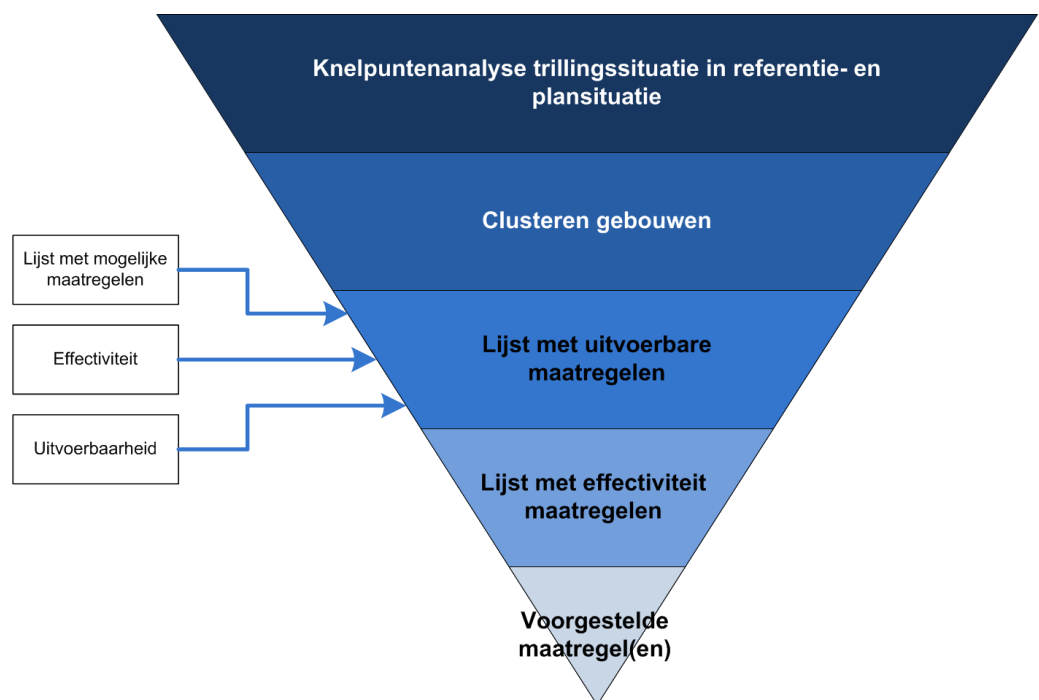
Gezien de overschrijdingen wordt in het volgende hoofdstuk een overzicht gegeven van mogelijk te treffen trillingsmaatregelen voor deze woningen.

7 Trillingsmaatregelen

Voor de locaties met (een kans op) een overschrijding van het beoordelingskader wordt in dit hoofdstuk aangegeven welke maatregelen de trillingssterkte kunnen reduceren.

7.1 Gevolgde methodiek

De keuze voor een bepaalde trillingsmaatregel bestaat uit een aantal stappen. Deze stappen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7-1.



Figuur 7-1 Stappenplan voor doelmatigheidsafweging

De volgende stappen worden genomen in een maatregelenonderzoek:

- Knelpuntenanalyse: het bepalen van de streef- en grenswaarden, V_{per} en V_{max} in de referentie- en plansituatie voor alle gebouwen in het onderzoeksgebied;
- Clustering van gebouwen: bepalen aantal gebouwen waar een kans op een overschrijding is. Een groep gebouwen waarvoor een aaneengesloten maatregel nodig is, wordt een cluster genoemd;
- Overzicht van voorhanden maatregelen uitkiezen. Afwegen of een maatregel wel of niet mogelijk is (ruimtetechnisch, fysieke obstakels, effectiviteit en kosten) op basis van expert judgment;
- Gedetailleerd doorrekenen van uitvoerbare maatregelen. Van de effectieve maatregelen worden de kosten over de looptijd, in de vorm van een Netto Contante Waarde (NCW) bepaald, alsmede de baten. De baten zijn gedefinieerd als het aantal woningen waarvoor de maatregel voldoende effectief is bij beoordeling op de SBR B-richtlijn, maal het richtbedrag per woning.. Resultaat van deze stap is een lijst met

- effectieve maatregelen;
- Uit de lijst met effectieve maatregelen wordt de meest kosteneffectieve maatregel geselecteerd.

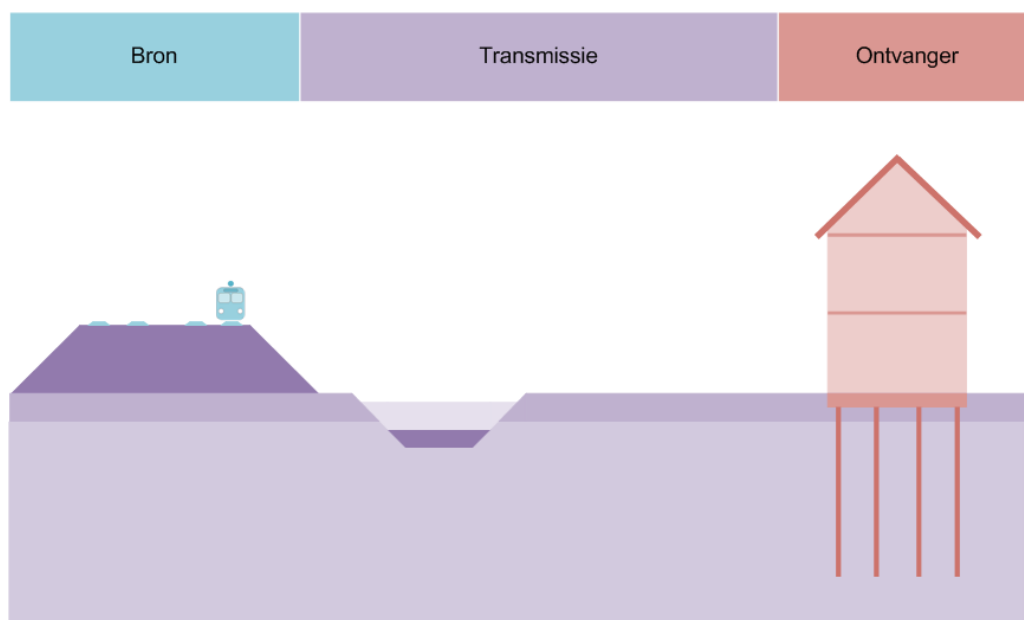
In het huidige onderzoek wordt in eerste instantie alleen gekeken naar aanpassingen aan het spoorontwerp. Eventuele andere maatregelen zullen in een later stadium, na overleg met de bewoners, worden onderzocht.

7.2 Mogelijke maatregelen

Trillingen ten gevolge van treinverkeer kunnen op drie posities worden gereduceerd:

1. Bij de bron (treinen¹ of spoorconstructie);
2. Tussen de bron en de ontvanger (in de bodem);
3. Bij de ontvanger (gebouw).

Deze drie posities zijn schematisch weergegeven in Figuur 7-2.



Figuur 7-2 Schematisch overzicht spoorstelsel

Voor het zoeken naar mogelijkheden voor het reduceren van de trillingshinder is het van belang de spoorbaanconstructie als complex massa-veersysteem te beschouwen.

Er zijn twee mogelijke principes om de trillingshinder te reduceren:

- Het verhogen van de impedantie van de aangestoten constructie (de mate waarin een constructie in beweging kan worden gebracht). Dit kan bijvoorbeeld door het verhogen van de stijfheid van de constructie of het vergroten van de massa;

¹ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

- Het ontkoppelen van de bron en de ontvanger door het toepassen van verende of reflecterende tussenlagen. Dit type maatregel wordt het meest toegepast.

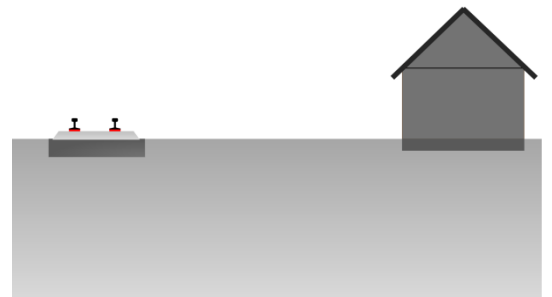
In de praktijk is het reduceren van trillingshinder zeer moeilijk. De effectiviteit van een maatregel hangt af van een groot aantal factoren. Maatregelen die op de ene locatie effectief zijn, kunnen op een andere locatie de trillingssterkte niet of veel minder reduceren. Het uitvoeren van een maatregelenonderzoek dient daarom altijd locatiespecifiek plaats te vinden.

Door middel van bronnenonderzoek, expert interviews en brainstormsessies is een breed scala aan mogelijke trillingsmaatregelen bepaald. De verschillende types maatregelen worden in de onderstaande subparagrafen nader toegelicht, een meer gedetailleerde opsomming van de mogelijke maatregelen is opgenomen in Bijlage IV.

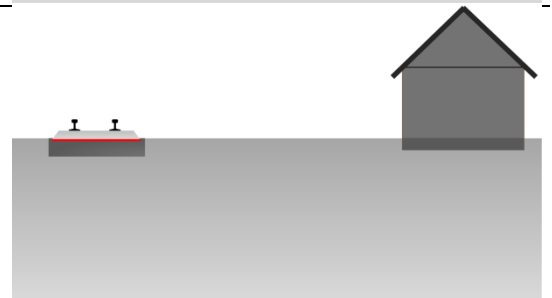
7.2.1. Mogelijke maatregelen aan de bron

De meest effectieve aanpak is het reduceren van de trillingen bij de bron: de trein of het spoorstelsel. Mogelijke maatregelen zijn:

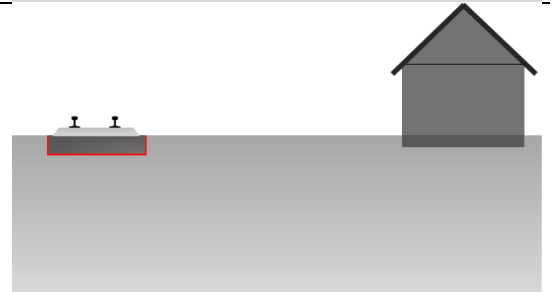
Railpads, een verende constructie tussen spoorstaaf en dwarsligger. Deze maatregel heeft pas effect bij frequenties boven de 40 Hz en is daardoor onvoldoende effectief voor goederentreinen, waarbij de dominante frequentie vaak tussen de 3 en 10 Hz ligt.



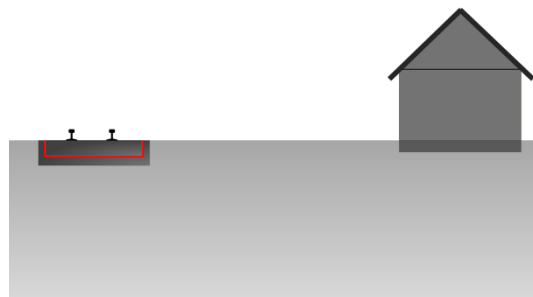
Under sleeper pads, een verende constructie tussen dwarsligger en ballast of betonplaat. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 25 Hz, en is daardoor onvoldoende effectief voor goederentreinen.



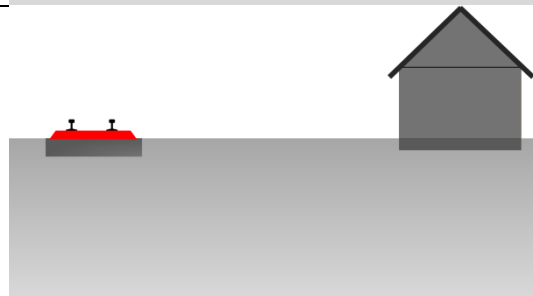
Ballastmatten, een verende constructie onder het ballast. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 20 Hz, en is daardoor ook onvoldoende effectief voor goederentreinen.



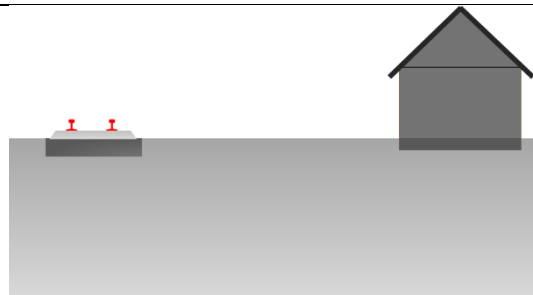
Floating slab track, een verende oplegging van het gehele spoorstelsel. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 5 Hz, en kan daardoor voldoende effectief zijn voor goederentreinen



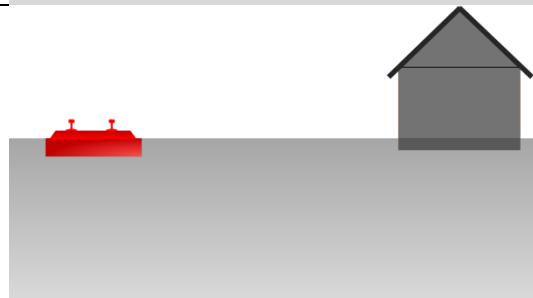
Aanpassing dwarsliggers, door de stijfheid of massa van de dwarsliggers aan te passen (grotere dwarsliggers, ander materiaal, holle dwarsliggers, etc.) kunnen de trillingen worden gereduceerd. Deze maatregelen hebben effect bij frequenties boven de 8 Hz, en zijn daarom meestal onvoldoende effectief voor goederentreinen.



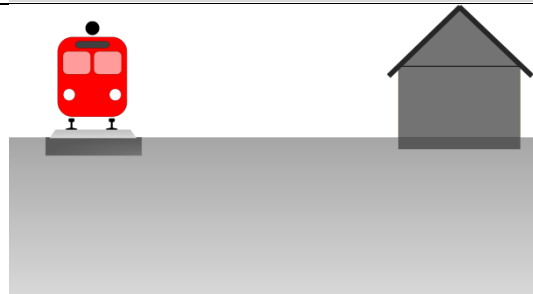
Aanpassing spoorligging, bijvoorbeeld door het reduceren van oneffenheden in het spoor, zoals de aansluiting tussen aardebaan en kunstwerk.



Aanpassing spoorontwerp, bijvoorbeeld door het verplaatsen van wissels of het vervangen van wissels door wissels met een beweegbaar puntstuk. Deze oneffenheden hebben vooral op korte afstand (minder dan 50 meter) tot het spoor een grote invloed op de trillingssterkte.



Aanpassing aan voertuigen, bijvoorbeeld door het reduceren van de treinsnelheid, beter toezicht op de kwaliteit van het materieel of het aanpassen van de afveerconstructie van treinwagens.²



7.2.2. Mogelijke maatregelen aan de transmissie

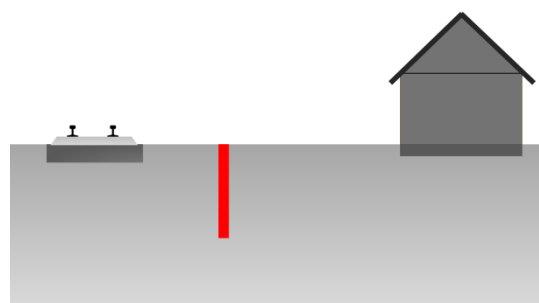
Bij maatregelen aan de transmissie of de overdracht kan reductie van trillingshinder worden bereikt door de trillingen te absorberen of te reflecteren.

² ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

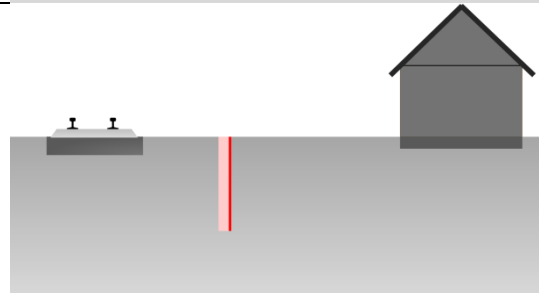
Absorptie van trillingen is praktisch vrijwel niet uitvoerbaar, reflectie van trillingen kan worden bereikt door het introduceren van een fysieke barrière tussen de bron en de ontvanger. Een dergelijke barrière kan worden gerealiseerd van een zeer licht materiaal zoals EPS (of zelfs geen materiaal, zoals bij een sloot), of juist een zeer zwaar en stijf materiaal (zoals beton). Belangrijk is dat er een impedantiesprong wordt gecreëerd. Het ontwerpen van maatregelen aan de transmissie dient daarom altijd locatiespecifiek te worden uitgevoerd, zodat de lokale bodemkarakteristieken worden meegenomen.

Mogelijke transmissiemaatregelen zijn onder meer:

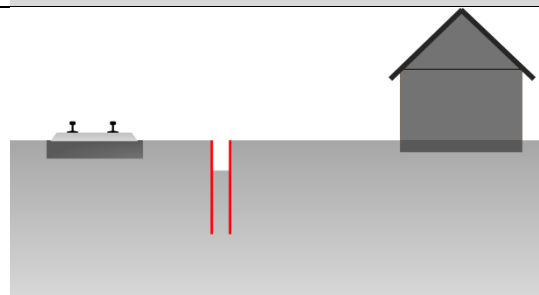
Ondergrondse trillingsreducerende constructie (OTC), bijvoorbeeld van beton of EPS. Een dergelijke constructie kan de trillingen absorberen (bij een zware constructie) en reflecteren, waardoor er een barrière ontstaat tussen bron en ontvanger.



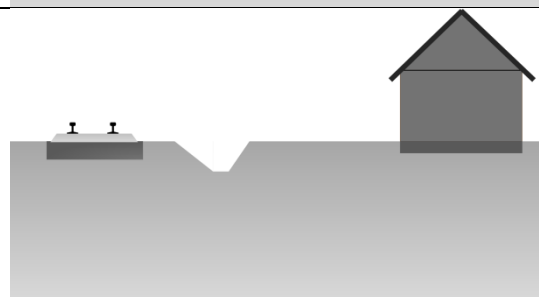
Beklede ondergrondse trillingsreducerende constructie (beklede OTC), waarbij de barrière wordt voorzien van een extra laag slap materiaal, bijvoorbeeld rubber, om een extra impedantiesprong te creëren. Deze maatregel heeft doorgaans meer effect dan een niet-beklede barrière.



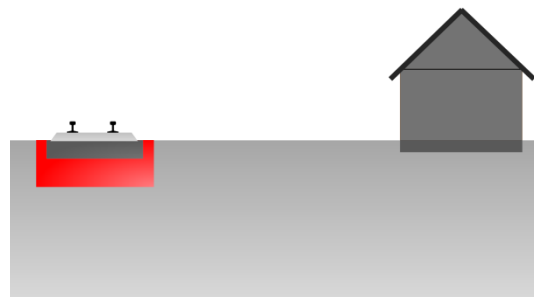
Toepassen van een sleuf tussen twee damwanden, bij deze constructie wordt een smalle sloot gerealiseerd tussen twee damwanden. De verschillende materialen zorgen voor impedantiesprongen, waardoor reflectie van de trillingsgolven optreedt.



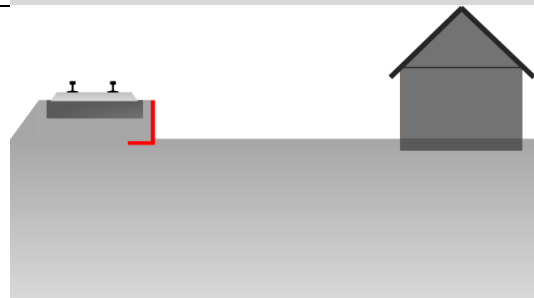
Sloot, hierbij wordt een fysieke onderbreking gecreëerd in het pad van de trillingen tussen bron en ontvanger.



Aanpassen van de bodem onder het spoor, bijvoorbeeld door het toepassen van grondverbetering of het realiseren van een zettingsvrije plaat (onderheide betonnen plaat)



Aanpassen van het spoortalud, bijvoorbeeld door het realiseren van een betonnen L-wand of het toepassen van geogrids. Treinen op een verhoogd talud geven doorgaans minder trillingen dan treinen die op maaiveld rijden.



Voor al deze maatregelen geldt dat het effect voor reizigerstreinen groter is dan voor goederentreinen. Afhankelijk van de lokale bodemopbouw kunnen de maatregelen ook effect hebben voor goederentreinen.

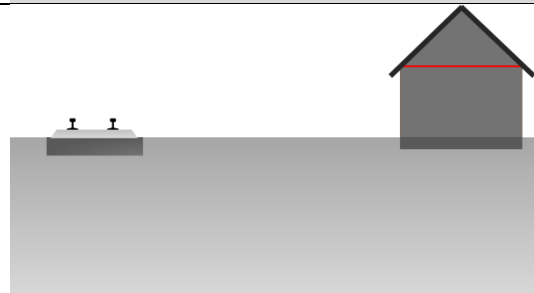
7.2.3. *Mogelijke maatregelen aan de ontvanger*

De laatste categorie maatregelen zijn maatregelen aan de ontvanger, aan de gebouwen. Nadeel van deze categorie is dat de meeste opties grote impact hebben op de gebruikers van de gebouwen en vrijwel niet uitvoerbaar zijn voor bestaande gebouwen. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

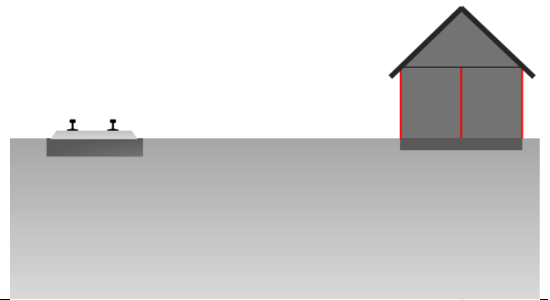
Opkopen, de gebouwen worden opgekocht en de bewoners of gebruikers verhuizen.



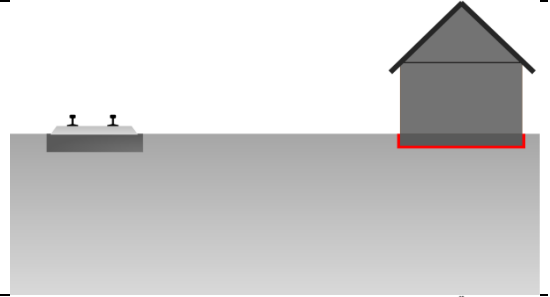
Verstijven van vloeren, hierbij worden (veelal houten) vloeren vervangen of verstevigd door stalen of betonnen elementen. Bij betonnen vloeren kan de massa van de vloer worden vergroot. Bij houten vloeren kan een dragende dekvloer worden toegepast of kunnen de vloerbalken worden verstevigd door middel van stalen profielen.



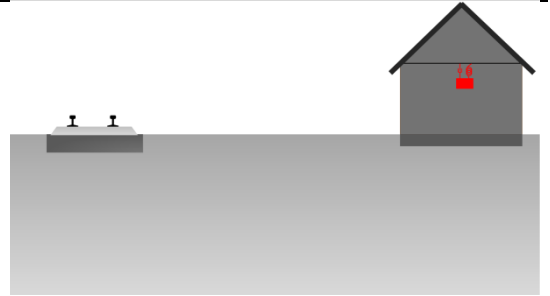
Verstijven van muren, hierbij worden buitenmuren verstevigd, of niet-constructieve binnenwanden vervangen door constructieve binnenwanden.



Inpakken van de fundering, vooral bij gebouwen die op staal zijn gefundeerd. Hierbij wordt de fundering ingepakt in een dempend materiaal, bijvoorbeeld rubber.



Tuned mass damper, een afgeregeld massa-veersysteem dat trillingen kan uitdempem toepassen in een woning. Een dergelijk systeem werkt vooral bij trillingen die alleen bij een bepaalde frequentie optreden, de trillingen van treinverkeer hebben vaak een breed frequentiespectrum, zodat deze maatregel vaak niet voldoende effectief is.



7.3 Onderzochte maatregelen

In eerste instantie is onderzocht wat het effect is van aanpassingen aan de sporenlay-out. De volgende aanpassingen zijn theoretisch mogelijk:

1. Verplaatsen spooruitbreiding naar andere zijde van het huidige spoor. Deze aanpassing heeft geen effect, omdat de hoogste trillingssterktes afkomstig zijn van de goederentreinen op het niet-verplaatste, doorgaande spoor;
2. Omleggen van het huidige doorgaande spoor naar een locatie verder van de bebouwing aan de Sierduif en Tortelduif vandaan. Deze aanpassing heeft wel effect, maar heeft zeer hoge kosten doordat het viaduct dient te worden verbreed en station Emmen-Zuid moet worden verplaatst;
3. Verplaatsen van de wissel bij de Sierduif naar een andere locatie. Hierdoor wordt de toename in trillingssterkte verplaatst naar een andere locatie. Mogelijke locaties voor het wissel zijn:
 - a. Positie voor het viaduct Nieuw Amsterdamsestraat (zuidzijde). Hierdoor ligt het wissel ver van de bebouwing vandaan, en neemt de trillingssterkte niet toe in de woningen aan de Sierduif en Tortelduif. Hiervoor dient echter het gehele station Emmen-Zuid te worden verplaatst, waardoor deze aanpassing zeer hoge kosten met zich mee brengt;
 - b. Positie voorbij de fietstunnel ten noordoosten van de Sierduif.

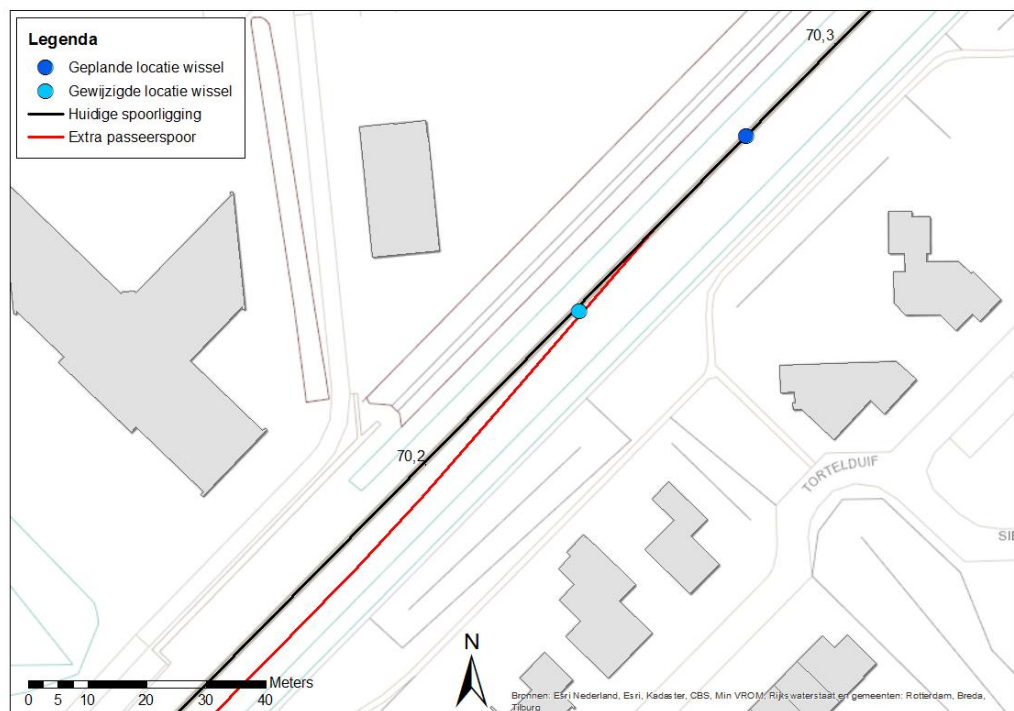
Ook hierdoor ligt het wissel ver van de bebouwing vandaan, en neemt de trillingssterkte niet toe in de woningen aan de Sierduif en Tortelduif. Voor deze aanpassing dient het spoor echter over een afstand van meer dan 300 meter te worden verdubbeld, inclusief een verbreding van de fietstunnel. Deze aanpassing brengt zeer hoge kosten met zich mee, en een aanzienlijke uitbreiding van het bestemmingsplangebied;

- c. Positie tussen de Sierduif en de Tortelduif in, zo ver mogelijk van alle bebouwing vandaan. Deze aanpassing is vanuit railtechnisch oogpunt realiseerbaar tegen geringe meerkosten.

Van alle spoortechnische aanpassingen is alleen het verplaatsen van het wissel naar een locatie tussen de Sierduif en de Tortelduif in, een mogelijk kosteneffectieve maatregel. Deze sporaanpassing wordt nader onderzocht. Alle andere sporaanpassingen hebben geen effect of brengen zeer hoge kosten met zich mee.

7.3.1. Verplaatsen wissel

Als maatregel is onderzocht het verplaatsen van de wissel bij de Sierduif naar een locatie die zo ver mogelijk van de woningen vandaan ligt, maar vanuit railtechnisch oogpunt nog wel realiseerbaar is tegen geringe meerkosten. De gewijzigde locatie van het wissel is weergegeven in Figuur 7-3.



Figuur 7-3 Verplaatst wissel en aangepaste sporenlay-out

De resultaten per woning voor de situatie met verplaatst wissel zijn weergegeven in Tabel 7-1. Na het verplaatsen van het wissel zijn er nog steeds 5 gebouwen met een mogelijke overschrijding. Sierduif 11 voldoet nu, maar er is een kans op een overschrijding bij Tortelduif 39 en 40. Het verplaatsen van het wissel naar de genoemde locatie leidt dus tot een toename in aantal

woningen met een overschrijding van het beoordelingskader en is daarmee geen doelmatige maatregel.

Tabel 7-1 Resultaten berekening trillingssituatie in referentie- en plansituatie, na verplaatsen wissel

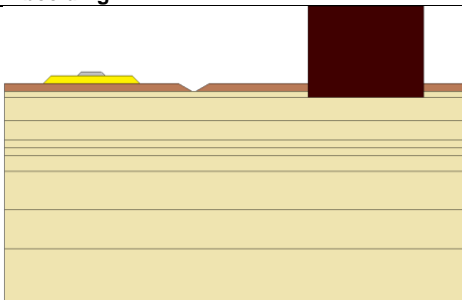
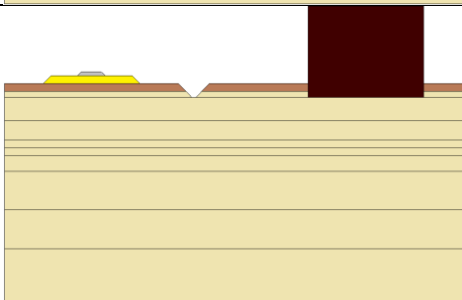
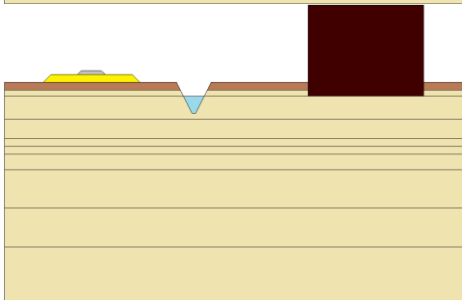
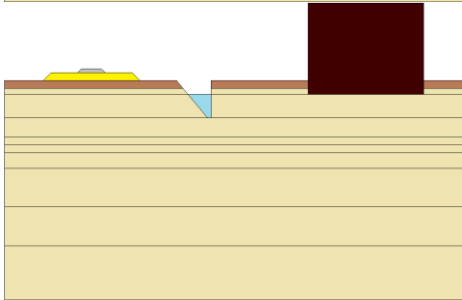
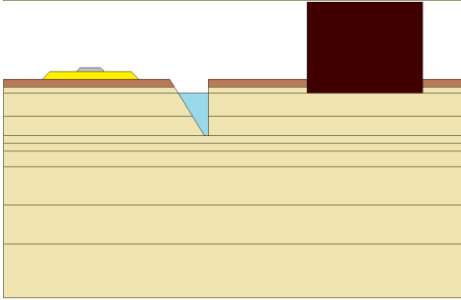
Adres	Bestemming	Referentiesituatie		Plansituatie	
		V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}
Wilhelmsweg 85	Wonen	0.13-0.22	<0.01	0.17-0.23	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.13-0.22	<0.01	0.18-0.28	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.15-0.25	<0.01	0.15-0.27	<0.01
Wilhelmsweg 85A	Wonen	0.15-0.25	<0.01	0.15-0.27	<0.01
Waanderweg 16A-D	Kantoor	0.25-0.41	<0.01	0.25-0.41	<0.01
Waanderweg 18A-B	Kantoor	0.30-0.42	<0.01	0.30-0.42	<0.01
Sierduif 11	Wonen	0.43	<0.01	0.43	<0.01
Sierduif 13	Wonen	0.26	<0.01	0.28	<0.01
Sierduif 15	Wonen	0.26	<0.01	0.27	<0.01
Tortelduif 37	Wonen	0.35	<0.01	0.39	<0.01
Tortelduif 38	Wonen	0.21	<0.01	0.23	<0.01
Tortelduif 39	Wonen	0.35	<0.01	0.36	<0.01
Tortelduif 40	Wonen	0.45	<0.01	0.47	<0.01
Tortelduif 41	Wonen	0.37	<0.01	0.37	<0.01
Tortelduif 42	Wonen	0.20	<0.01	0.20	<0.01
Tortelduif 43	Wonen	0.38	<0.01	0.38	<0.01
Tortelduif 43A	Wonen	0.33	<0.01	0.33	<0.01
Tortelduif 44	Wonen	0.17	<0.01	0.17	<0.01

7.3.2. Verdiepen sloot

Een andere mogelijke maatregel is het verdiepen van de sloot tussen het spoor en de bebouwing. Tussen de achtertuin van de woningen en het spoor ligt een smalle groenstrook met struiken en bomen, vervolgens een smalle grasstrook, een ondiepe greppel van ongeveer 1 meter diep, waarna de spoorzone begint. De greppel van 1 meter diep kan worden verdiept als maatregel, dit heeft wel gevolgen voor de breedte van de groenstrook. Hoe dieper de sloot, hoe kleiner de resterende beschikbare ruimte. Als uitgangspunt is gehanteerd dat de struiken en bomen zoveel mogelijk gespaard blijven als zichtwerende voorziening tussen het spoor en de bebouwing.

De inpasbare opties voor de geometrie van de sloot zijn weergegeven in Tabel 7-2. Deze maatregelen zijn op effectiviteit doorgerekend voor alle woningen met een kans op een overschrijding van het beoordelingskader. Per maatregel is een korte omschrijving, de trillingssterkte in de plansituatie en de totale bouwkosten per meter weergegeven. Tevens is aangegeven of de maatregel voldoende effectief is. Situaties waarbij na het nemen van de maatregel nog niet wordt voldaan aan het beoordelingskader, zijn oranje gearceerd.

Tabel 7-2 *Overzicht van onderzochte opties voor een sloot*

Maatregel	Afbeelding	Kosten/m	Sierduif 11	Sierduif 13	Sierduif 15	Tortelduif 37
Geen maatregel (uitgangssituatie)			0.47	0.30	0.27	0.37
A. Sloot verdiepen tot 1.8 meter diepte		€ 400 - € 600	0.47	0.30	0.24	0.37
B. Sloot verdiepen tot 4.0 meter diepte		€ 1.000 - € 1.300	0.47	0.30	0.24	0.37
C. Sloot verdiepen tot 4.8 meter diepte, in combinatie met beschoeiing		€ 2.000 - € 2.600	0.45	0.29	0.23	0.34
D. Sloot verdiepen tot 7.3 meter diepte, in combinatie met beschoeiing		€ 3.700 - € 4.500	0.37	0.24	0.21	0.32

Uit het maatregelenonderzoek volgt dat een maatregel een minimale diepte van ongeveer 6 tot 7 meter moet hebben om voldoende effect te hebben voor alle locaties met een overschrijding van het beoordelingskader.

7.3.3. Aanpassing aan bebouwing

Gezien de ongunstige horizontale overdrachtskarakteristieken van de meeste woningen is het ook te overwegen om maatregelen aan de bebouwing te treffen. Reductie van de verticale overdracht is niet zinvol, omdat de trillingen in die richting al onder de streefwaarden van de SBR B-richtlijn vallen.

Voor het reduceren van de horizontale overdracht dienen niet-dragende tussenwanden te worden vervangen door dragende tussenwanden, zodat een stevige constructie wordt gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door gemetselde wanden die vanaf de fundering tot aan het dak worden opgetrokken, of door gebruik te maken van stalen kruisprofielen in holle muren, waarbij de stalen kruisprofielen aan de buitenmuren zijn bevestigd. Doel van de aanpassingen is om de horizontale eigenfrequentie in de dwarsrichting (korte overspanning) van het gebouw te verhogen van naar minimaal 20 Hz. Dit kan bereikt worden door een van de tussenwanden te verstevigen of vervangen. Met de voorgestelde gebouwaanpassingen zal de trillingssterkte bij de meetlocaties met meer dan een bouwlaag naar verwachting tot onder de streefwaarden kunnen worden teruggebracht. De kosten van deze maatregel bedragen naar schatting ca. € 30.000 tot € 60.000 per gebouw. Nadeel van deze maatregel is de grote impact ervan op de bewoners. Bewoners kunnen gedurende een periode van minimaal enkele weken niet in hun woning verblijven, bovendien leiden maatregelen aan de bebouwing vrijwel in alle gevallen tot blijvende wijzigingen in de indeling van de woning.

7.4 Afweging van maatregelen

Gezien de hoge kosten van maatregelen per woning is het aantal doelmatige maatregelen beperkt. Alleen het verplaatsen van de wissel bij de Sierduif naar een andere locatie, het verdiepen van de spoorsloot en het aanpassen van de bebouwing zijn maatregelen waarvan de kosten (mogelijk) lager zijn dan het richtbedrag per woning van € 47.000.

Het verplaatsen van de wissel naar een locatie tussen de Tortelduif en de Sierduif in heeft onvoldoende effect en is daarmee geen doelmatige maatregel.

Het realiseren van een (zeer diepe) spoorsloot van 7.3 meter diep, met aan de bebouwingzijde een beschoeiing om het grote hoogteverschil te overwinnen, reduceert het aantal (mogelijke) overschrijdingen tot nul, de kosten-batentabel van deze maatregel is weergegeven in Tabel 7-3. Uit de kosten-batentabel blijkt dat de voorgestelde maatregel niet doelmatig is. Het voorgestelde bedrag per gebouw voor maatregelen komt neer op € 156.000 tot € 186.000 per woning, aanzienlijk meer dan het richtbedrag van € 47.000 per woning.

Tabel 7-3 Kosten-batentabel

Kosten	Kosten per meter	Lengte maatregel	Totaal
	€ 3.700 – 4.500	110 m	€ 407.000 tot € 495.000

Baten	Aantal adressen	Richtbedrag / adres	
Subtotaal	4	€ 47.000	€ 188.000
Saldo			- € 307.000 tot - € 219.000

De maatregel is ingetekend in Figuur 7-4. In deze figuur is zichtbaar dat een diepere sloot in verband met ruimtegebrek niet haalbaar is, omdat dan ook de breedte van de sloot moet toenemen. Ook de stabiliteit van het talud staat een dergelijk diepe sloot niet toe. Om de breedte te reduceren is al gekozen voor een beschoeiing aan een zijde, een aan weerszijden beschoeide sloot is niet mogelijk in verband met de taludstabiliteit, hoge kosten en onderhoudbaarheid.



Figuur 7-4 Plansituatie met sloot van 7.3 meter diep met beschoeiing aan zijde bebouwing

Behalve het feit dat deze maatregel niet doelmatig is, leidt inpassing tot een aantal knelpunten. Wanneer de maatregel vanuit de spoorzijde wordt gegraven, blijft de impact op de omgeving relatief beperkt. Een deel van de begroeiing moet wel worden verplaatst. Ook leidt deze maatregel tot een aanzienlijke reductie van de oppervlakte van het park. Verder zijn er risico's ten aanzien van de taludstabiliteit, gezien de grote diepte van de sloot.

Het aanpassen van de ongunstige overdrachtskarakteristieken van een aantal woningen, met name in horizontale richting, kan de trillingssterkte ook

reduceren tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn voor gebouwen met meer dan een bouwlaag. Deze aanpassing komt neer op het vervangen van niet-constructieve binnenwanden door constructieve binnenwanden. De kosten van deze maatregel bedragen naar schatting ca. € 30.000 tot € 60.000 per gebouw. De verwachting is dat met dergelijke maatregelen in drie woningen de trillingssterkte kan worden gereduceerd tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Voor Sierduif 15 vormen constructieve aanpassingen geen afdoende oplossing, dit gebouw heeft slechts een bouwlaag. Nadeel van deze maatregel is de grote impact ervan op de bewoners. Bewoners kunnen gedurende een periode van minimaal enkele weken niet in hun woning verblijven, bovendien leiden maatregelen aan de bebouwing vrijwel in alle gevallen tot blijvende wijzigingen in de indeling van de woning.

Andere maatregelen hebben nog hogere kosten, zeker gezien de forse afmetingen die dergelijke maatregelen dienen te hebben om de laagfrequente trillingen van de goederentreinen voldoende te reduceren.

Bijlage 5 van de SBR B-richtlijn geeft aanvullende richtlijnen om de trillingssterkte V_{\max} van weg- en railverkeer te beoordelen op hinderlijkheid bij overschrijding van de streefwaarden. Hier staat dat *'het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden onder meer afhankelijk kan zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen. Ernstige hinder is niet toelaatbaar.'* Voor het huidige onderzoeksgebied geldt dat de berekende trillingssterkte geclassificeerd wordt als matige hinder, slechts incidenteel voorkomt bij goederentreinpassages en dat de trillingssterkte op geen enkele locatie voelbaar toeneemt³. Verder geldt dat mitigerende maatregelen aan het spoor of tussen de woningen en het spoor zeer hoge kosten met zich mee brengen, terwijl het aanpassen van de woningen tot ernstige hinder voor de omwonenden leidt. Op basis van de historische aanwezigheid van trillingen in het onderzoeksgebied, de niet-voelbare toename in trillingssterkte ten gevolge van het project met de bestaande jurisprudentie⁴ daaromtrent en de grote impact van maatregelen aan de bebouwing op de omwonenden, adviseren wij daarom om geen maatregelen toe te passen.

³ Een toename van minder dan 30 procent wordt in de literatuur als 'niet voelbaar' geclassificeerd. Bij het huidige project neemt de trillingssterkte met maximaal 20 procent toe, ruim lager dan een voelbare toename.

⁴ Zie hiervoor de uitspraak *Sporen in Den Bosch*, 201105267/1/R4 van 15 februari 2012

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In het voorliggende trillingsonderzoek is de trillingssituatie bepaald voor de referentie- (2014) en plansituatie (in het jaar 2018, na realisatie van het extra spoor bij Emmen-Zuid) voor gebouwen in de omgeving van station Emmen-Zuid. Op basis van metingen en berekeningen wordt de trillingssituatie in de referentie- en plansituatie voor alle eerstelijnsgebouwen in het onderzoeksgebied weergegeven.

Uit het onderzoek volgt dat het project tot een mogelijke overschrijding van de SBR B-richtlijn leidt in vier woningen aan de Sierduif en de Tortelduif in Emmen. Overigens leidt het project nergens tot een voelbare toename in trillingshinder, de toename in trillingssterkte is overal kleiner dan 30 procent.

Gezien deze overschrijdingen van het beoordelingskader is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Op basis van de hoge kosten van maatregelen en de relatief grote afstand tussen de woningen, is het aantal kosteneffectieve maatregelen beperkt. Alleen het aanpassen van het spoorontwerp, het verdiepen van de spoorvloer en het aanpassen van de ongunstige overdrachtskarakteristieken van de woningen zijn maatregelen waarvan de kosten mogelijk lager zijn dan het richtbedrag per woning van € 47.000.

Het aanpassen van het spoorontwerp, bijvoorbeeld door het verplaatsen van de wissels, leidt niet tot een reductie in aantal woningen waar het beoordelingskader wordt overschreden en is daarmee niet kosteneffectief. Het verdiepen van de spoorvloer tot een diepte van 7.3 meter leidt wel tot een reductie in aantal woningen waar het beoordelingskader wordt overschreden, maar de kosten van deze maatregel zijn aanzienlijk hoger dan € 47.000 per woning. Bovendien leidt deze maatregel tot een sterke reductie van de oppervlakte van het park en zijn er risico's ten aanzien van de taludstabiliteit, gezien de grote diepte van de vloer.

Uit de metingen blijkt ook dat vrijwel alle onderzochte woningen ongunstige gebouweigenschappen kennen, waardoor de trillingen van goederentreinen fors worden versterkt. Door het aanpassen van de gebouweigenschappen kan de trillingssterkte worden gereduceerd tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn voor gebouwen met meer dan een bouwlaag. De kosten van aanpassingen aan de woningen bedragen naar schatting ca. € 30.000 tot € 60.000 per gebouw. De verwachting is dat met dergelijke maatregelen de trillingssterkte in drie van de vier woningen kan worden gereduceerd tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Voor Sierduif 15 vormen constructieve aanpassingen geen afdoende oplossing, dit gebouw heeft slechts een bouwlaag. Nadeel van deze maatregel is de grote impact ervan op de bewoners. Bewoners kunnen gedurende een periode van minimaal enkele weken niet in hun woning verblijven, bovendien leiden maatregelen aan de bebouwing vrijwel in alle gevallen tot blijvende wijzigingen in de indeling van de woning.

8.2 Aanbevelingen

Het project zorgt voor een maximale toename in trillingssterkte van 15 procent. Een toename in trillingssterkte van minder dan 30 procent wordt in de literatuur als ‘niet voelbaar’ geïnclassificeerd.

Uit het maatregelenonderzoek volgt dat maatregelen aan het spoor of tussen het spoor en de woningen niet doelmatig en onvoldoende effectief zijn. Alleen maatregelen in of aan de woningen kunnen de trillingssterkte reduceren tot onder de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn wanneer rekening wordt gehouden met de doelmatigheid van maatregelen.

Bijlage 5 van de SBR B-richtlijn geeft aanvullende richtlijnen om de trillingssterkte V_{\max} van weg- en railverkeer te beoordelen op hinderlijkheid bij overschrijding van de streefwaarden. Voor het huidige onderzoeksgebied geldt dat de berekende trillingssterkte geïnclassificeerd wordt als matige hinder, slechts incidenteel voorkomt bij goederentreinpassages en dat de trillingssterkte op geen enkele locatie voelbaar toeneemt. Verder geldt dat mitigerende maatregelen aan het spoor of tussen de woningen en het spoor zeer hoge kosten met zich mee brengen, terwijl het aanpassen van de woningen tot ernstige hinder voor de omwonenden leidt. Op basis van de historische aanwezigheid van trillingen in het onderzoeksgebied, de niet-voelbare toename in trillingssterkte ten gevolge van het project met de bestaande jurisprudentie daaromtrent en de grote impact van maatregelen aan de bebouwing op de omwonenden, adviseren wij daarom om geen maatregelen toe te passen.

Colofon

Opdrachtgever **ProRail B.V.**

Uitgave **Movares Nederland B.V.**

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

**Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht**

Telefoon **030-265 5322**

Ondertekenaar **ir. P.M. Boon**
Adviseur

Projectnummer **RA001429**

Opgesteld door **ir. P.M. Boon**

©2014, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, 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 Gegevens metingen

I.1 Sierduif 11

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel I-1.

Tabel I - 1 Gegevens eerste meting Sierduif 11, Emmen

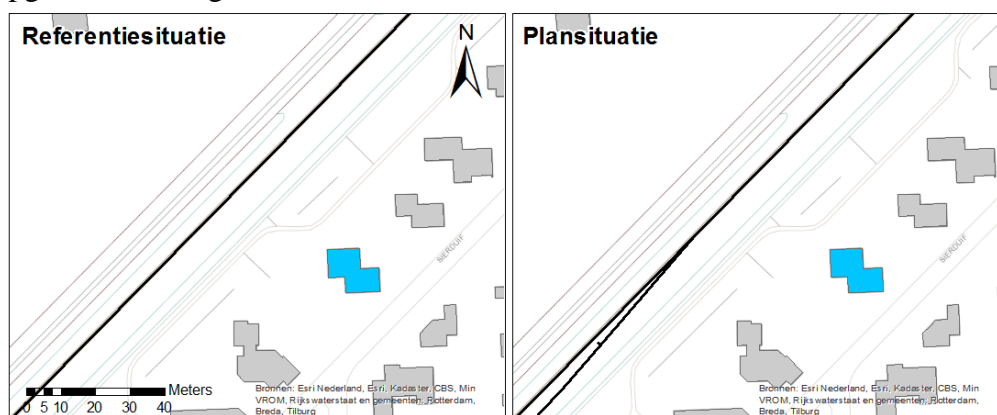
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>ir. P. Bouwma en ir. R. Ritzen</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>16 september 2014 15:00 tot 30 september 2014 15:00</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwsomschrijving	<i>Drielaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-5</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons en een 2D-gefoon</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>DS-net meetcomputer met 8 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-6 tot en met Figuur I-8</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-1.



Figuur I - 1 Foto gevel Sierduif 11

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-2.

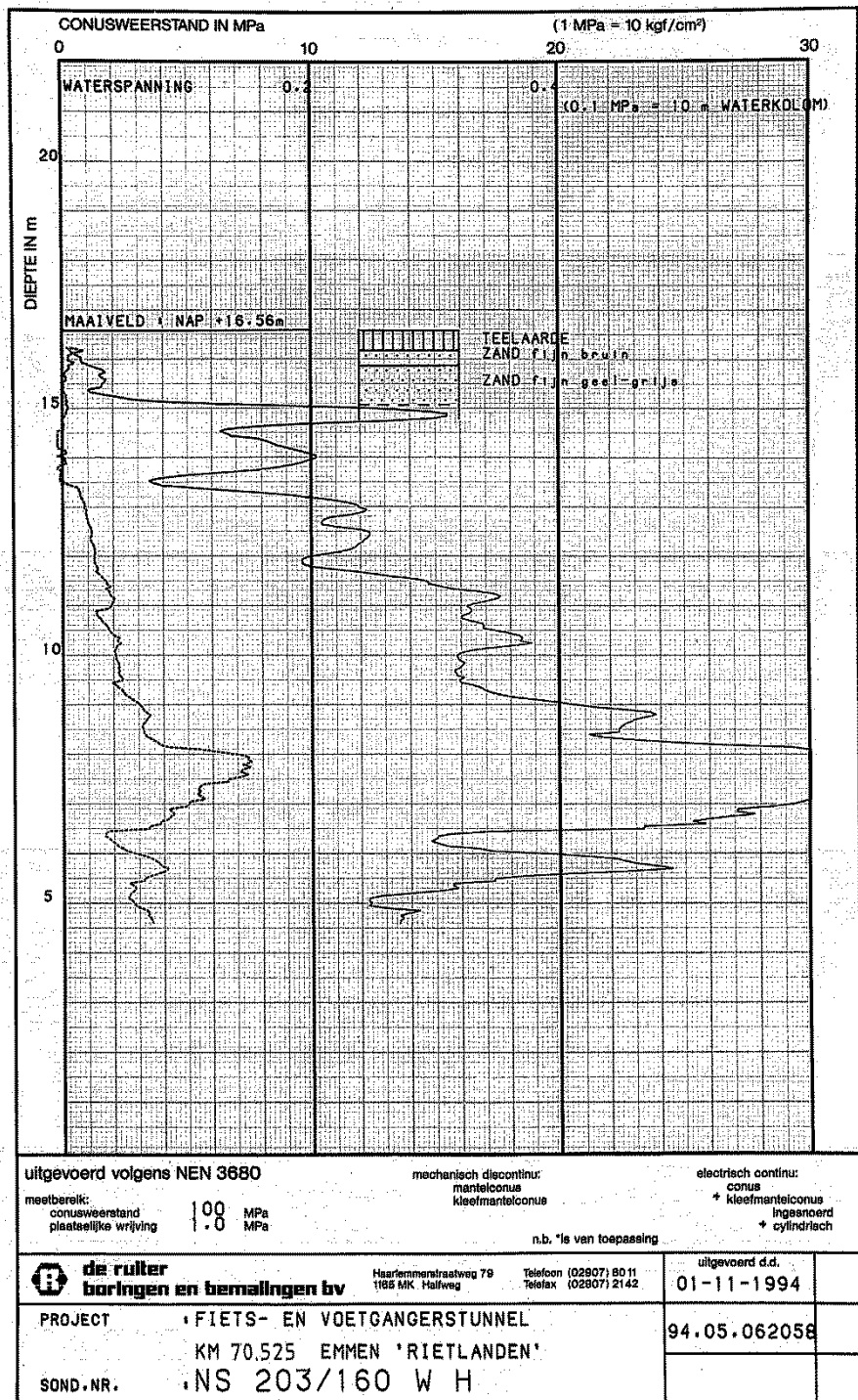


Figuur I - 2 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Sierduif 11

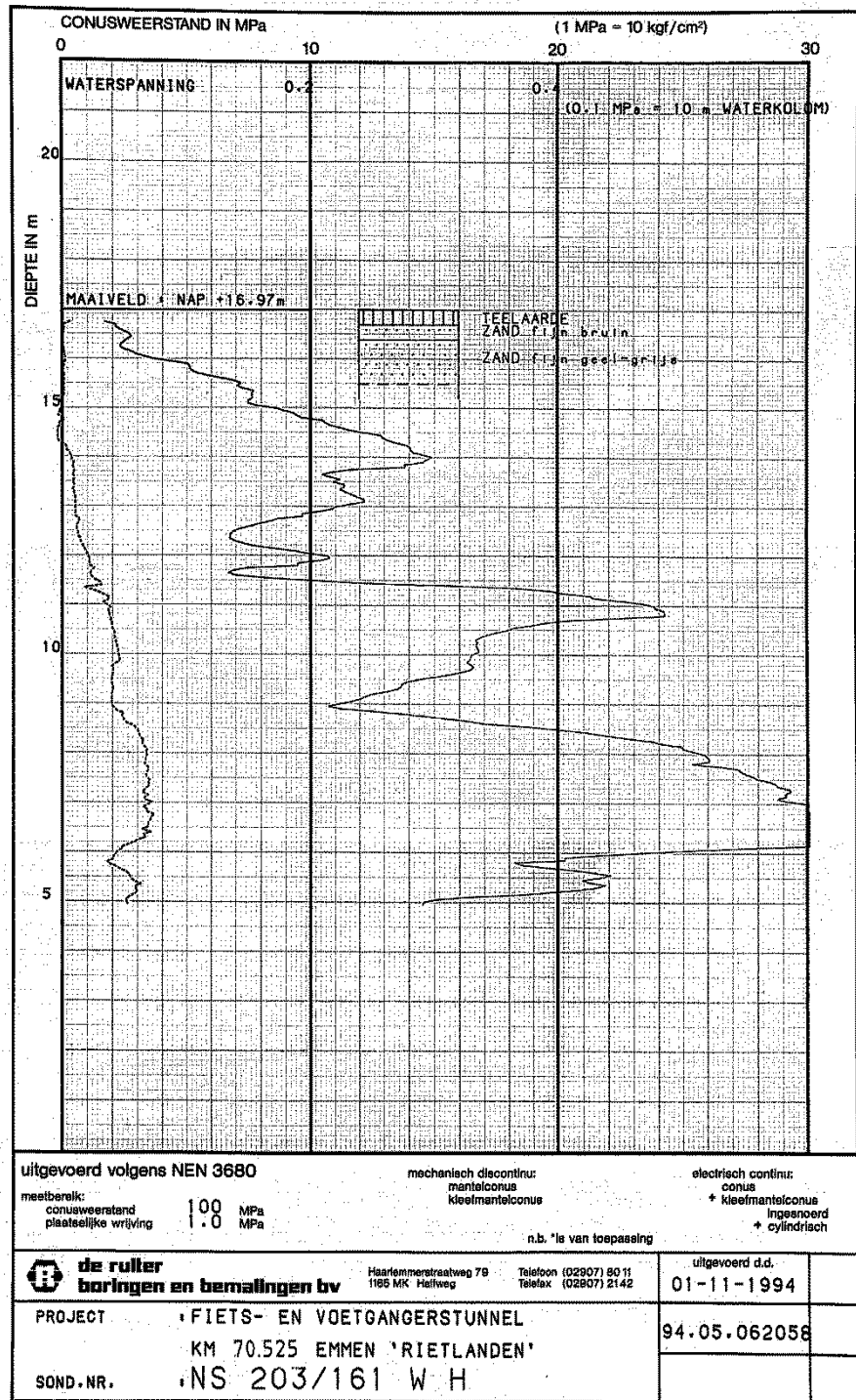
Twee sonderingen in de nabijheid van de meetlocatie zijn weergegeven in Figuur I-3 en Figuur I-4. Uit de sonderingen blijkt dat de bodemopbouw vrij uniform uit zand bestaat. Van de grondopbouw is voor het berekenen van het effect van de maatregelen een 3D eindige elementen model opgesteld. De gebruikte dynamische grondeigenschappen, op basis van sondering 203/160, zijn weergegeven in Tabel I-2.

Tabel I - 2 Grondparameters 3D eindige elementen model

Grondsoort	Diepte							
	(m boven NAP)	q_c [MPa]	f_w [%]	G_{dyn} [MPa]	r [kg/m ²]	n [-]	C_{schuif} [m/s]	x [%]
Slappe klei	17 tot 15	2	3	30	1800	0.46	129	4
Nat zand	15 tot 14.5	14	1	120	1990	0.45	246	3
Nat zand	14.5 tot 11.5	10	1	86	1950	0.45	210	3
Nat zand	11.5 tot 9	17	1	146	2020	0.45	269	3
Nat zand	9 tot 8	22	1	189	2070	0.45	302	3
Nat zand	8 tot 7	35	1	301	2150	0.45	374	3
Nat zand	7 tot 5	20	1	172	2050	0.45	290	3
Nat zand	5 tot 0	16	1	138	2000	0.45	262	3
Nat zand	0 tot -5	10	1	86	1990	0.45	208	3
Nat zand	-5 tot -10	16	1	138	2000	0.45	262	3



Figuur I - 3 Sondering 203/160



Figuur I - 4 Sondering 203/161

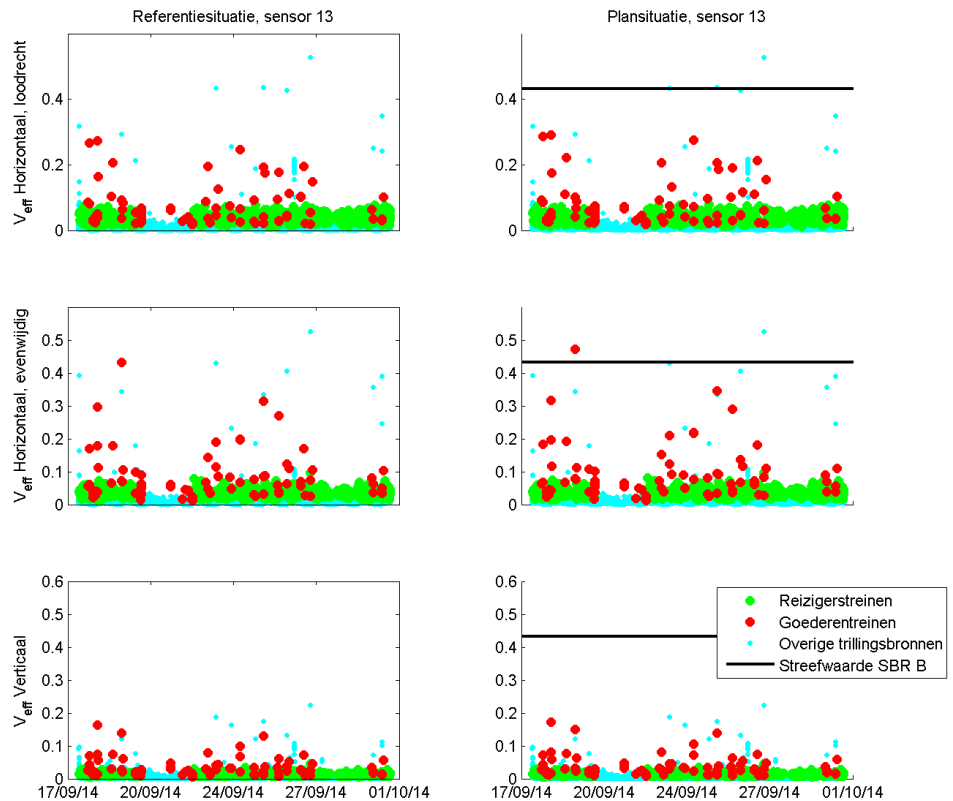
Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-5.



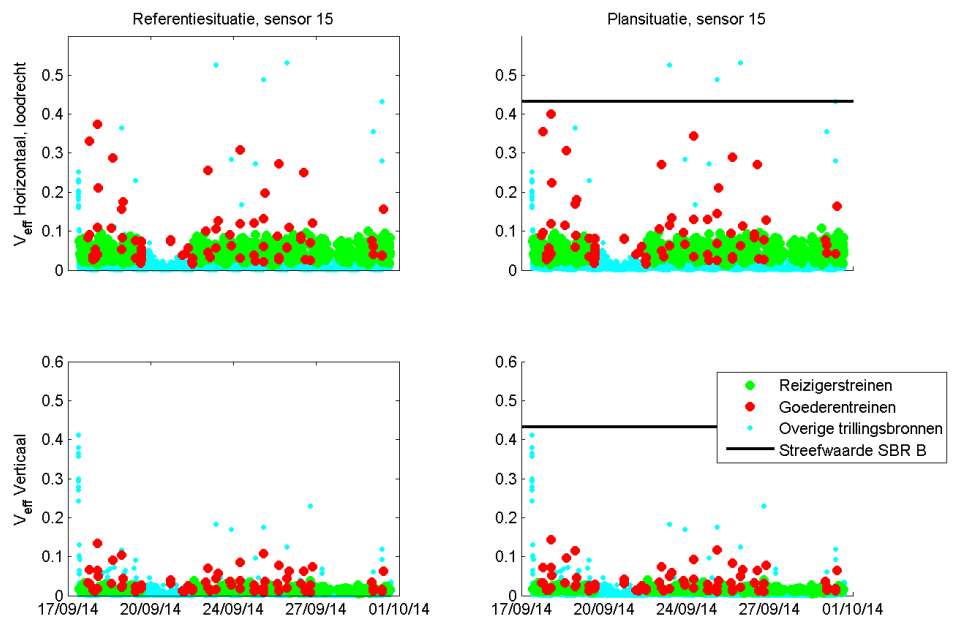
Figuur I - 5 Opstelling sensoren bij eerste meting Sierduif 11

In Figuur I-6 tot en met Figuur I-8 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle gemeten trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen.

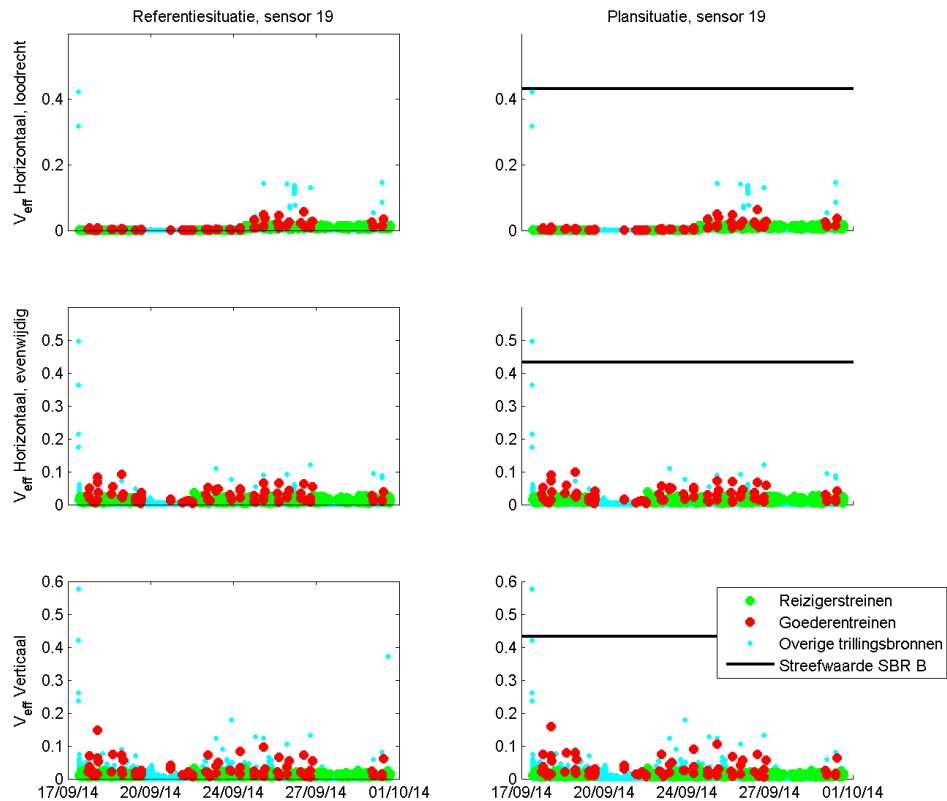
Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I - 6 Resultaten sensor 13, meetpunt midden vloer spoorzijde woning



Figuur I - 7 Resultaten sensor 15, meetpunt midden vloer straatzijde woning



Figuur I - 8 Resultaten sensor 19, meetpunt op fundering

De gegevens van de tweede meting op Sierduif 11 zijn opgenomen in Tabel I-2.

Tabel I-2 Gegevens tweede meting Sierduif 11, Emmen

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht
	Verantwoordelijke persoon	Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454
2	Meting uitgevoerd door	T.P. Seip
3	Tijdperiode meting	9 maart 2015 10:30 tot 12 maart 2015 17:00
4	Type trillingsbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Drielaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.
6	Locatie metingen	Zie Figuur I-2
7	Geotechnische gegevens	Zie Figuur I-3 en Figuur I-4
8	Meetposities	Zie plattegrond in Figuur I-9
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	Webcam gekoppeld aan meetcomputer
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Dewe 101 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur I-6 tot en met Figuur I-8

- | | | |
|----|----------------------------------|---|
| 11 | Motivatie classificatie gebouw | <i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i> |
| 12 | Overige relevante omstandigheden | <i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i> |

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-1. De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-2. Een schets met daarin de sensorposities, die anders zijn dan in de meting in 2014, is weergegeven in Figuur I-9.



Figuur I-9 Opstelling sensoren bij tweede meting Sierduif 11

I.2 Sierduif 13

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel I-3.

Tabel I-3 *Gegevens meting Sierduif 13, Emmen*

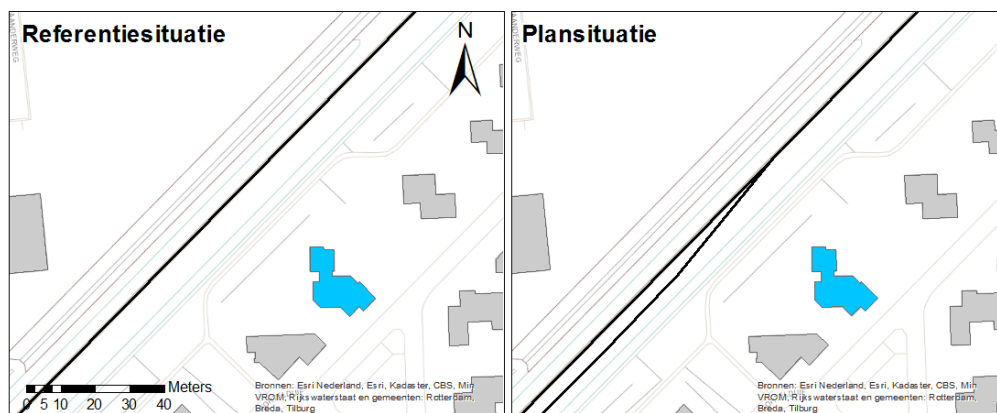
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>9 maart 2015 14:00 tot 10 maart 2015 14:00</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-11</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-12</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 101 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-13 en Figuur I-14</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-10.



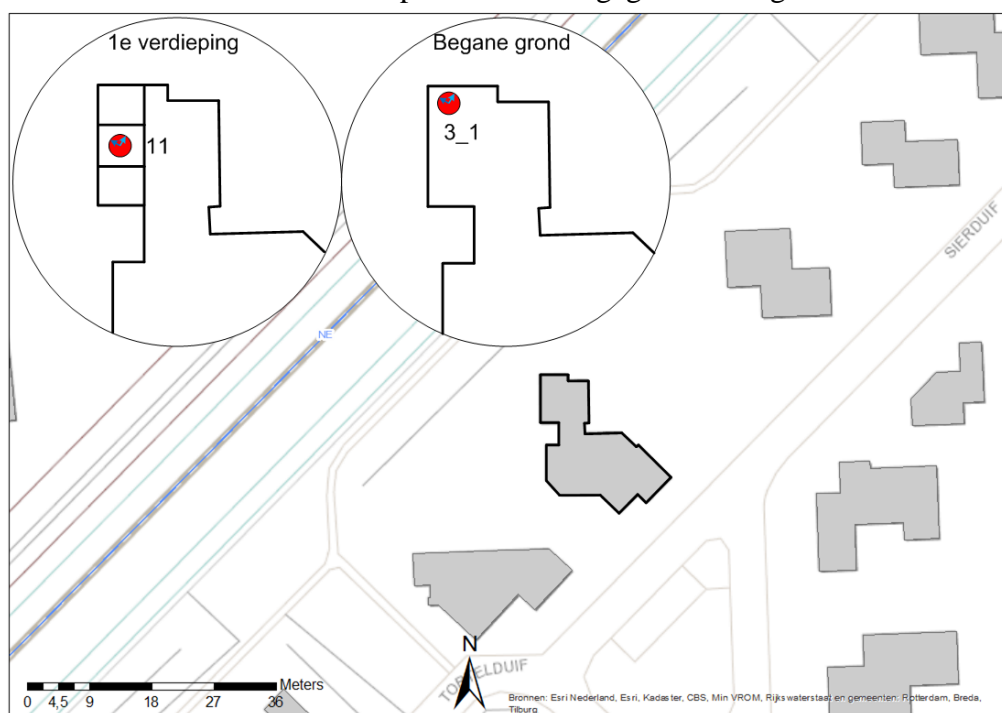
Figuur I-10 *Foto gevel Sierduif 13*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-11.



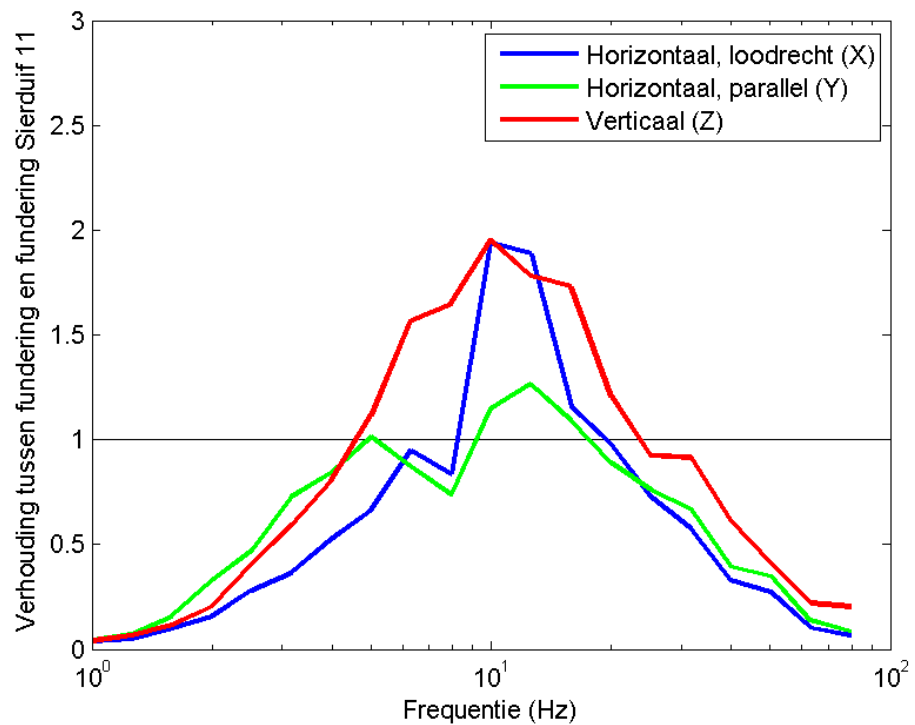
Figuur I-11 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Sierduif 13

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-12.



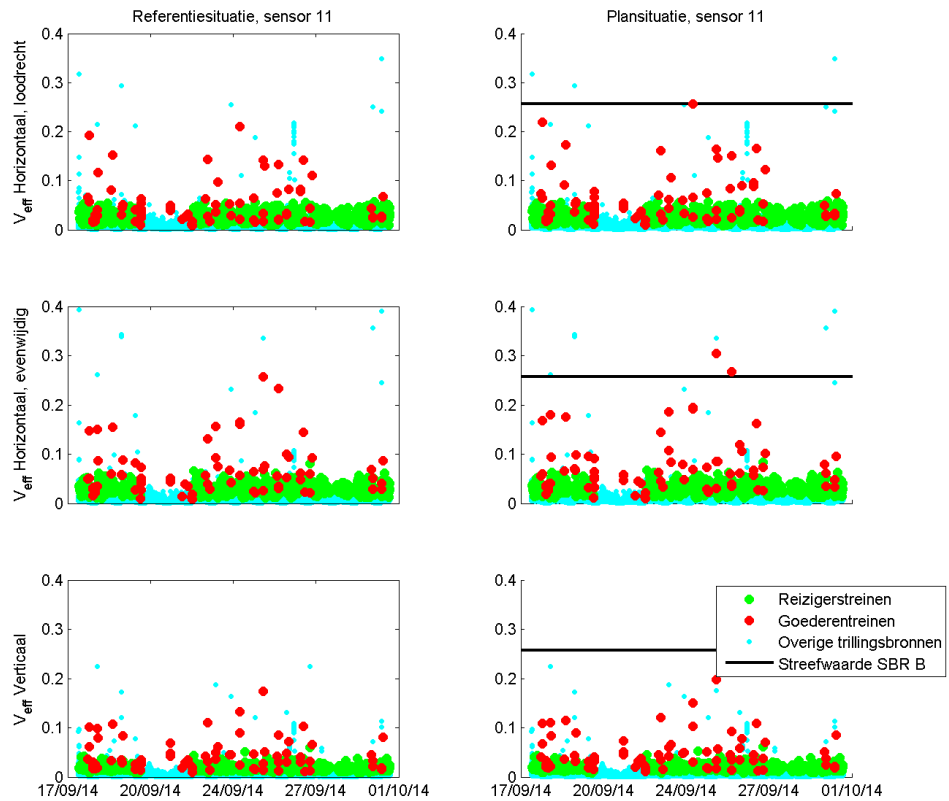
Figuur I-12 Opstelling sensoren bij Sierduif 13

Tijdens de meting bij Sierduif 13 is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-13.

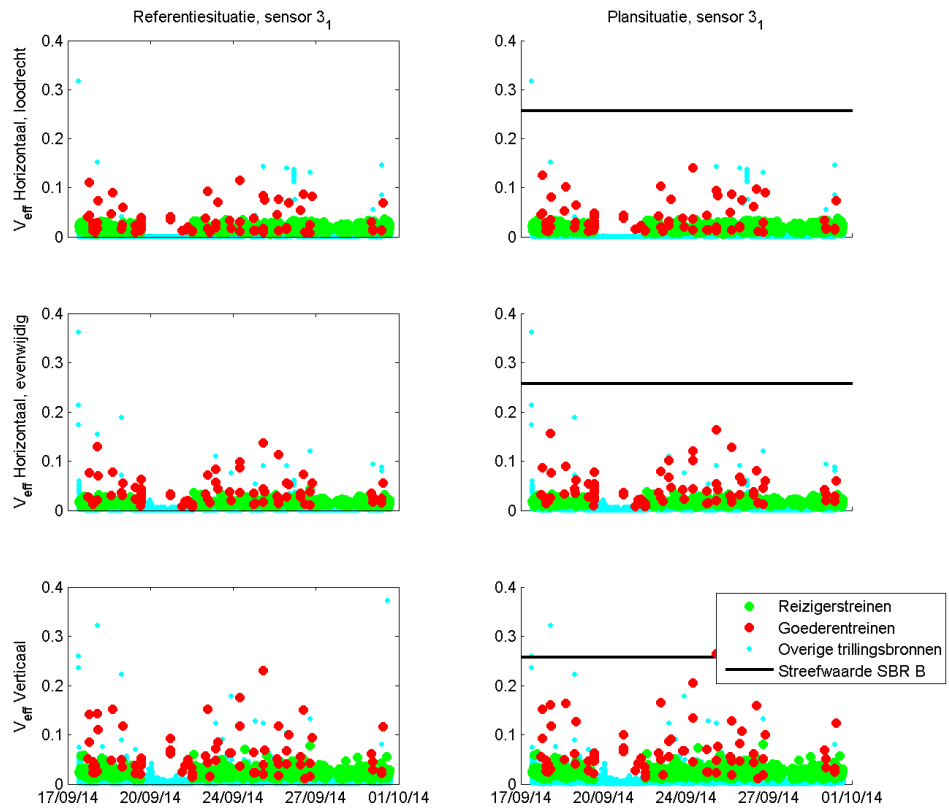


Figuur I-13 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Sierduif 13 en de fundering van Sierduif 11.

In Figuur I-14 en Figuur I-15 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-14 *Berekende resultaten sensor 11, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-15 *Berekende resultaten sensor 3_1, meetpunt op fundering*

I.3 Sierduif 15

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel I-4.

Tabel I-4 *Gegevens meting Sierduif 15, Emmen*

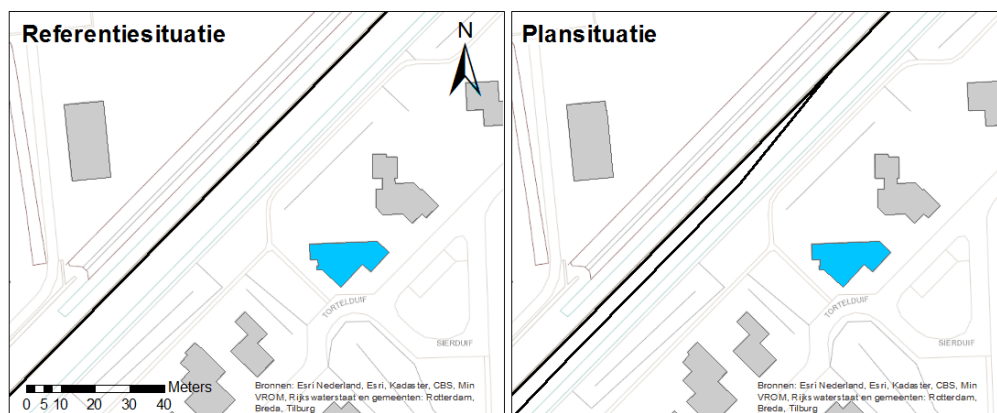
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>11 maart 2015 11:30 tot 12 maart 2015 11:30</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Eenlaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-17</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-18</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 101 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-20 en Figuur I-21</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-16.



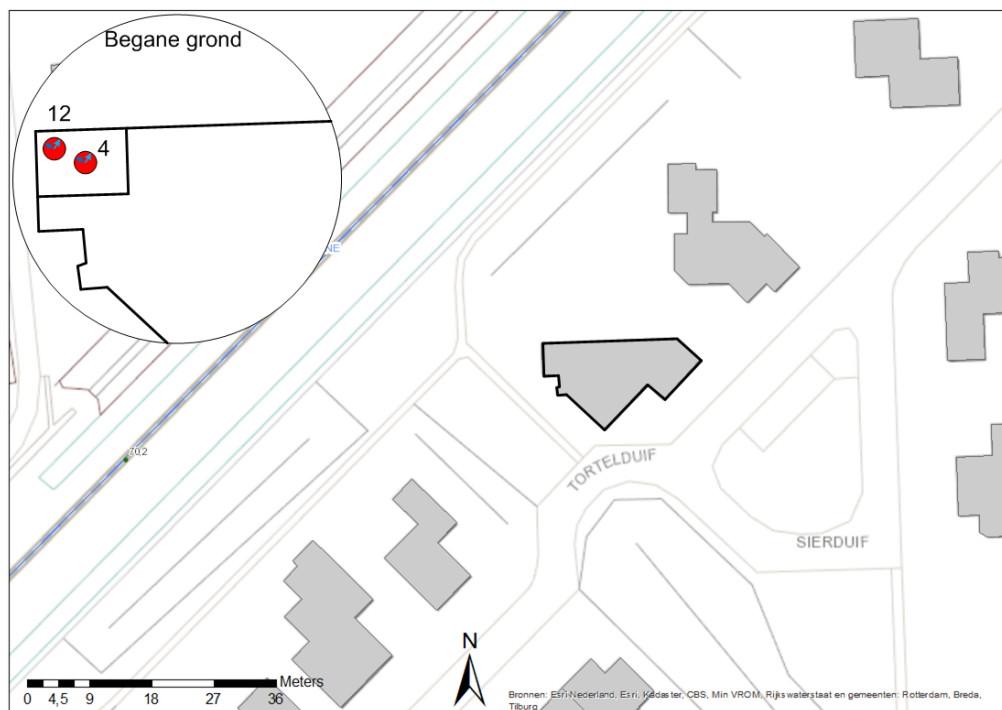
Figuur I-16 *Foto gevel Sierduif 15*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-17.



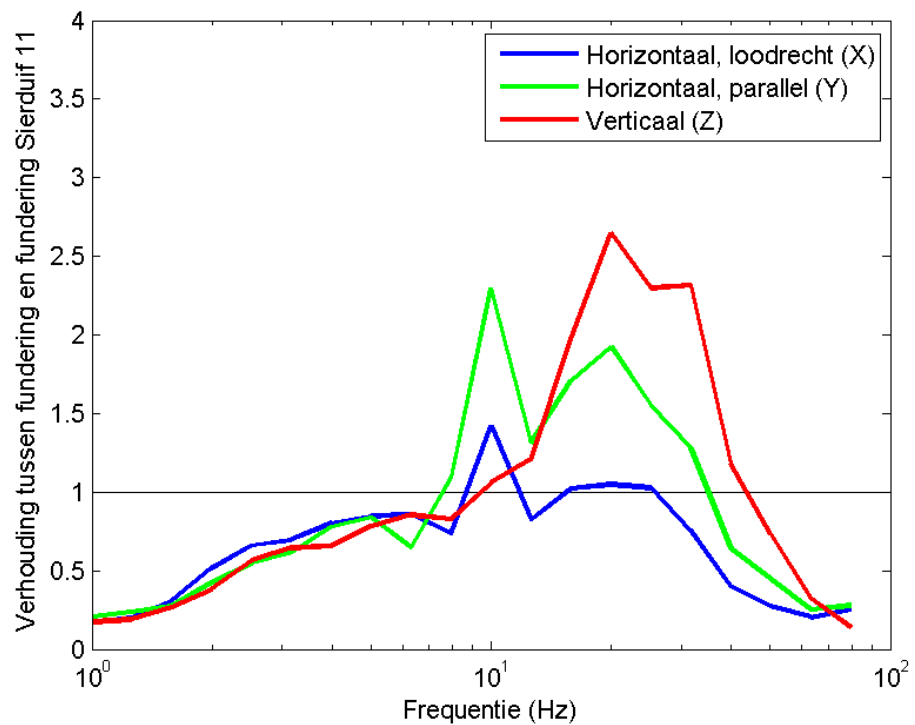
Figuur I-17 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Sierduif 15

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-18.



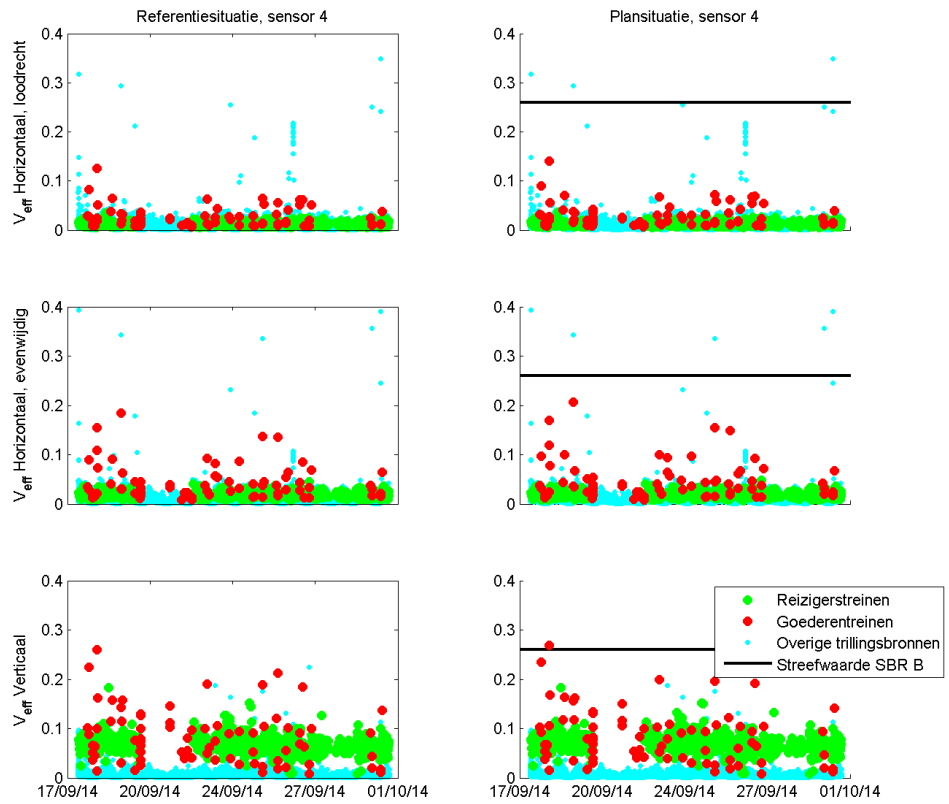
Figuur I-18 Opstelling sensoren bij Sierduif 15

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-19.

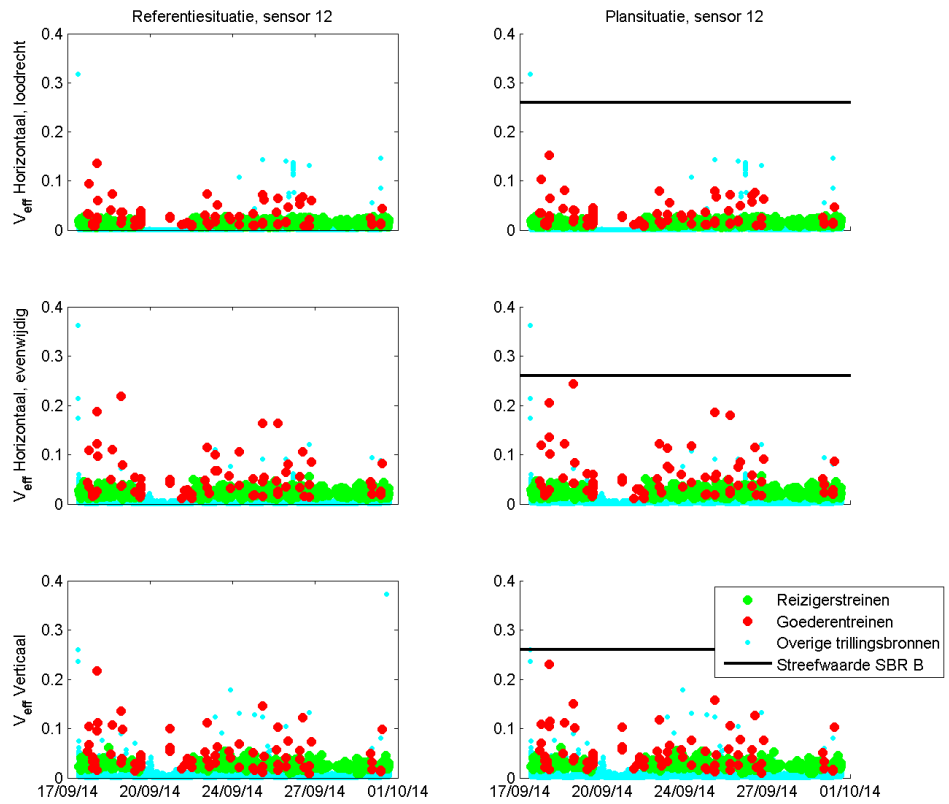


Figuur I-19 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Sierduif 15 en de fundering van Sierduif 11.

In Figuur I-20 en Figuur I-21 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-20 *Berekende resultaten sensor 4, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-21 *Berekende resultaten sensor 12, meetpunt op fundering*

I.4 Tortelduif 37

De gegevens van de metingen op Tortelduif 37 zijn opgenomen in Tabel I-5.

Tabel I-5 *Gegevens meting Tortelduif 37, Emmen*

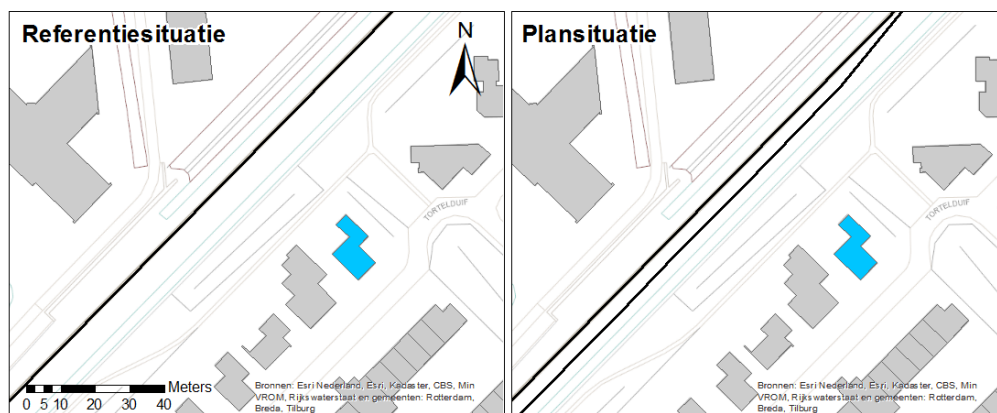
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>11 maart 2015 13:30 tot 12 maart 2015 13:30</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-24</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-24</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 43 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-26 en Figuur I-27</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-22.



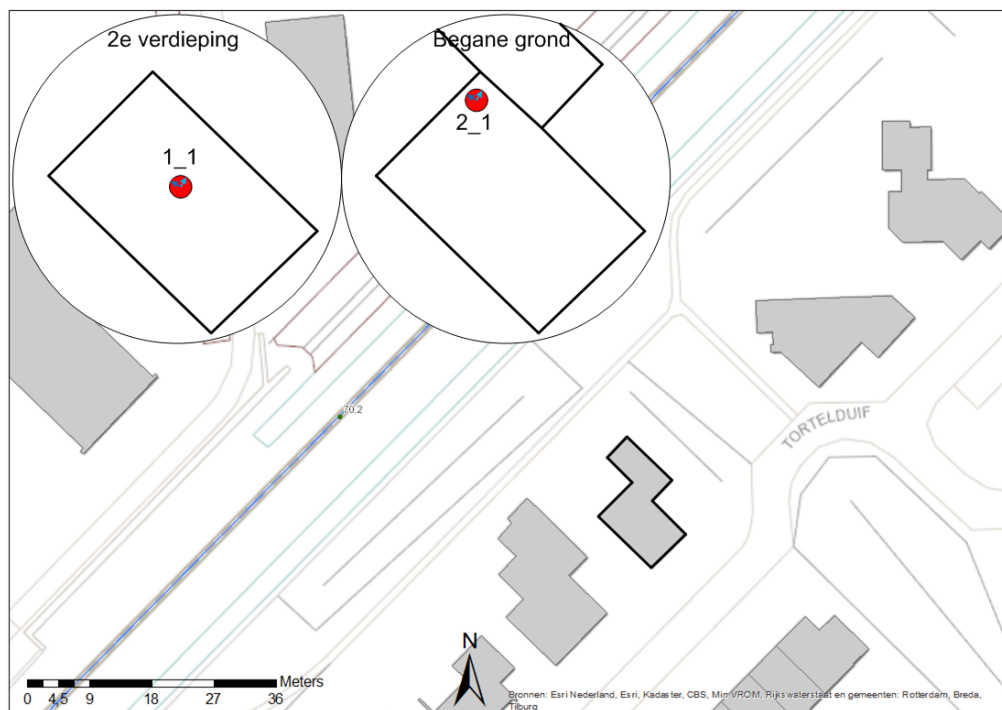
Figuur I-22 *Foto gevel Tortelduif 37*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-23.



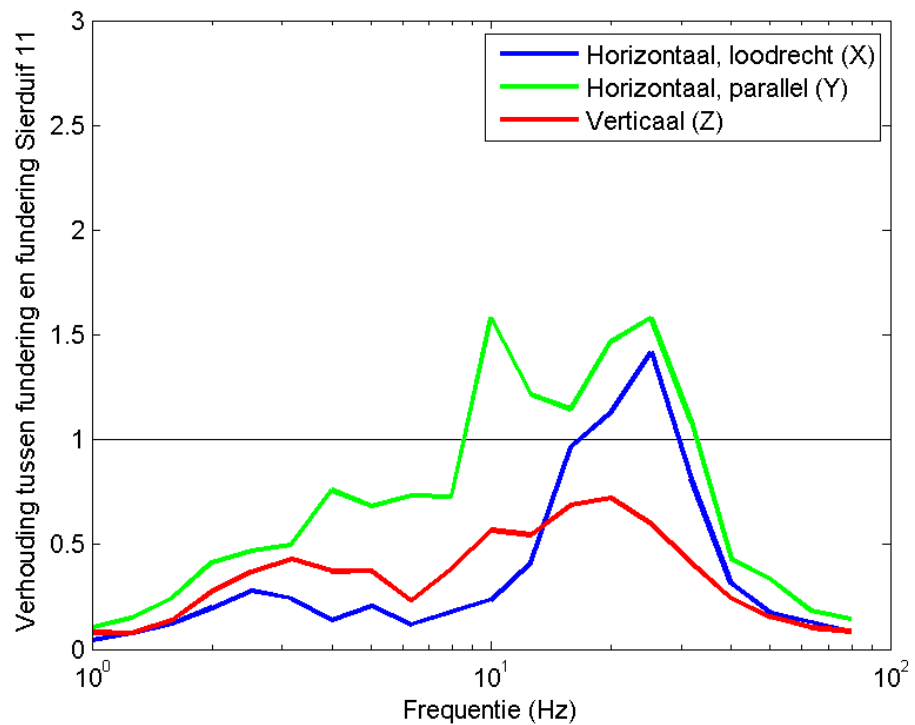
Figuur I-23 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 37

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-24.



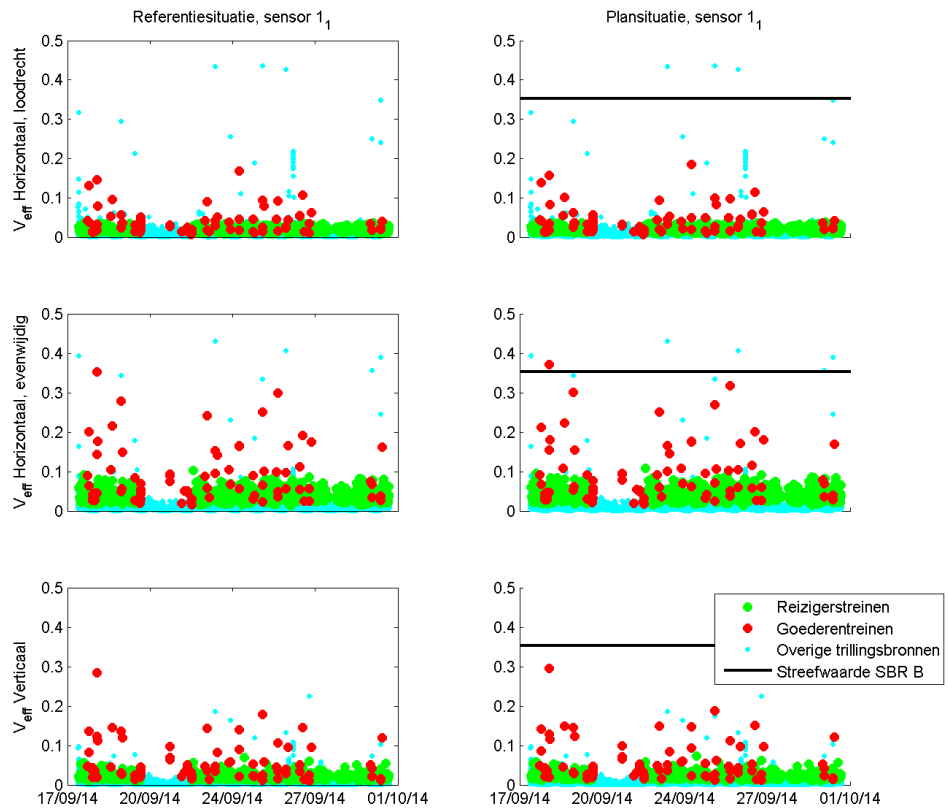
Figuur I-24 Opstelling sensoren bij Tortelduif 37

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-25.

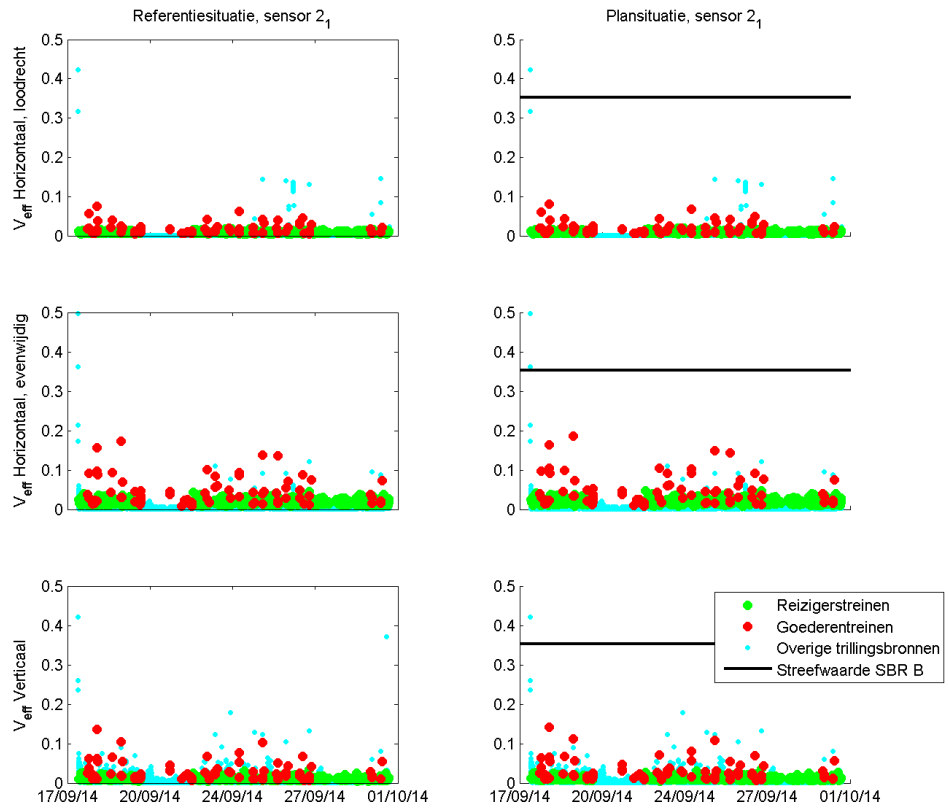


Figuur I-25 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 37 en de fundering van Sierduif 11.

In Figuur I-26 en Figuur I-27 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-26 *Berekende resultaten sensor 1_1, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-27 *Berekende resultaten sensor 2_1, meetpunt op fundering*

I.5 Tortelduif 38

De gegevens van de metingen op Tortelduif 38 zijn opgenomen in Tabel I-6.

Tabel I-6 *Gegevens meting Tortelduif 38, Emmen*

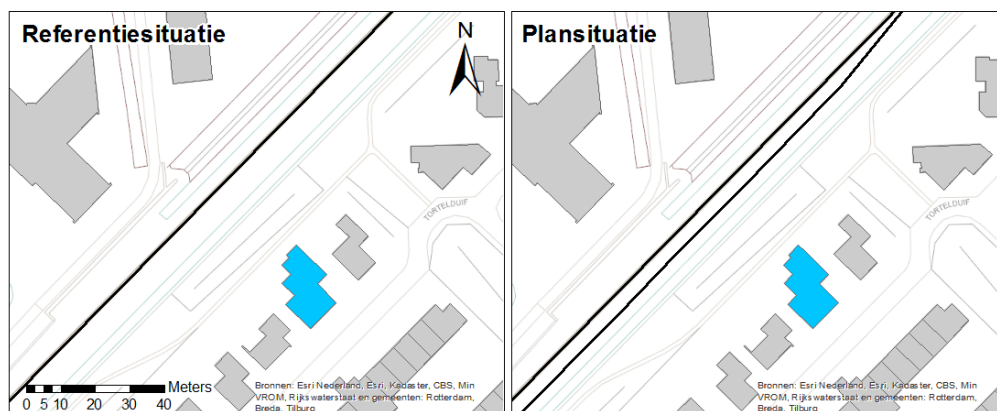
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>11 maart 2015 17:15 tot 12 maart 2015 17:15</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-29</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-30</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>DS Net meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-32 en Figuur I-33</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-28.



Figuur I-28 *Foto gevel Tortelduif 38*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-29.



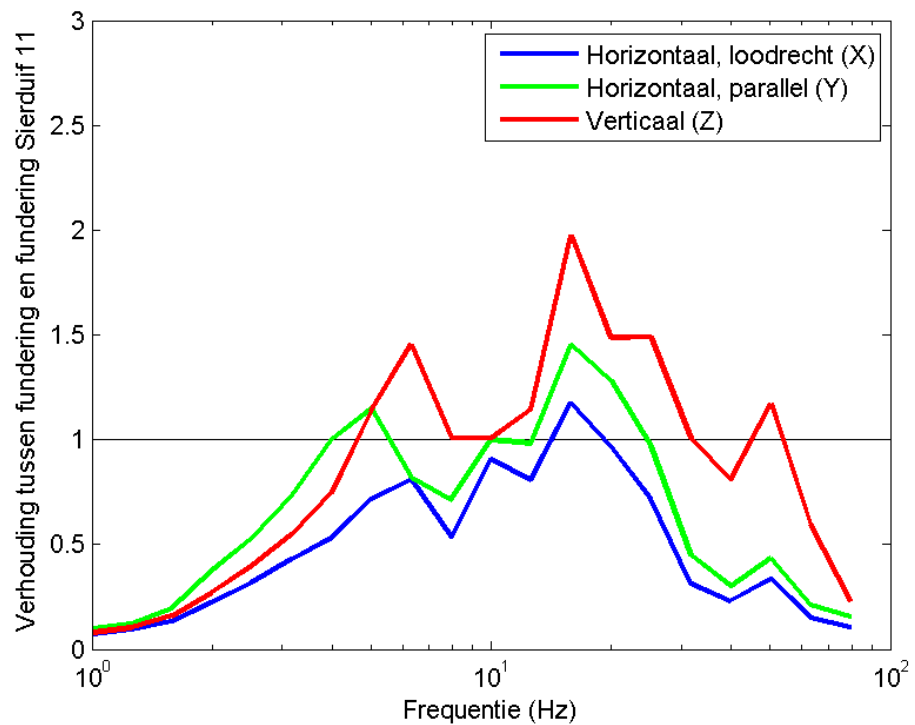
Figuur I-29 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 38

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-30.



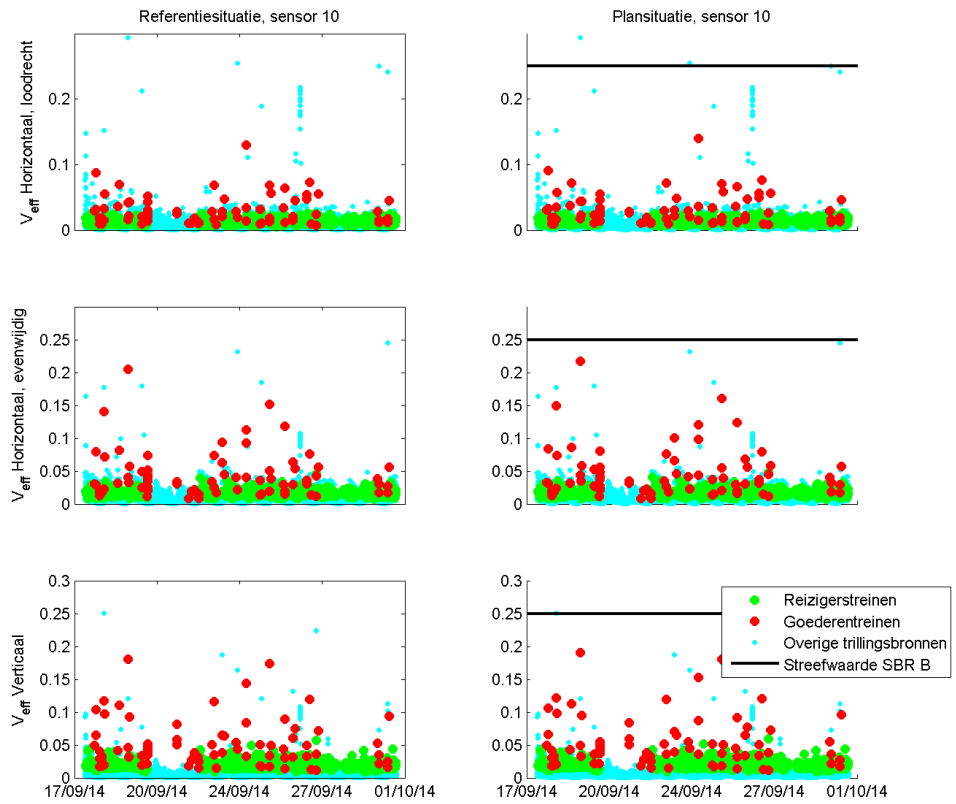
Figuur I-30 Opstelling sensoren bij Tortelduif 38

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-31.

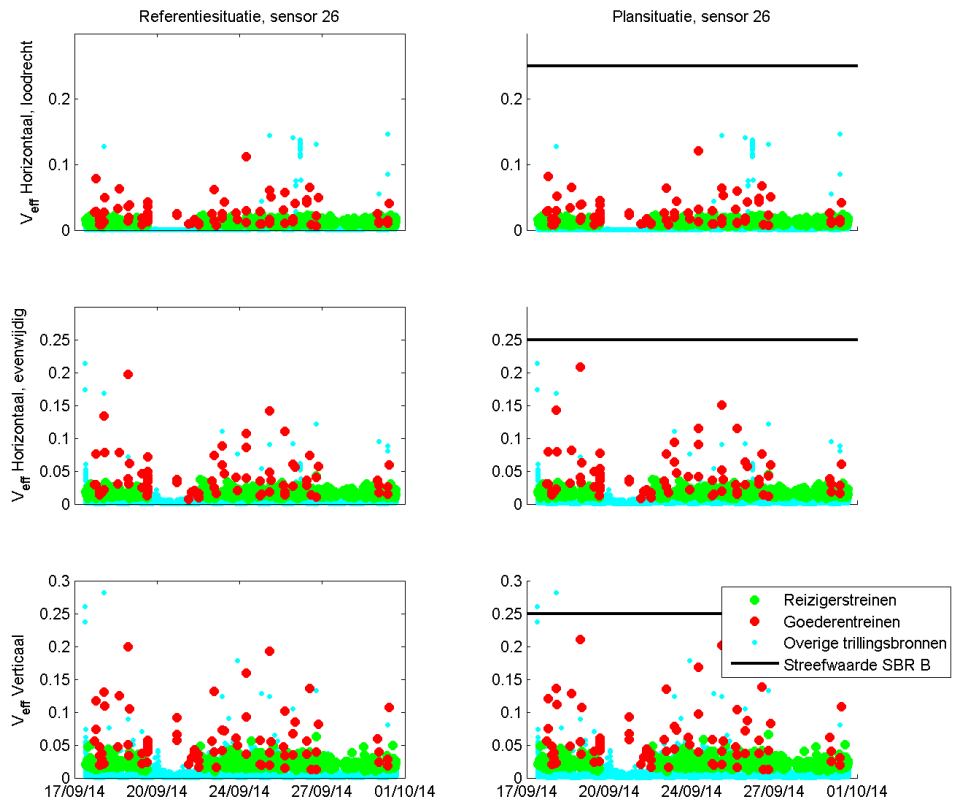


Figuur I-31 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 38 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-32 en Figuur I-33 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-32 *Berekende resultaten sensor 10, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-33 *Berekende resultaten sensor 26, meetpunt op fundering*

I.6 Tortelduif 39

De gegevens van de metingen op Tortelduif 39 zijn opgenomen in Tabel I-7.

Tabel I-7 Gegevens meting Tortelduif 39, Emmen

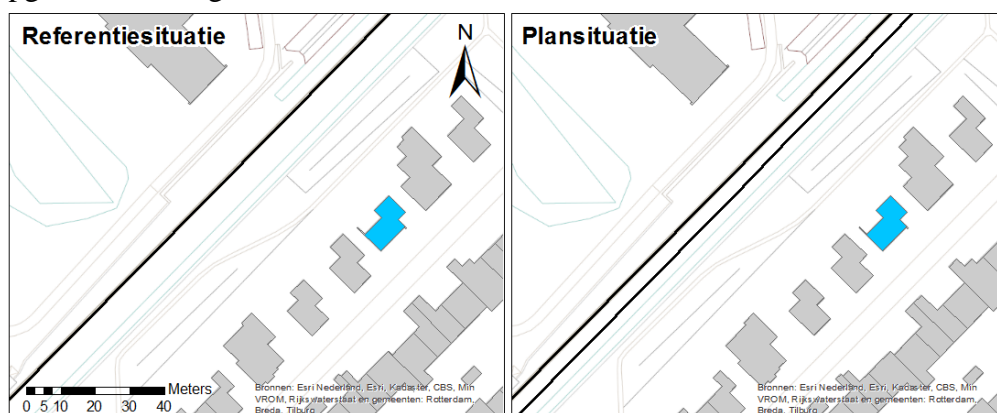
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>10 maart 2015 15:15 tot 11 maart 2015 15:15</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-35</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-36</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 101 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-38 en Figuur I-39</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-34.



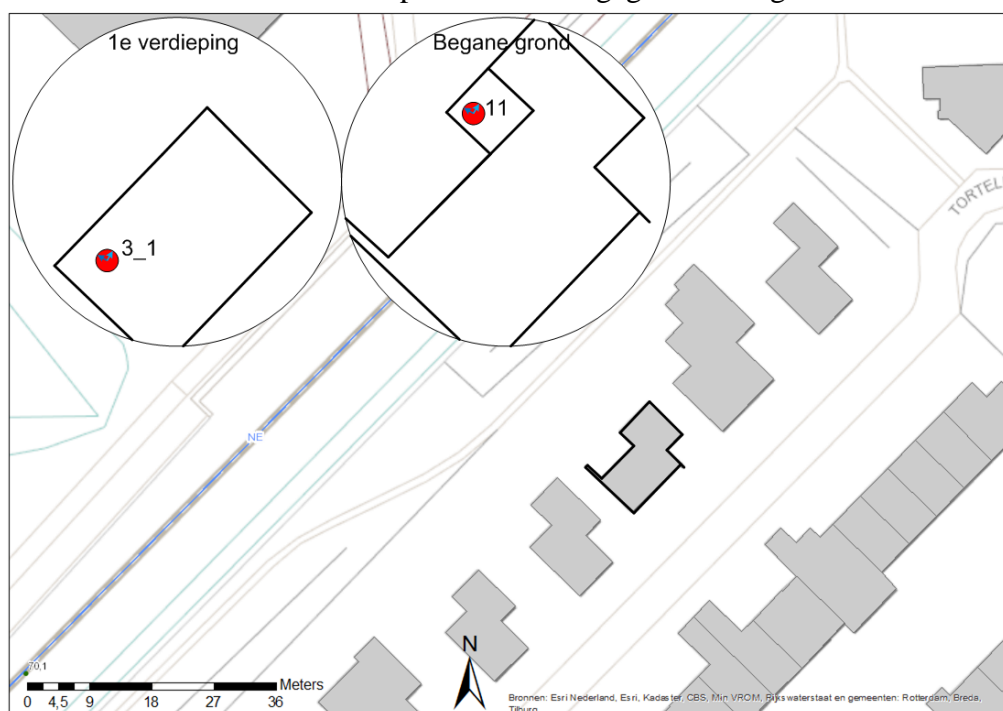
Figuur I-34 Foto gevel Tortelduif 39

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-35.



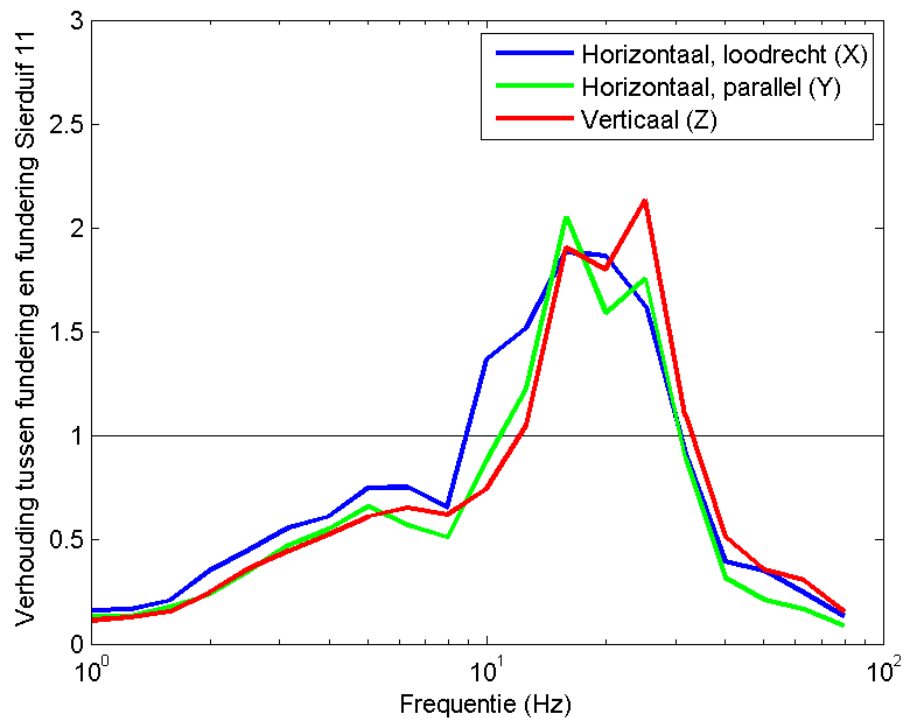
Figuur I-35 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 39

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-36.



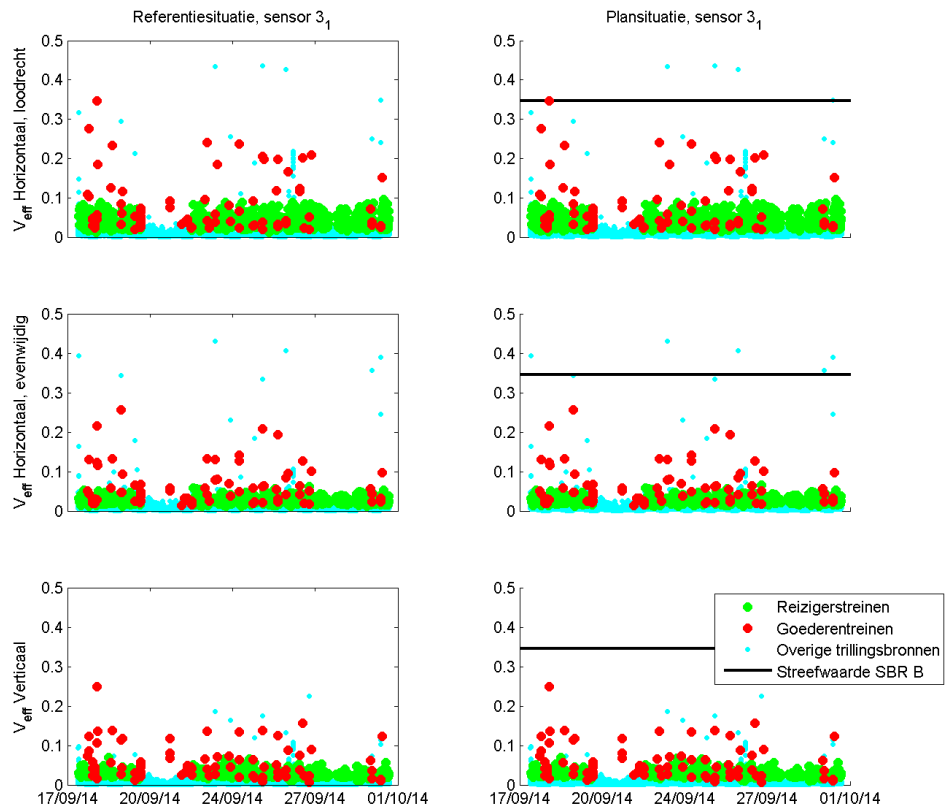
Figuur I-36 Opstelling sensoren bij Tortelduif 39

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-37.

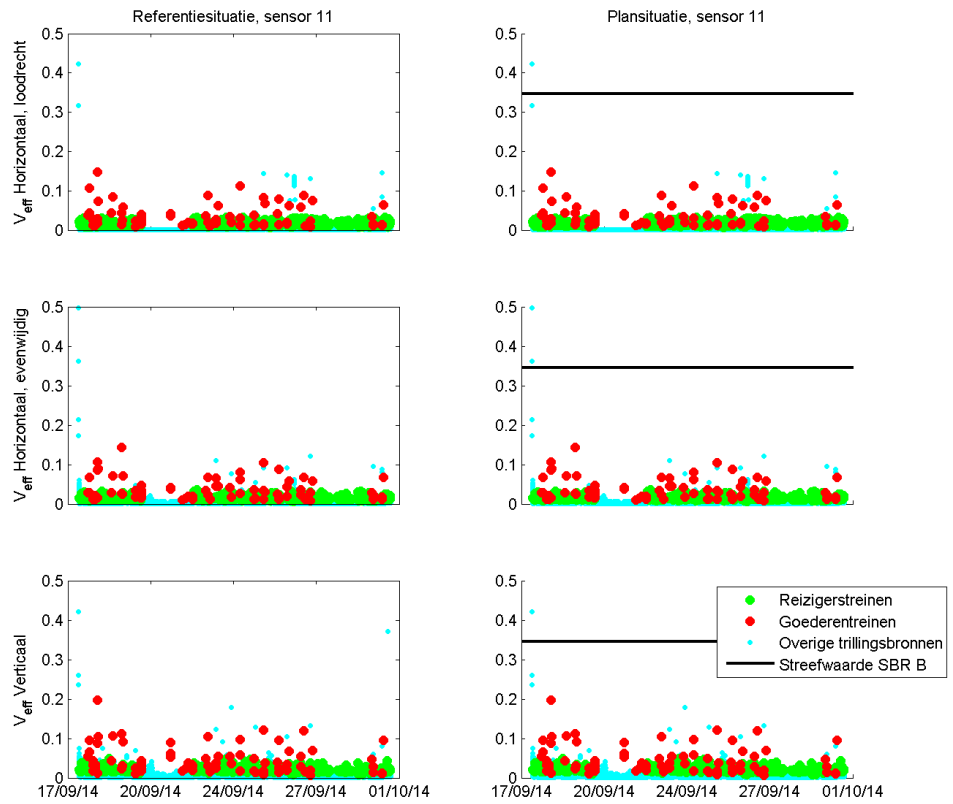


Figuur I-37 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 39 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-38 en Figuur I-39 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-38 *Berekende resultaten sensor 3_1, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-39 *Berekende resultaten sensor 11, meetpunt op fundering*

I.7 Tortelduif 40

De gegevens van de metingen op Tortelduif 40 zijn opgenomen in Tabel I-8.

Tabel I-8 *Gegevens meting Tortelduif 40, Emmen*

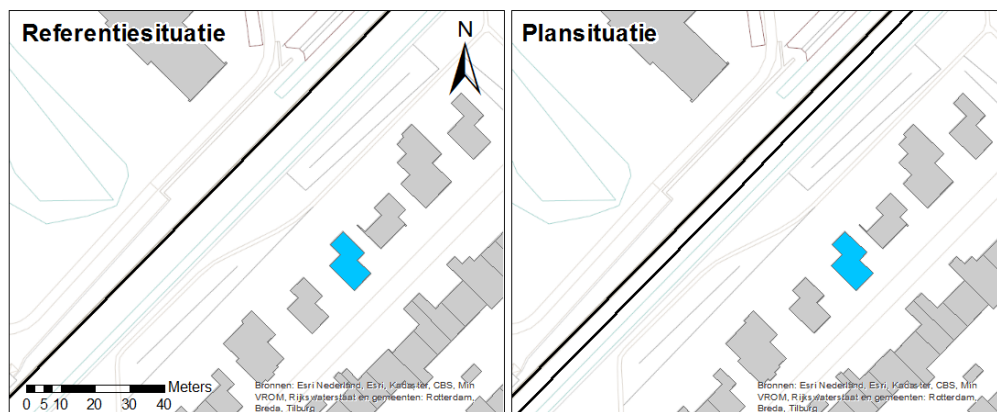
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdperiode meting	<i>9 maart 2015 15:15 tot 10 maart 2015 15:15</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-41</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-42</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>DS Net meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-44 en Figuur I-45</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-40.



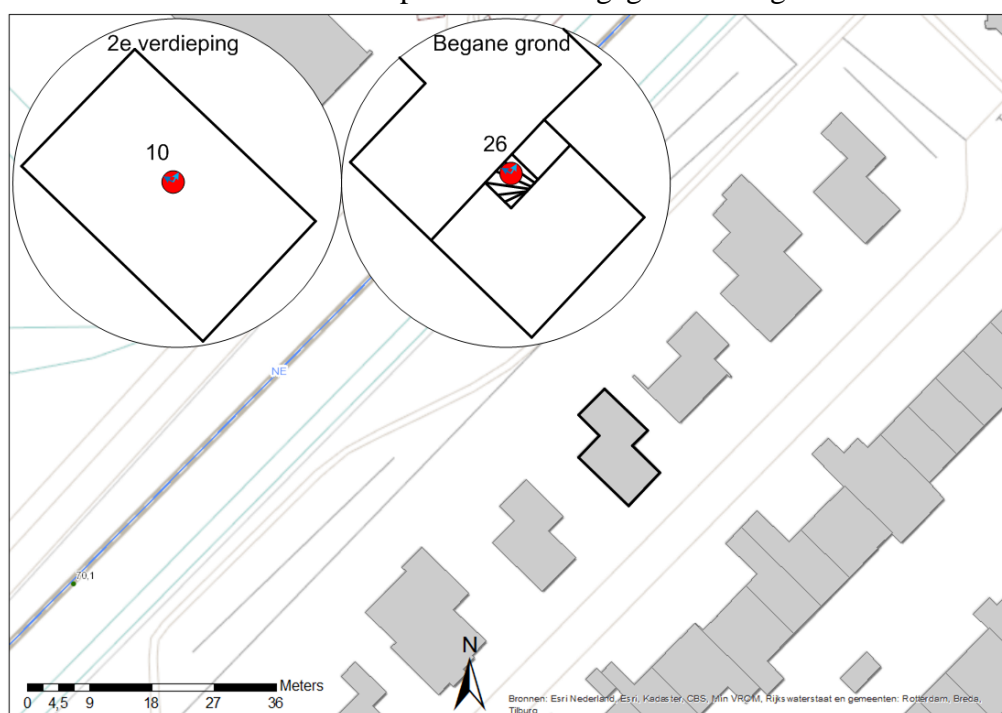
Figuur I-40 *Foto gevel Tortelduif 40*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-41.



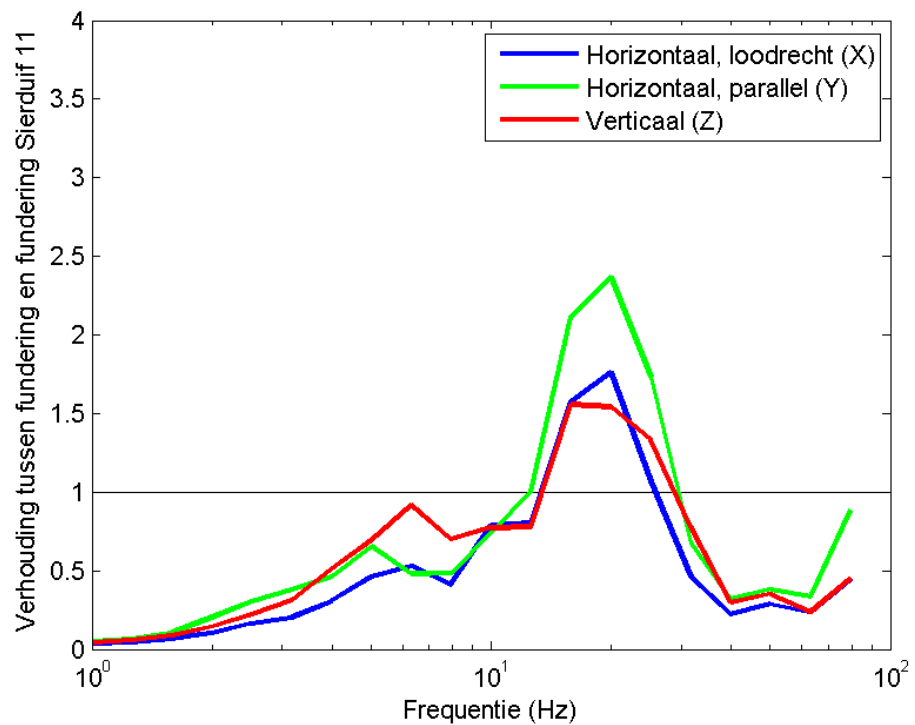
Figuur I-41 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 40

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-42.



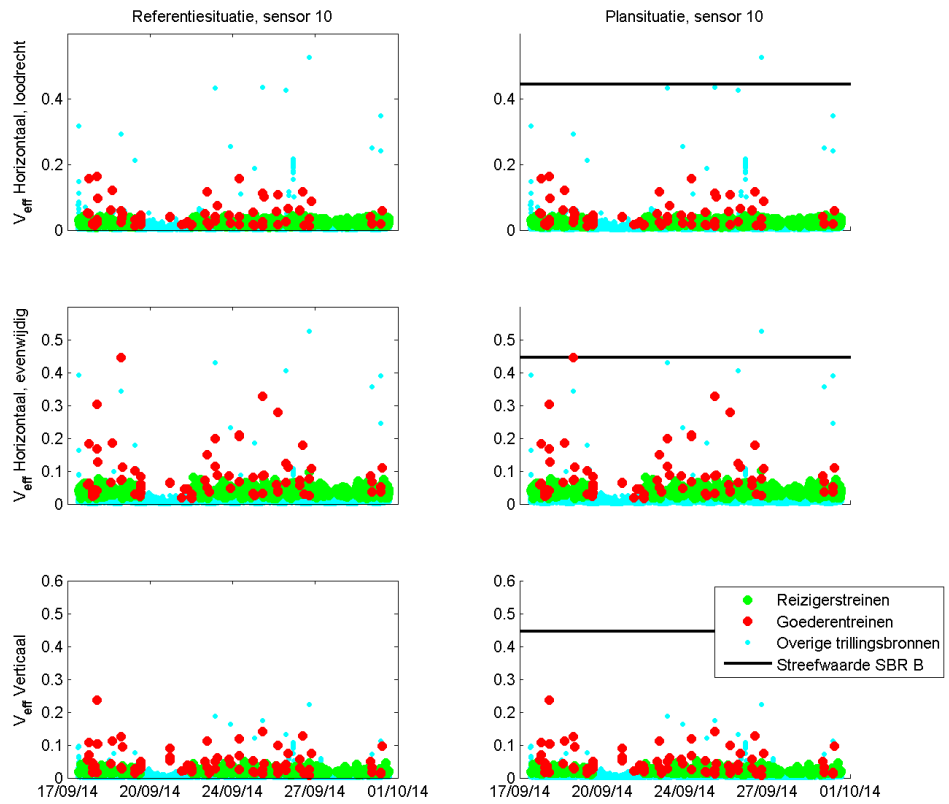
Figuur I-42 Opstelling sensoren bij Tortelduif 40

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-43.

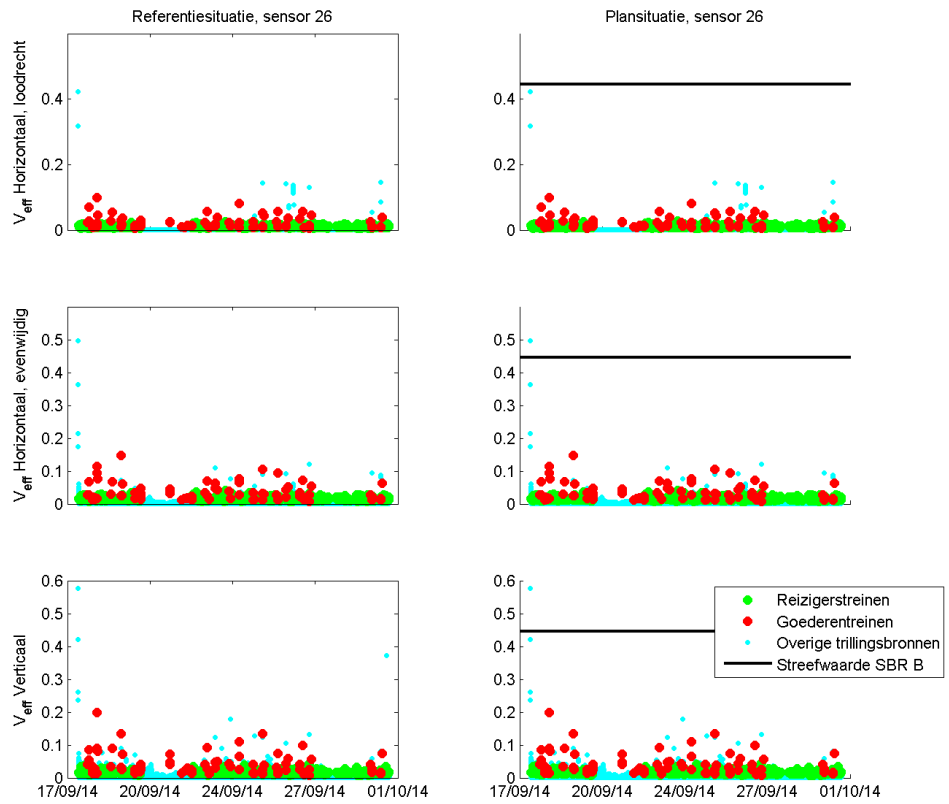


Figuur I-43 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 40 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-44 en Figuur I-45 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-44 *Berekende resultaten sensor 10, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-45 *Berekende resultaten sensor 26, meetpunt op fundering*

I.8 Tortelduif 41

De gegevens van de metingen op Tortelduif 41 zijn opgenomen in Tabel I-9.

Tabel I-9 *Gegevens meting Tortelduif 41, Emmen*

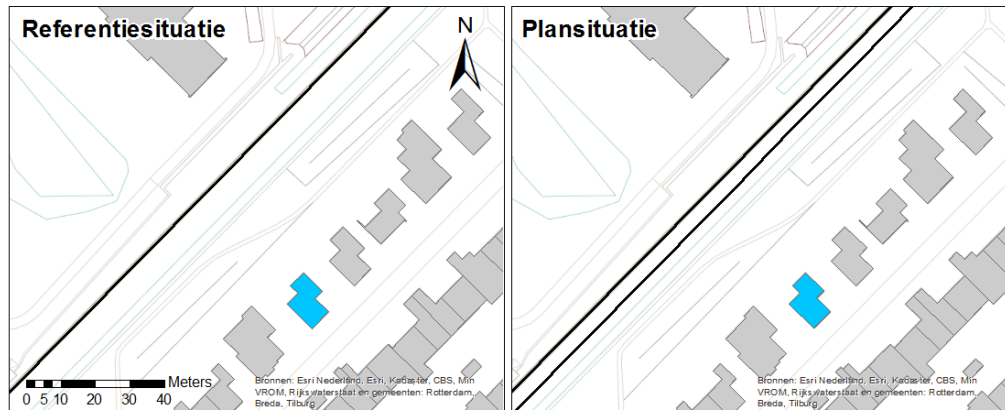
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>9 maart 2015 12:00 tot 10 maart 2015 12:00</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-47</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-48</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 43 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-50 en Figuur I-51</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-46.



Figuur I-46 *Foto gevel Tortelduif 41*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-47.



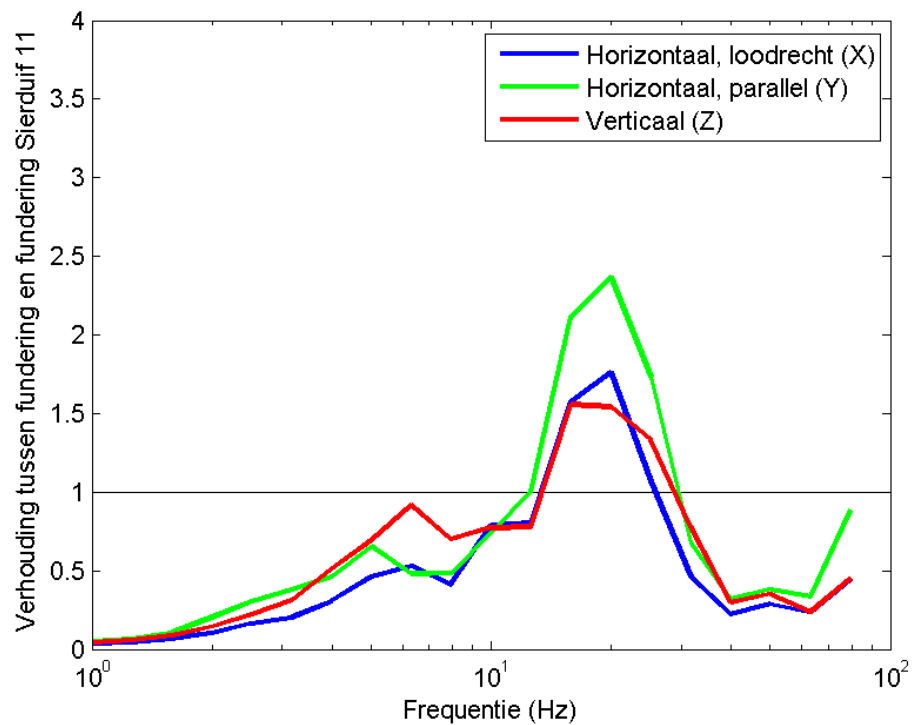
Figuur I-47 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 41

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-48.



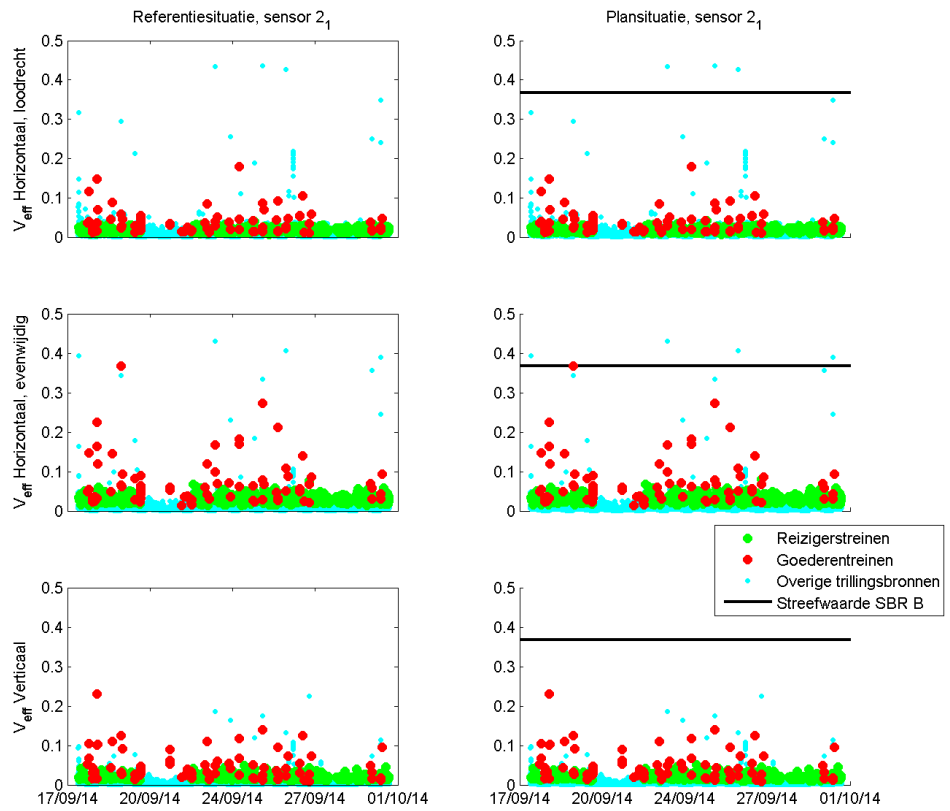
Figuur I-48 Opstelling sensoren bij Tortelduif 41

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-49.

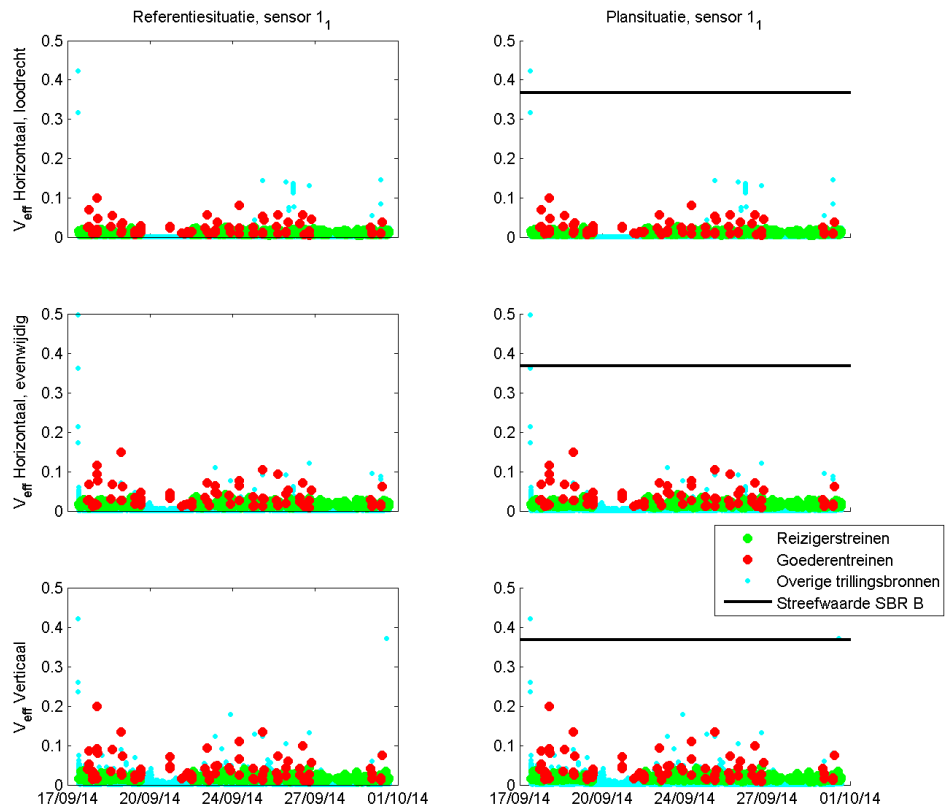


Figuur I-49 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 41 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-50 en Figuur I-51 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-50 *Berekende resultaten sensor 2_2, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-51 *Berekende resultaten sensor 1_1, meetpunt op fundering*

I.9 Tortelduif 42

De gegevens van de metingen op Tortelduif 42 zijn opgenomen in Tabel I-10.

Tabel I-10 *Gegevens meting Tortelduif 42, Emmen*

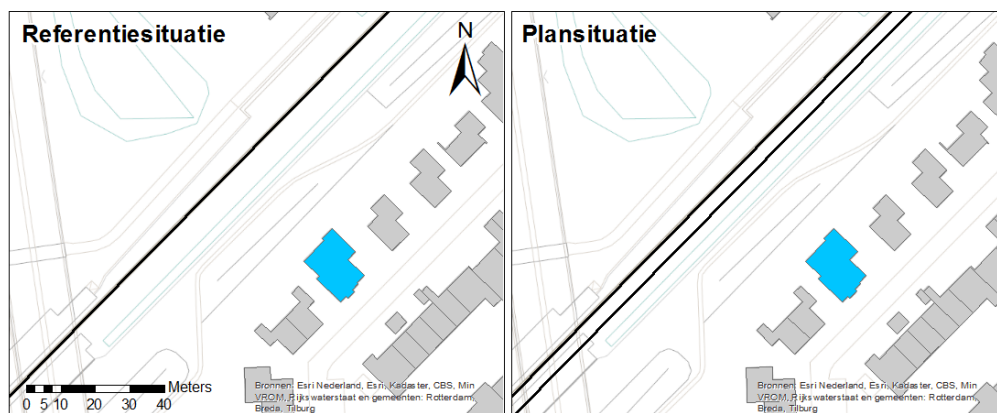
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>10 maart 2015 13:30 tot 11 maart 2015 13:30</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Eenlaagse, vrijstaande woning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-53</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-54</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 43 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-56 en Figuur I-57</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-52.



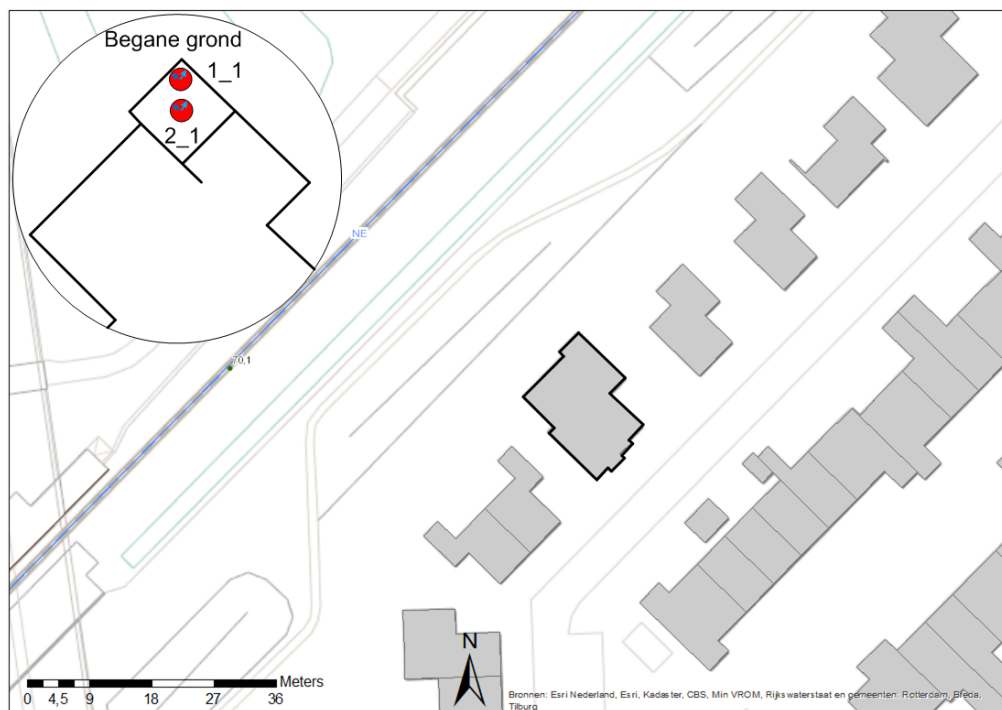
Figuur I-52 *Foto gevel Tortelduif 42*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-53.



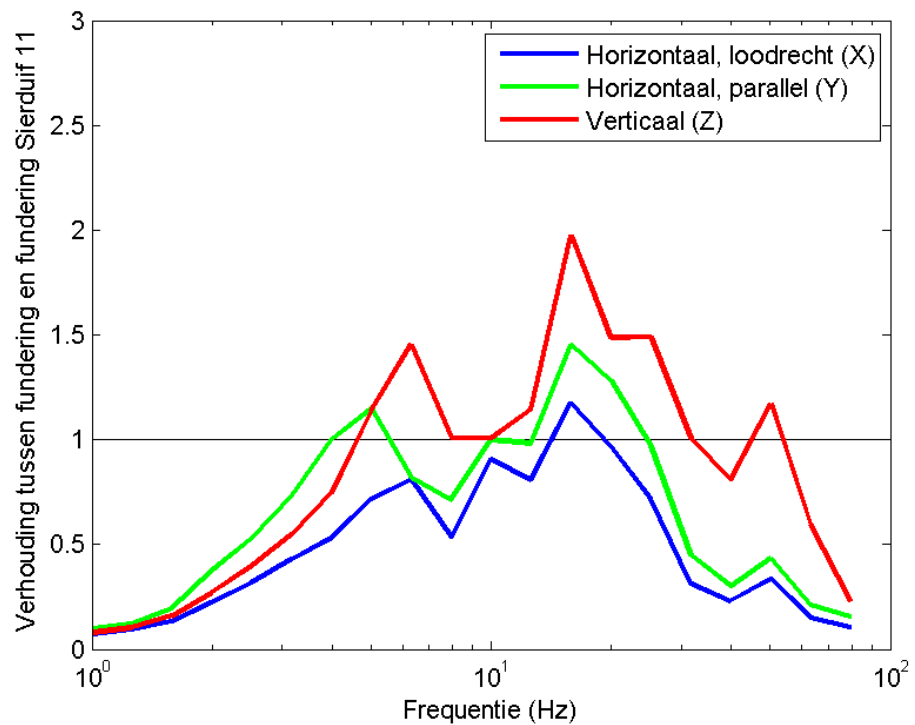
Figuur I-53 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 42

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-54.



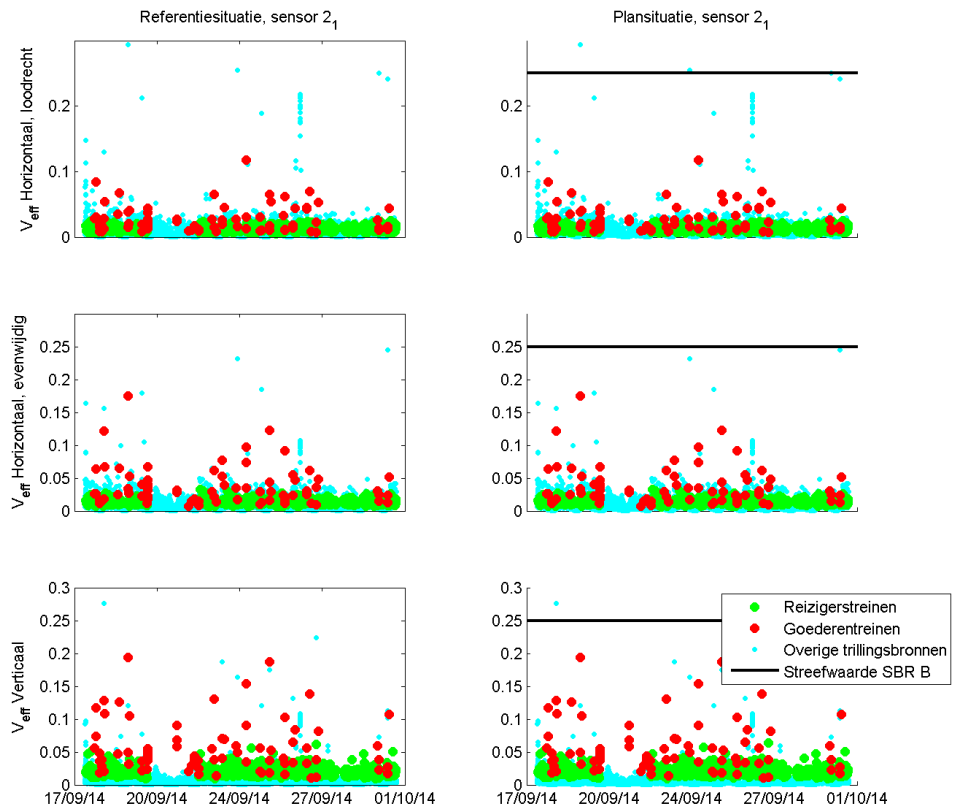
Figuur I-54 Opstelling sensoren bij Tortelduif 42

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-55.

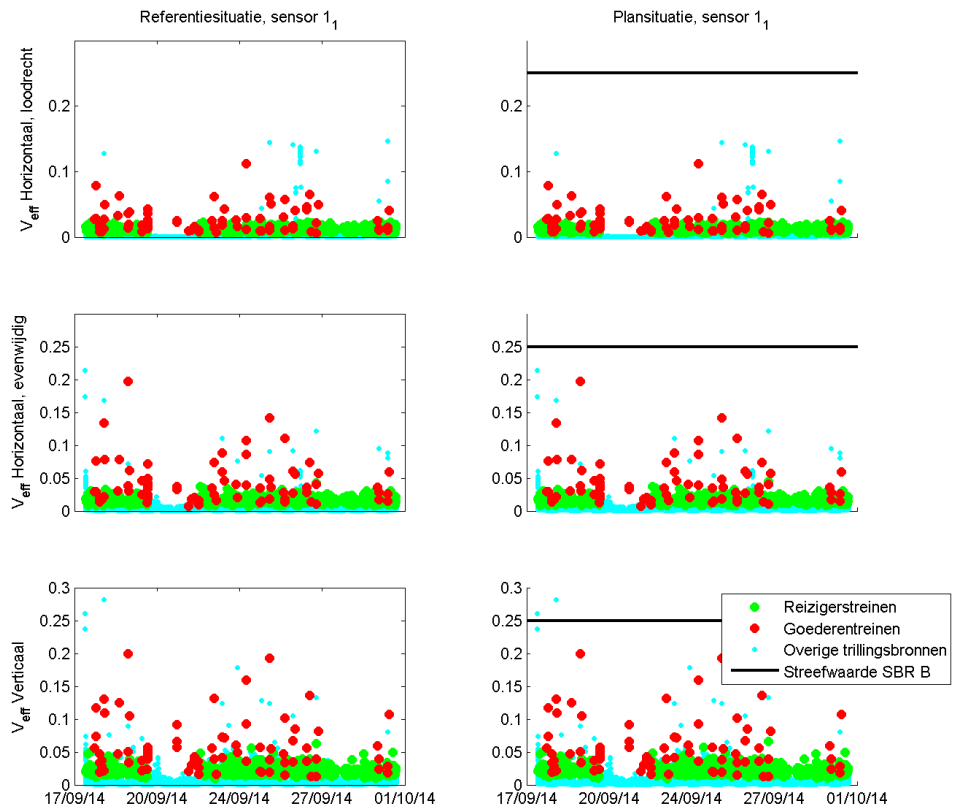


Figuur I-55 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 42 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-56 en Figuur I-57 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-56 *Berekende resultaten sensor 2_1, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-57 *Berekende resultaten sensor 1_1, meetpunt op fundering*

I.10 Tortelduif 43

De gegevens van de metingen op Tortelduif 43 zijn opgenomen in Tabel I-11.

Tabel I-11 *Gegevens meting Tortelduif 43, Emmen*

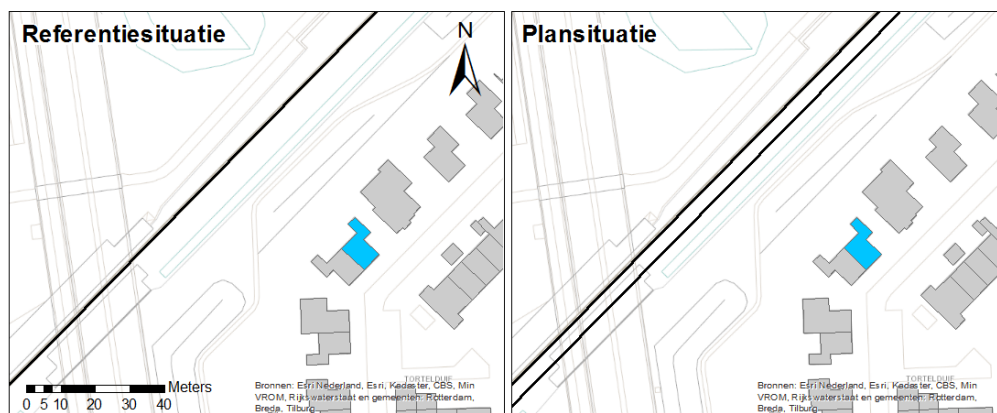
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>10 maart 2015 17:30 tot 11 maart 2015 17:30</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, 2-onder-1-kapwoning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-59</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-60</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>DS Net meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-62 en Figuur I-63</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-58.



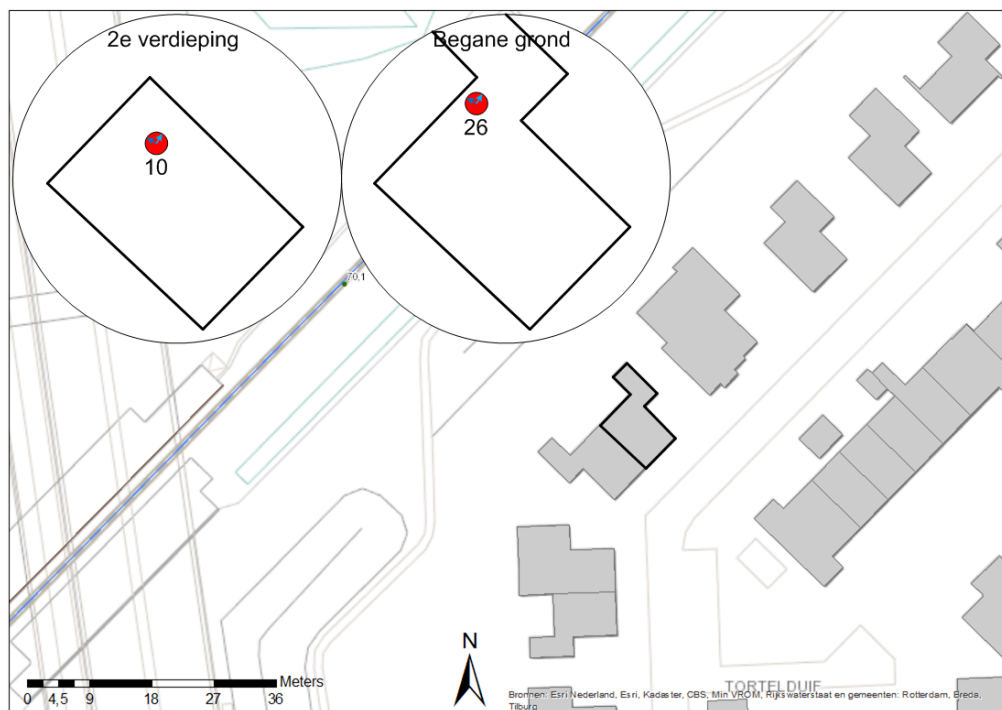
Figuur I-58 *Foto gevel Tortelduif 43*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-59..



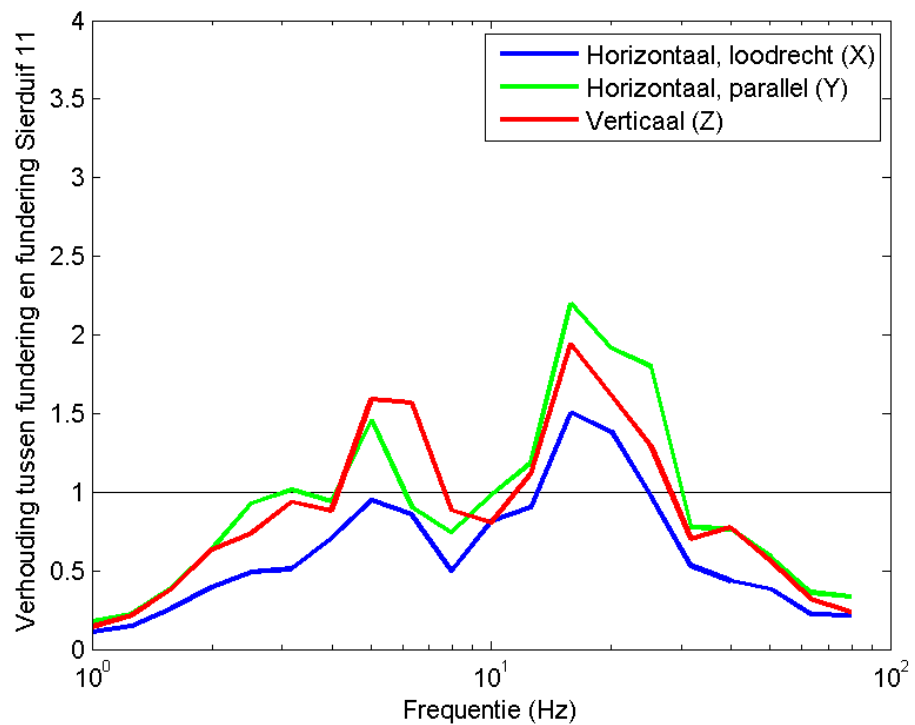
Figuur I-59 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 43

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-60.



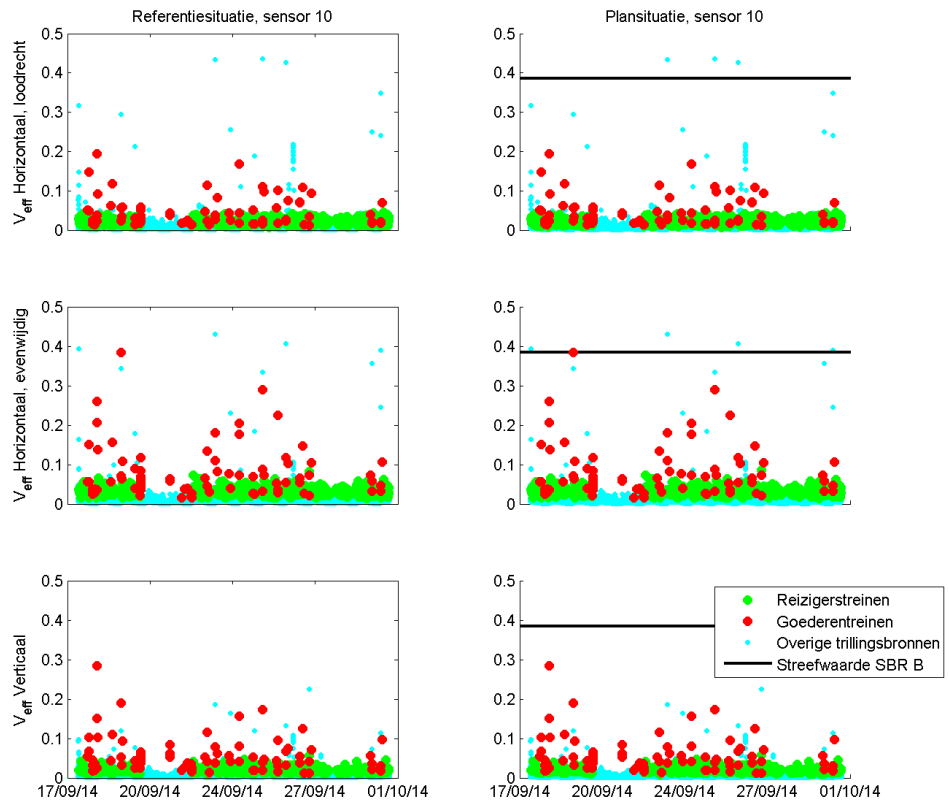
Figuur I-60 Opstelling sensoren bij Tortelduif 43

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-61.

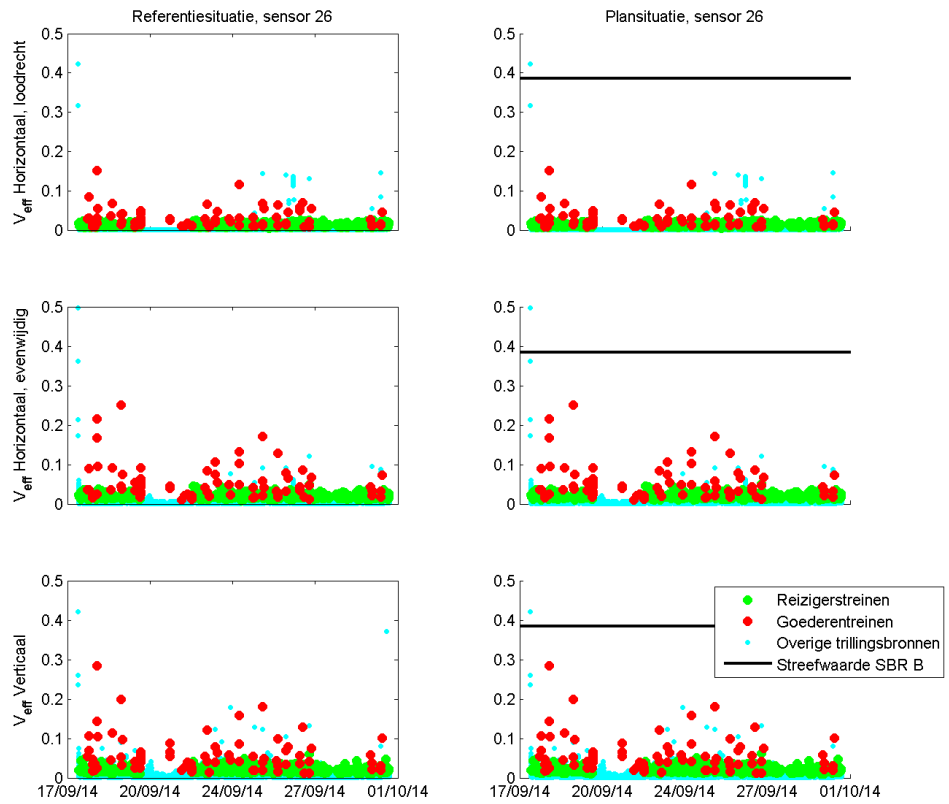


Figuur I-61 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 43 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-62 en Figuur I-63 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-62 *Berekende resultaten sensor 10, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-63 *Berekende resultaten sensor 26, meetpunt op fundering*

I.11 Tortelduif 43A

De gegevens van de metingen op Tortelduif 43A zijn opgenomen in Tabel I-12.

Tabel I-12 *Gegevens meting Tortelduif 43A, Emmen*

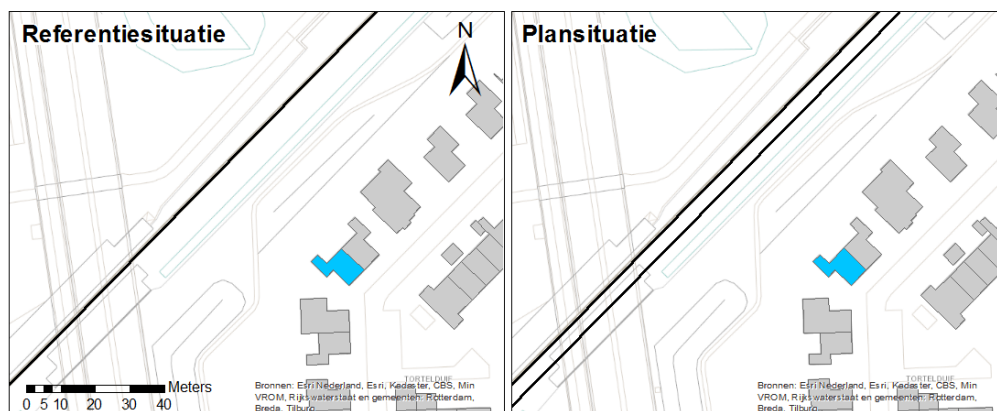
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>11 maart 2015 16:00 tot 12 maart 2015 16:00</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, 2-onder-1-kapwoning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-65</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-66</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 101 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-68 en Figuur I-69</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-64.



Figuur I-64 *Foto gevel Tortelduif 43A*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-65



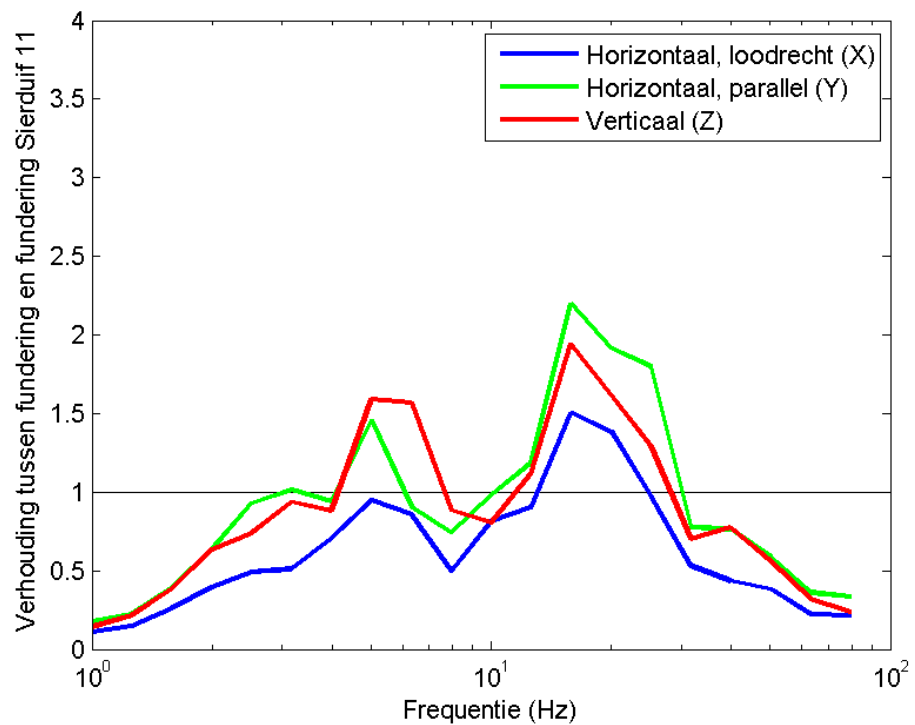
Figuur I-65 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 43A

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-66.



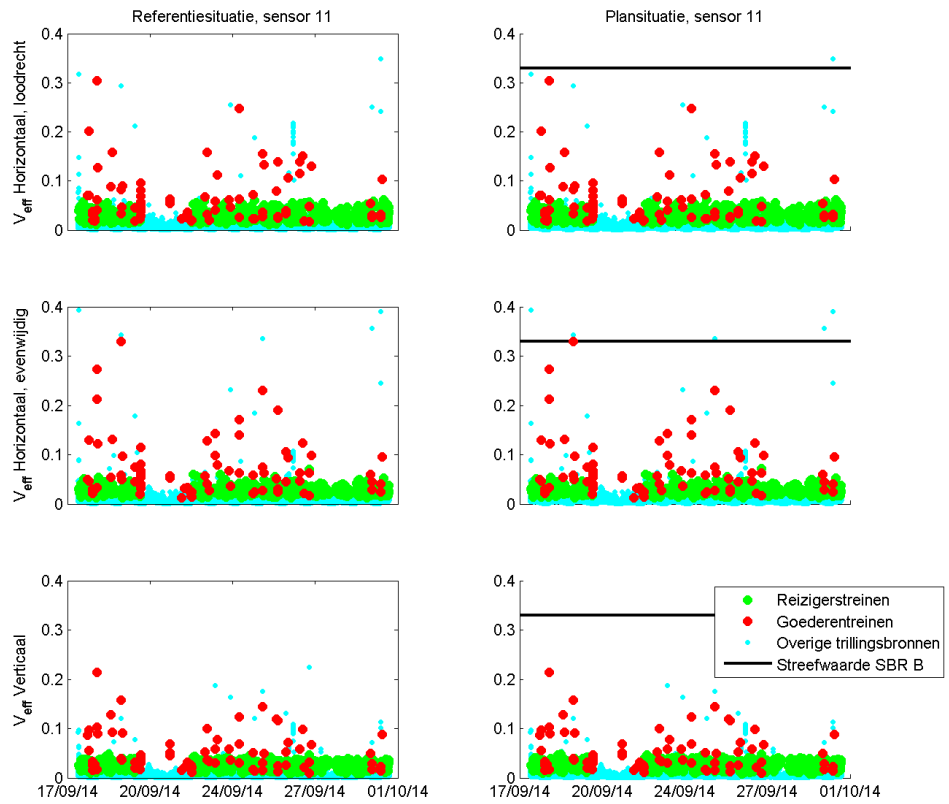
Figuur I-66 Opstelling sensoren bij Tortelduif 43A

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-67.

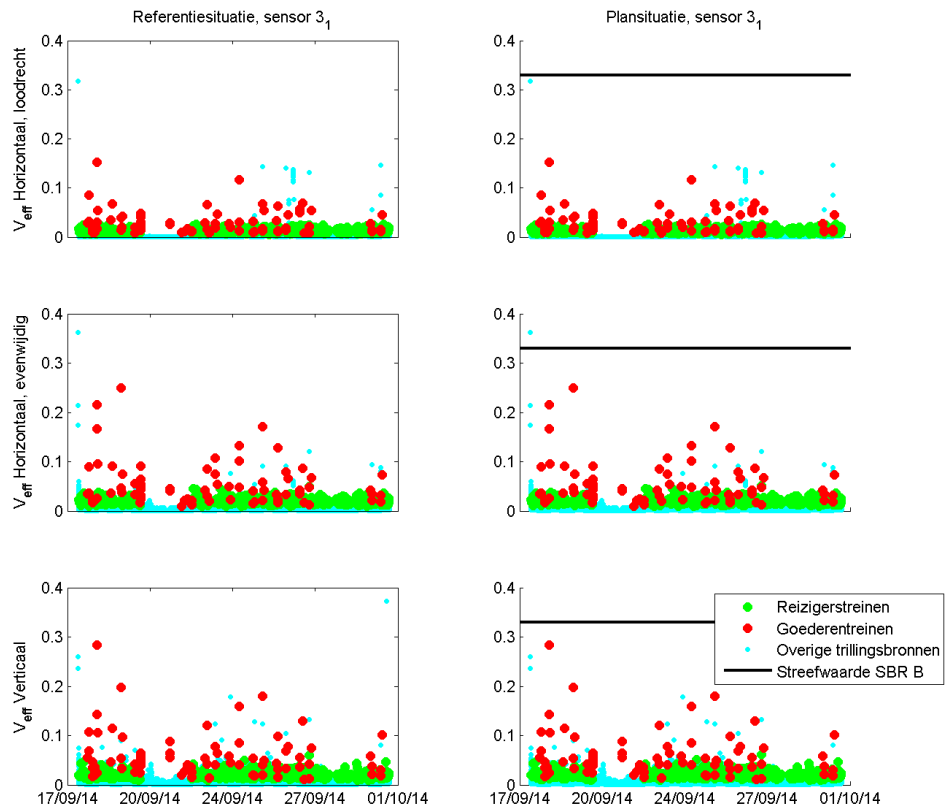


Figuur I-67 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 43A en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-68 en Figuur I-69 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-68 *Berekende resultaten sensor 11, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-69 *Berekende resultaten sensor 3_1, meetpunt op fundering*

I.12 Tortelduif 44

De gegevens van de metingen op Tortelduif 44 zijn opgenomen in Tabel I-13.

Tabel I-13 *Gegevens meting Tortelduif 44, Emmen*

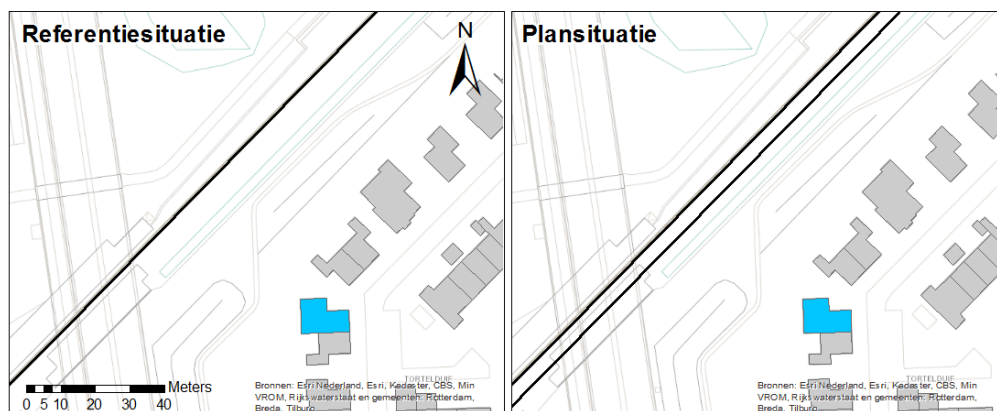
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>T.P. Seip</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>16 september 2014 15:00 tot 30 september 2014 15:00</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaagse, 2-onder-1-kapwoning. Opgebouwd uit metselwerk.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur I-71</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Figuur I-3 en Figuur I-4</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in Figuur I-72</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Dewe 43 meetcomputer met 6 aangesloten kanalen</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur I-74 en Figuur I-75</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Bestemming conform bestemmingsplan is wonen</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Geen significante trillingsbronnen in omgeving</i>

Een foto van de gevel van de woning is opgenomen in Figuur I-70.



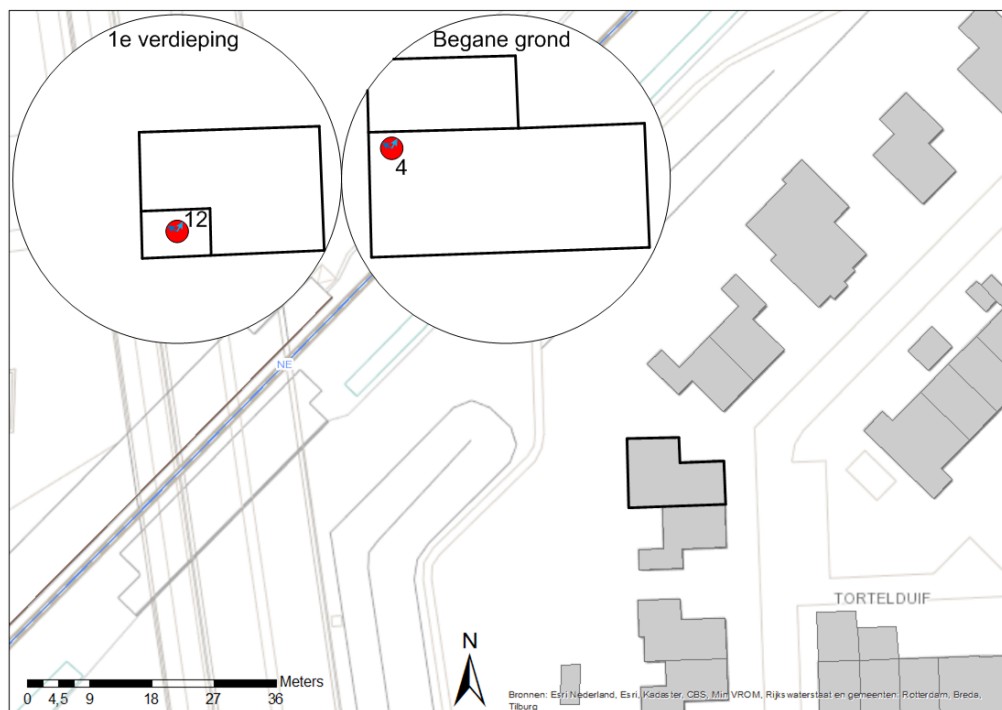
Figuur I-70 *Foto gevel Tortelduif 44*

De sporenlay-out in de referentie- en plansituatie rond deze woning is opgenomen in Figuur I-71.



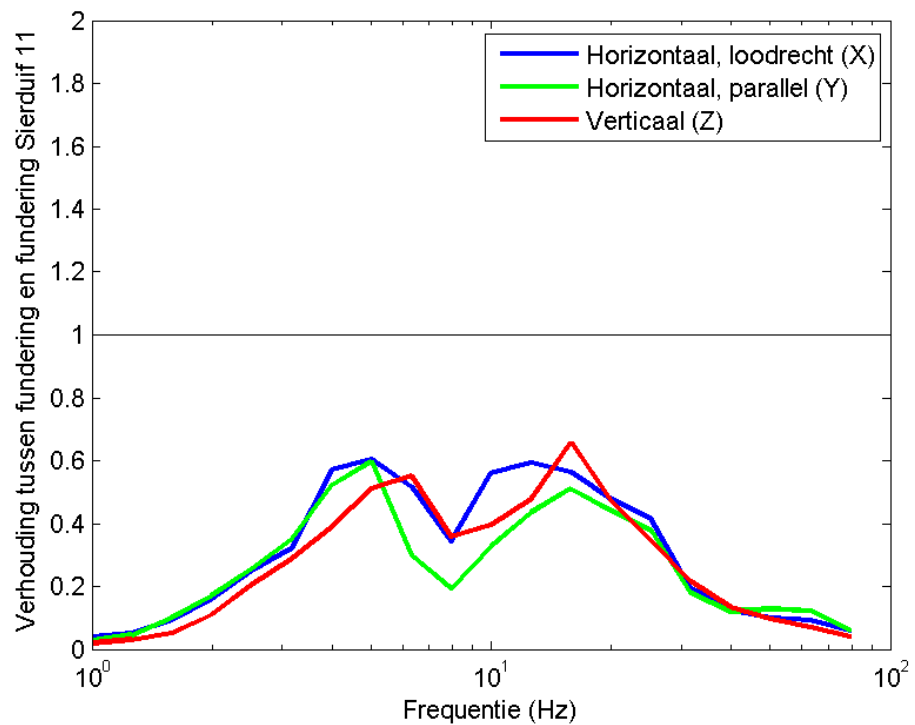
Figuur I-71 Sporenlay-out in referentie- (links) en plansituatie (rechts) bij de meetlocatie Tortelduif 44

Een schets met daarin de sensorposities is weergegeven in Figuur I-72.



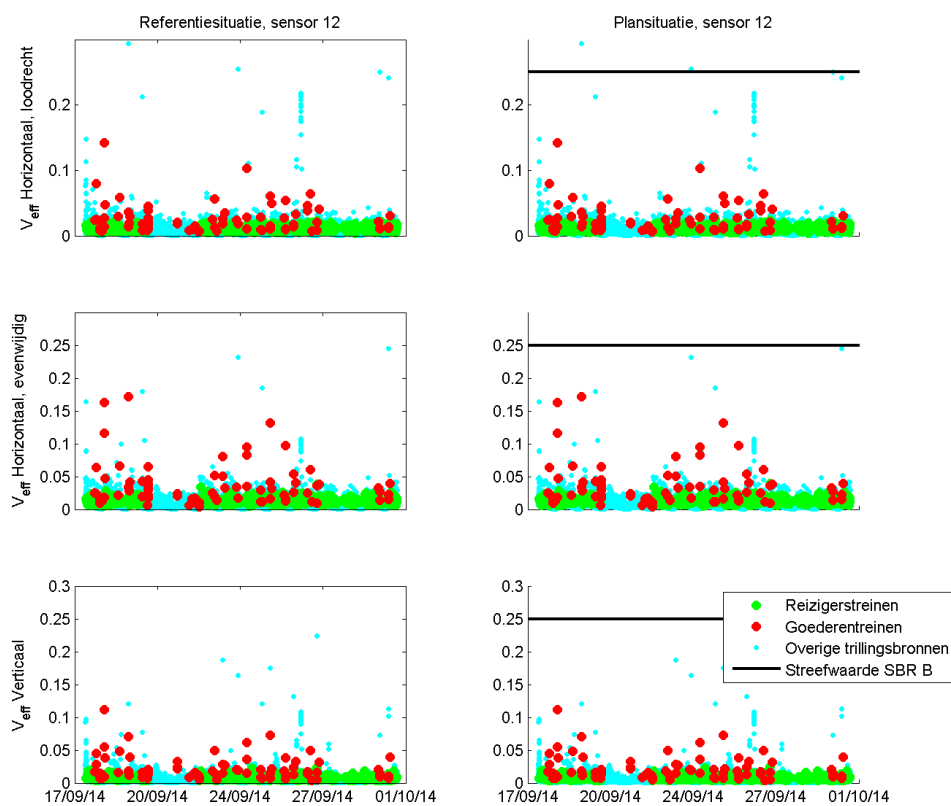
Figuur I-72 Opstelling sensoren bij Tortelduif 44

Tijdens de meting is gelijktijdig een meting uitgevoerd op de locatie van de langeduurmeting, bij Sierduif 11. Door de trillingsspectra per treinpassage te vergelijken tussen beide meetlocaties, kan een correctiefactor worden bepaald tussen de funderingen van beide locaties. Deze correctiefactor corrigeert voor verschillen in bodemopbouw, spoorligging, eigenschappen van de fundering en treinsnelheid en is weergegeven in Figuur I-73.

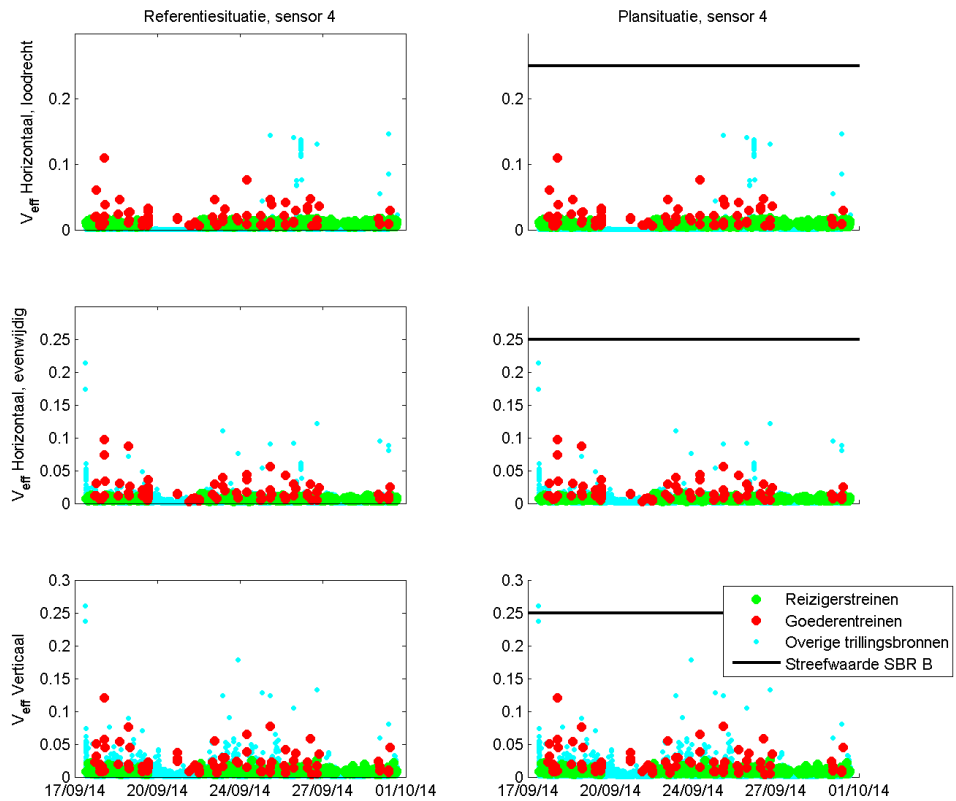


Figuur I-73 Overdrachtsfactoren tussen de fundering van Tortelduif 44 en de fundering van Sierduif 11

In Figuur I-74 tot en met Figuur I-75 wordt de referentie- (links) en plansituatie (rechts) getoond voor alle berekende trillingssignalen. De referentiesituatie komt overeen met de situatie van de metingen. Een deel van de overige trillingsbronnen geeft hogere trillingen dan de treinen. De trillingen die hoger dan of vergelijkbaar aan die van treinen zijn, zijn afkomstig van voetstappen.



Figuur I-74 *Berekende resultaten sensor 12, meetpunt midden vloerveld*



Figuur I-75 *Berekende resultaten sensor 4, meetpunt op fundering*

Bijlage II Gebruikt rekenmodel

In deze bijlage wordt het trillingsmodel, waarbij vanuit de situatie van de metingen de referentiesituatie en de plansituatie is berekend, weergegeven. Ook de voor dit onderzoek bepaalde toeslagfactoren worden weergegeven.

II.1 Prognosemodel

De trillingssterkte op een bepaalde positie in de ruimte wordt bepaald door een groot aantal factoren. In grote lijnen kan een trilling worden omschreven door:

$$v(r, f) = F_{bron} \cdot m_{as} \cdot c_k \cdot V_{trein} \cdot c_r \cdot z \cdot H_{situatie} \cdot H_{geometrie} \cdot H(r) \cdot H_{bf} \cdot H_{fw} \cdot H_{wv}$$

Hierin is v de trillingssnelheid in m/s en r de afstand. Wanneer alle fysische aspecten aan de rechterzijde van de vergelijking bekend zijn, kan in principe dus de trillingssnelheid op een bepaalde positie worden bepaald. Deze trillingssnelheid is frequentieafhankelijk en wordt gerepresenteerd middels een tertsbandspectrum. De grootheden aan de rechterzijde zijn:

- F_{bron} is een bodemonafhankelijke equivalente treinbelasting, deze is afhankelijk van de rijnsnelheid V_{trein} , de afvering c_k , de aslast m_{as} , de wielronde c_r en de spoorligging of zetting z ;
- $H_{situatie}$ is een correctiefactor voor de bovenbouwsituatie (wissel, duiker, etc.);
- $H_{geometrie}$ is een correctiefactor voor de opbouw van de onderbouw;
- $H(r)$ is de verzwakking voor de bodem voor $r > r_{referentie}$. Gewoonlijk wordt hiervoor de Barkanvergelijking gehanteerd. Deze Barkanvergelijking luidt, in frequentieafhankelijke vorm:

$$v(r, f) = v(r_0, f) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^n \cdot e^{-\alpha(r-r_0)}$$

Hierin is r_0 een referentieafstand waarop het referentietrillingsniveau $v(r_0)$ wordt vastgesteld. α is de dempingsconstante van de bodem (1/m), deze verschilt per grondsoort. n is een coëfficiënt die de geometrische uitbreiding weergeeft. α en n zijn frequentieafhankelijk, n is daarnaast ook afstandsafhankelijk. Beide parameters zijn bepaald uit een maaiveldmeting die in het onderzoeksgebied is uitgevoerd;

- H_{bf} is de overdrachtsfactor van de bodem naar de fundering;
- H_{fw} is de overdrachtsfactor van de fundering naar de wand;
- H_{wv} is de overdrachtsfactor van de wand naar de vloer.

De factoren H_{fw} en H_{wv} worden over het algemeen samengenomen voor de bepaling van trillingshinder, zodat er geen onderscheid tussen wand en vloer bepaald hoeft te worden.

De bepaling van de diverse factoren vindt in dit onderzoek plaats via tertsbandspectra. Uit diverse onderzoeken blijkt dat het tertsbandspectrum van

een treinpassage slechts verandert met de afstand tot de bron, de treinsnelheid, de aslast en de wielrondheid. De overdracht (als tertsbandspectrum) tussen maaiveld en fundering en tussen fundering en midden vloerveld is voor elke trein identiek. Elke factor wordt daarom als tertsbandspectrum bepaald.

Bij de meetlocaties veranderen een aantal van de grootheden in de trillingsvergelijking, zie hoofdstuk 2. De invloed van deze wijzigingen is nader onderzocht. De parameters in het gebruikte model worden in de volgende paragrafen nader toegelicht. De betrouwbaarheid van het model en de gevolgen daarvan op de toetsing wordt nader toegelicht in de laatste paragraaf van deze bijlage.

Een aantal factoren, zoals treinsnelheid, taludgeometrie⁵, aslast, afvering, wielrondheid en overdracht in de woning tussen fundering en vloerniveau wijzigen niet in dit project. De invloed hiervan is dan ook niet onderzocht.

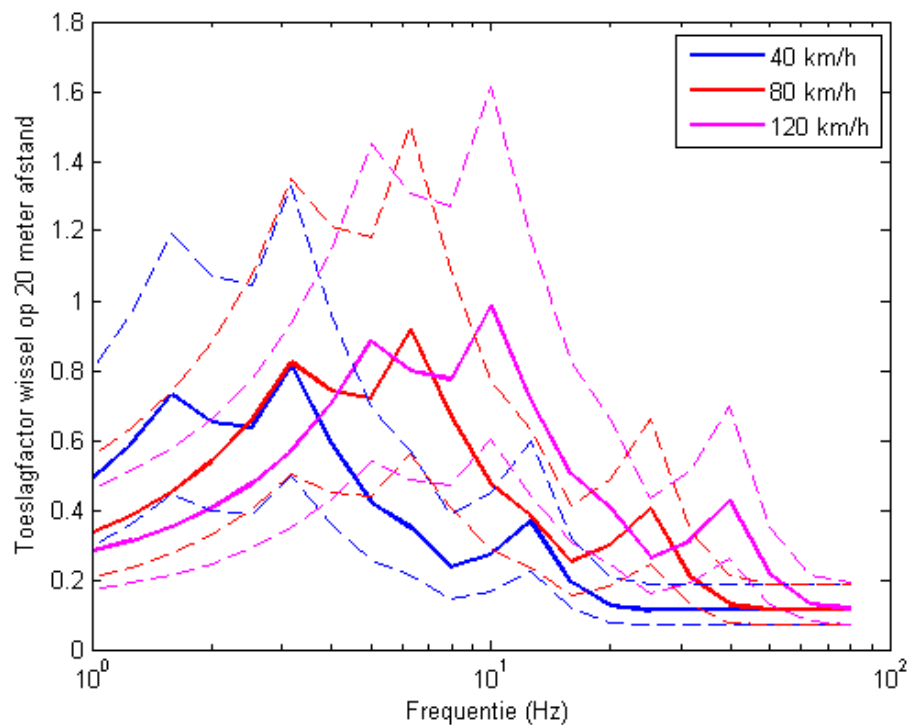
II.2 Invloed wissels

De invloed van wissels wordt verrekend met behulp van toeslagfactoren op het trillingssignaal van een doorgaande trein. Omdat de staat van onderhoud van wissels sterk wisselend is, is de spreiding in de wisseltoeslag ook vrij groot. De invloed van de wissels neemt licht toe met de treinsnelheid, zie Figuur II-1. De toeslag van wissels is getoond voor de snelheden in het huidige onderzoeksgebied. Goederentreinen rijden hier ongeveer 80 km/uur, doorgaande reizigerstreinen ca. 120 km/uur en stoppende reizigerstreinen 40 tot 60 km/uur. De gebruikte spreidingsfactor is ook aangegeven in deze figuur, middels de onderbroken lijnen zijn de onder- en bovengrens voor de invloed van een wissel aangegeven.

Het trillingssignaal met wissels kan via onderstaande formule worden berekend uit het signaal zonder wissels:

$$V_{f, f} = \sqrt{V_{\text{doorgaand spoor}}^2 + \text{Wisselfact} \cdot V_{f, V_{\text{trein}}} \cdot V_{\text{doorgaand spoor}}^2}$$

⁵ Hoewel een van de sporen dichterbij komt, wordt de vorm van het talud niet significant gewijzigd ten opzichte van de referentiesituatie

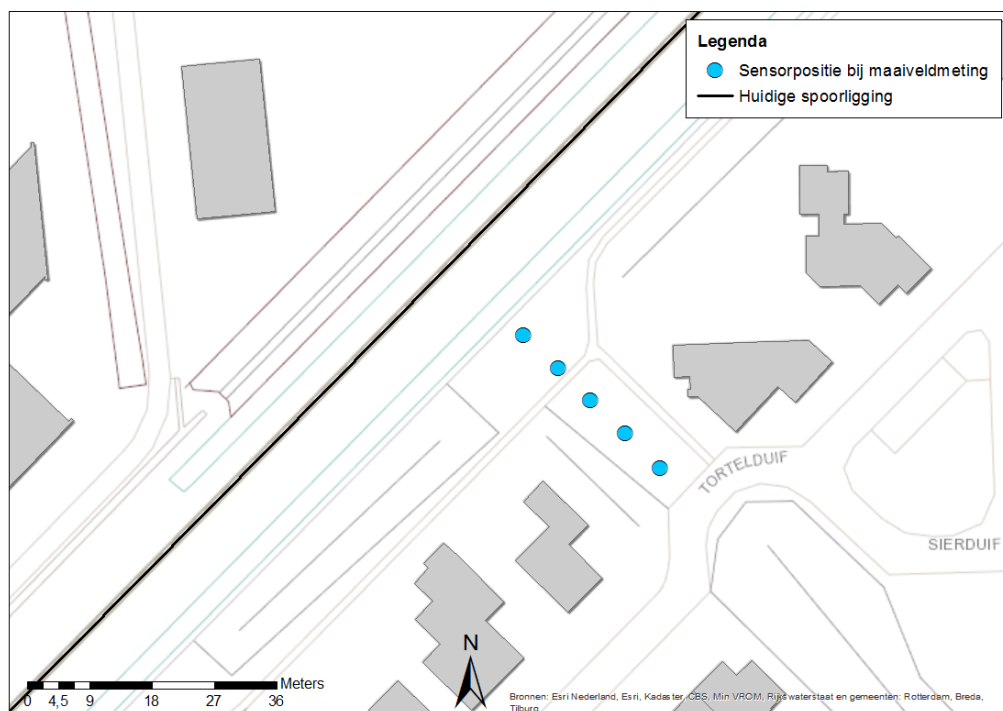


Figuur II-1 Gebruikte gemiddelde toeslagfactor voor wissels op 20 meter afstand

II.3 Invloed afstand tot het spoor

De overdracht van trillingen door de bodem kan worden beschreven met behulp van de Barkanvergelijking. De Barkanvergelijking wordt voor de prognoses in dit onderzoek alleen gebruikt om relatieve veranderingen van sporen en wissels te beschrijven. Omdat het in vrijwel alle gevallen om kleine veranderingen gaat, heeft de Barkan vergelijking en de nauwkeurigheid van de parameters daarin slechts een beperkte invloed op het eindresultaat.

Om de uitdemping van de trillingen met de afstand tot het spoor te bepalen, is een maaiveldmeting uitgevoerd aan treinpassages. Een bovenaanzicht van de meetlocatie met de posities van de sensoren is weergegeven in Figuur II-2.



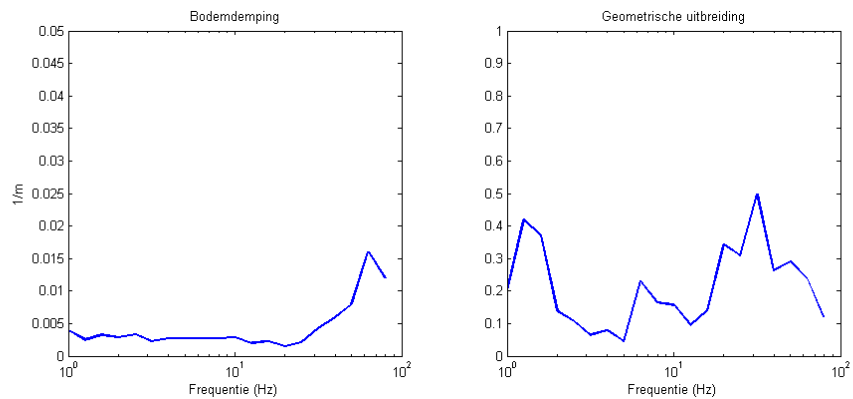
Figuur II-2 *Overzicht meetposities bij maaiveldmeting*

Uit deze metingen is een bodemdemping en geometrische uitbreidingsfactor bepaald, zie Figuur II-3.

Door de trillingssignalen als functie van de tijd te transformeren naar het frequentiedomein (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:

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

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. Zie Figuur II-3 voor de resultaten. Uit de resultaten blijkt dat de bodem zeer weinig demping kent, vooral bij lage frequenties. De trillingen van goederentreinen, die vooral een sterke laagfrequente component kennen, zijn daardoor tot op vrij grote afstand van het spoor waarneembaar.



Figuur II-3 Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)

II.4 Invloed treinintensiteit

De treinintensiteit heeft invloed op de trillingsintensiteit V_{per} . Voor de bepaling van de trillingsintensiteit V_{per} is de treinintensiteit eveneens van belang. De nieuwe waarde van V_{per} kan worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$V_{per, \text{ situatie}} = V_{per, \text{ meting}} \cdot \sqrt{\frac{n_{\text{ situatie}}}{n_{\text{ meting}}}}$$

Hierbij is n de treinintensiteit in treinen per periode (dag, avond, nacht).

II.5 Bepaling gewijzigde trillingssterkte

Met behulp van de hiervoor bepaalde toeslagfactoren kan met behulp van de eerder gegeven vergelijking de trillingssterkte per trein worden bepaald. Het signaal van de trillingsbron kan als volgt worden bepaald vanuit een meting:

$$v_{\text{ situatie}} = v_{\text{ meting}} \cdot H_{\text{ bron}} \cdot v_{\text{ meting}} \cdot H_{\text{ situatie}} \cdot H$$

Hierin is $v_{\text{ situatie}}$ de trillingssnelheid in een gewijzigde situatie als functie van de frequentie en r de afstand. Wanneer alle toeslagfactoren aan de rechterzijde van de vergelijking bekend zijn, kan deze gewijzigde trillingssnelheid worden bepaald met behulp van de gemeten trillingssnelheid $v_{\text{ meting}}$.

De overige grootheden aan de rechterzijde zijn als volgt gedefinieerd als verhouding tussen de gewijzigde en gemeten situatie:

- $v_{\text{ meting}}$ is de gemeten trillingssterkte;
- $H_{\text{ bron}}$ is een correctiefactor voor de snelheidswijziging;
- $H_{\text{ situatie}}$ is een correctiefactor voor de wissels;
- H is een toeslagfactor voor de verzwakking door de bodem. Deze factor is gedefinieerd middels de Barkan vergelijking.

Het correctiesignaal als tertsbandspectrum wordt vervolgens vermenigvuldigd met het smalbandige spectrum van elke treinpassage. Door dit gecorrigeerde smalbandige spectrum terug te rekenen naar een trillingssignaal als functie van de tijd, kan de trillingssterkte in de gewijzigde situatie conform de BTS worden bepaald.

II.6 Betrouwbaarheid van het model

Omdat de manier van berekenen via het tertsbandspectrum alleen een amplitude- en geen fasecorrectie kent, zal er een verschil zijn tussen de uitkomst van de berekening en de werkelijke waarde van V_{max} in de plansituatie. Uit uitgebreide analyses blijkt dat er een variatie is van maximaal +/- 10 procent in V_{max} .

Daarnaast wordt in dit model gerekend met gemiddelde toeslagfactoren. Door afwijkende treineigenschappen kan bijvoorbeeld de relatie tussen treinsnelheid en trillingssterkte, of de invloed van een wissel, bij de ene trein anders uitvallen dan bij de andere trein. Ook hierdoor ontstaat een spreiding in de resultaten. Er van uitgaande dat de metingen een betrouwbare uitkomst geven, kan dus worden gesteld dat er voor elke locatie een kans is dat de locatie wel of niet voldoet. In het beoordelen of een locatie wel of niet voldoet is rekening gehouden met deze kans op een overschrijding.

Bijlage III Verwerkingsprocedure trillingsmetingen

Ten behoeve van de derde stap van het trillingsonderzoek zijn metingen uitgevoerd op een aantal locaties. Deze metingen zijn onbemand uitgevoerd met behulp van een meetcomputer die continu (gedurende minimaal een week) de trillingssignalen meet. Aan deze meetcomputer is een webcam gekoppeld die de treinen registreert. Om een dataset met trillingen van treinverkeer te genereren wordt de volgende procedure doorlopen om te garanderen dat alle door treinen veroorzaakte trillingen in beschouwing worden genomen en dat niet-spoorgerelateerde trillingen buiten beschouwing worden gelaten:

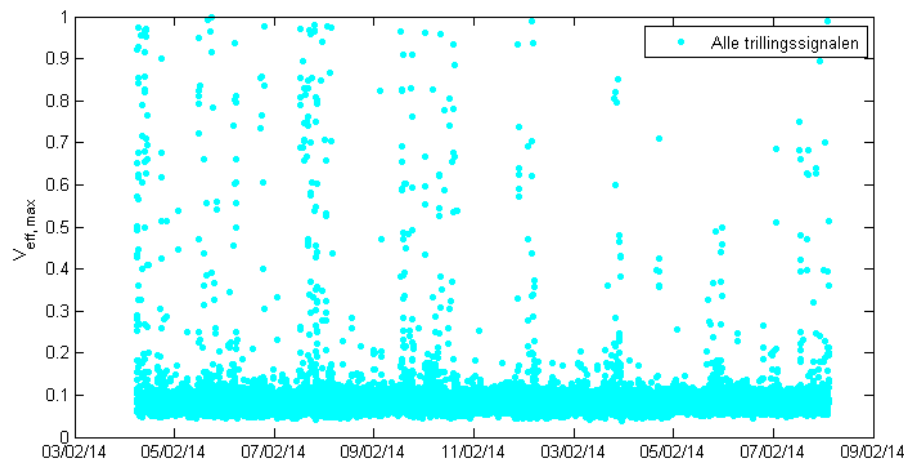
1. Stap 1: met behulp van videobeelden zijn de treinen gemarkeerd;
2. Stap 2: bij de meting wordt gebruik gemaakt van meerdere sensoren. Met behulp van spectraalanalyse⁶ worden de trillingssignalen van beide sensoren op elkaar te delen kunnen lokale fenomenen (bijvoorbeeld voetstappen in de ene ruimte) worden uitgefilterd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de videobeelden om te verifiëren of de uitgefilterde signalen daadwerkelijk vervuild zijn met voetstappen;
3. Stap 3: met behulp van spectraalanalyse worden afwijkende trillingssignalen nader geanalyseerd. Signalen met een sterk afwijkend frequentiespectrum zijn vaak vervuild met werkzaamheden buiten of passerend vrachtverkeer. Omdat deze trillingen niet te wijten zijn aan passerende treinen, worden deze trillingen apart gemarkeerd als zijnde achtergrondtrillingen;
4. Stap 4: de hoogste waarden uit de dataset worden nogmaals gecontroleerd of het niet-vervulde treinsignalen zijn of niet. Elke trein wordt gemarkeerd met de bijbehorende spoorafstand. Alle niet-spoorgerelateerde trillingsbronnen worden apart gemarkeerd. In de datasets in Bijlage III zijn deze trillingsbronnen eveneens weergegeven.

Deze stappen worden met behulp van een voorbeeldsituatie nader toegelicht in deze bijlage.

III.1 Verwerking van ruwe meetdata

Na het uitvoeren van de meting wordt de ruwe data geconverteerd naar $V_{eff,max}$ -waarden per 30 seconden, conform de procedure in de SBR B-richtlijn. Per meetlocatie is deze bewerkte meetdata eventueel opvraagbaar. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is weergegeven in Figuur III-1. Elk punt stelt een 30-secondeperiode voor. In de resultaten is duidelijk zichtbaar dat er periodieke verstoringen optreden, die met een dag-nacht ritme terugkeren.

⁶ Spectraalanalyse is het onderzoeken van het frequentiespectrum van een trillingssignaal. Hierbij wordt naar de verschillende frequenties gekeken.



Figuur III-1 Meetdata, $V_{eff,max}$ per 30 seconden

III.2 Stap 1 – Toekennen van treinpassages aan 30-seconde periodes

In de eerste stap van de verwerkingsprocedure wordt gekeken of binnen een bepaalde 30-secondeperiode een trein passeert, en zo ja, om welk type trein het gaat en in welke richting deze trein rijdt. Deze eerste selectie vindt plaats met behulp van videobeelden.

Een voorbeeld wordt hieronder toegelicht.

Voorbeeldsituatie

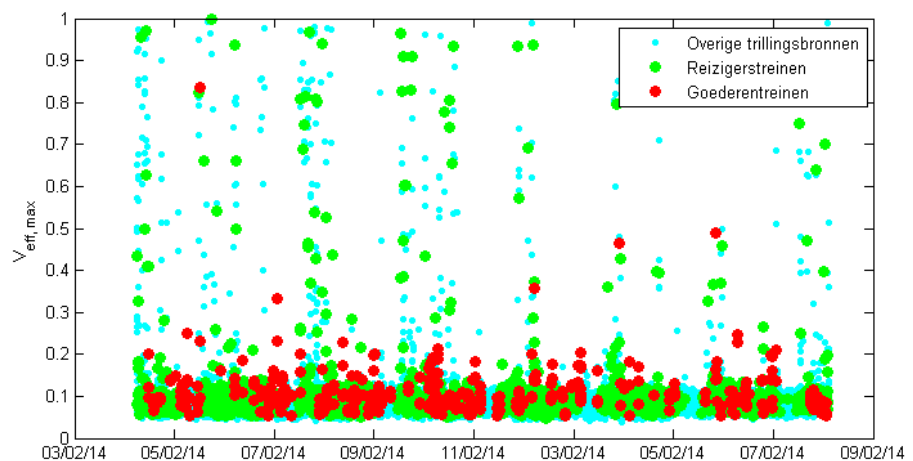
In dit onderzoek zijn treinen automatisch geregistreerd op basis van beeldverwerking van de videobeelden, zie Figuur III-2. Hierbij worden opeenvolgende videobeelden geautomatiseerd met elkaar vergeleken om te bepalen of er een trein passeert, en zo ja, in welke richting en met welke rijsnelheid.



Figuur III-2 Videobeelden en trillingssignalen

Op deze manier wordt gegarandeerd dat alle gepasseerde treinen ook daadwerkelijk worden gemarkeerd als zijnde een trein.

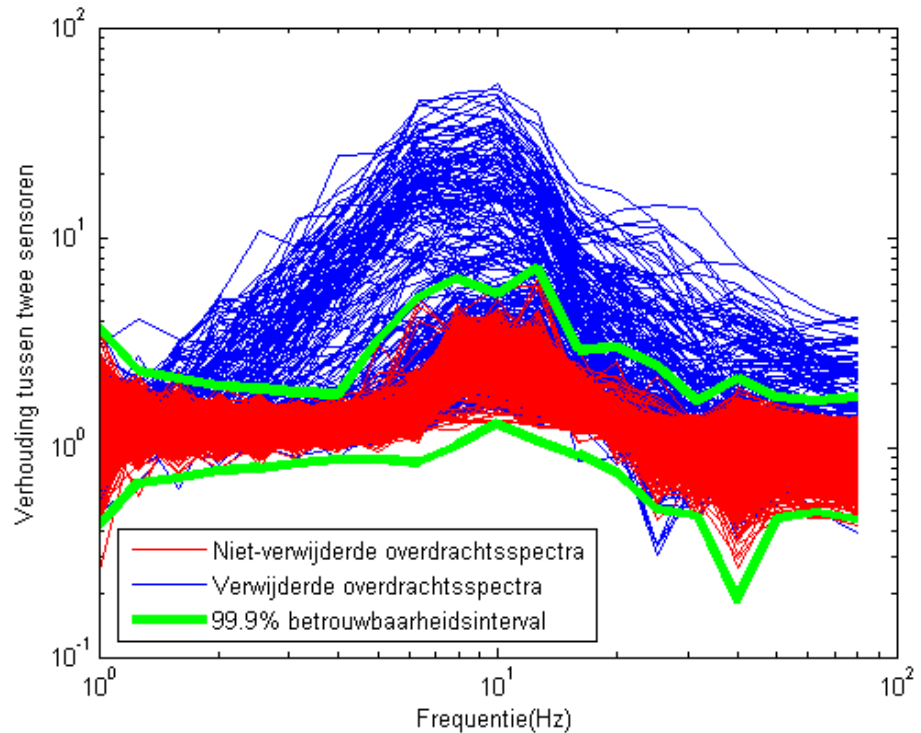
Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur III-3. De blauwe stippen zijn zeker geen treinen, de overige, als trein gemarkeerde, stippen zijn mogelijk treinen maar kunnen ook vervuild zijn. Daarom worden vervolgstappen ondernomen om deze vervuilde signalen te verwijderen.



Figuur III-3 Meetdata met gemarkeerde treinpassages

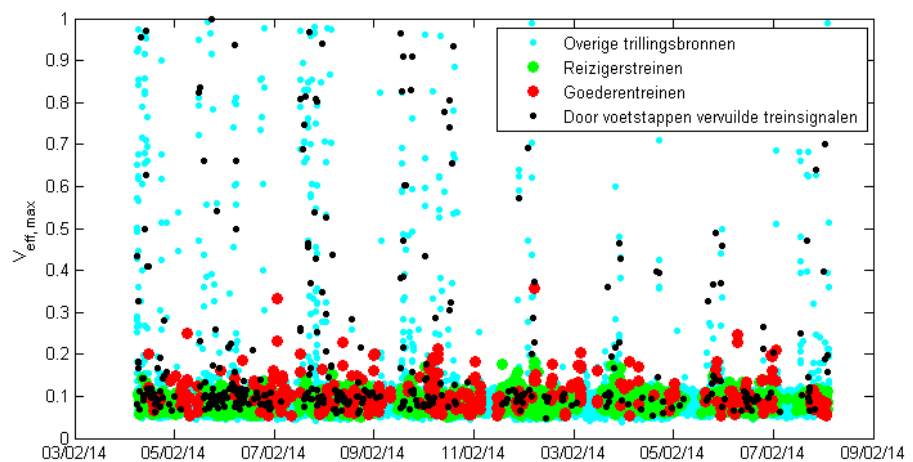
III.3 Stap 2 – Uitfilteren van interne verstoringen, zoals voetstappen

Omdat gebruik wordt gemaakt van meerdere sensoren, kunnen de trillingsspectra van de verschillende sensoren op elkaar worden gedeeld. Hierdoor worden lokaal optredende trillingen, zoals voetstappen, inzichtelijk gemaakt. Deze voetstappen vertonen immers alleen een uitslag op een van beide sensoren. Een voorbeeld van deze selectie op trillingsspectra is weergegeven in Figuur III-4. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in overdrachten en geverifieerd in de videobeelden.



Figuur III-4 Spectraalanalyse in stap 2

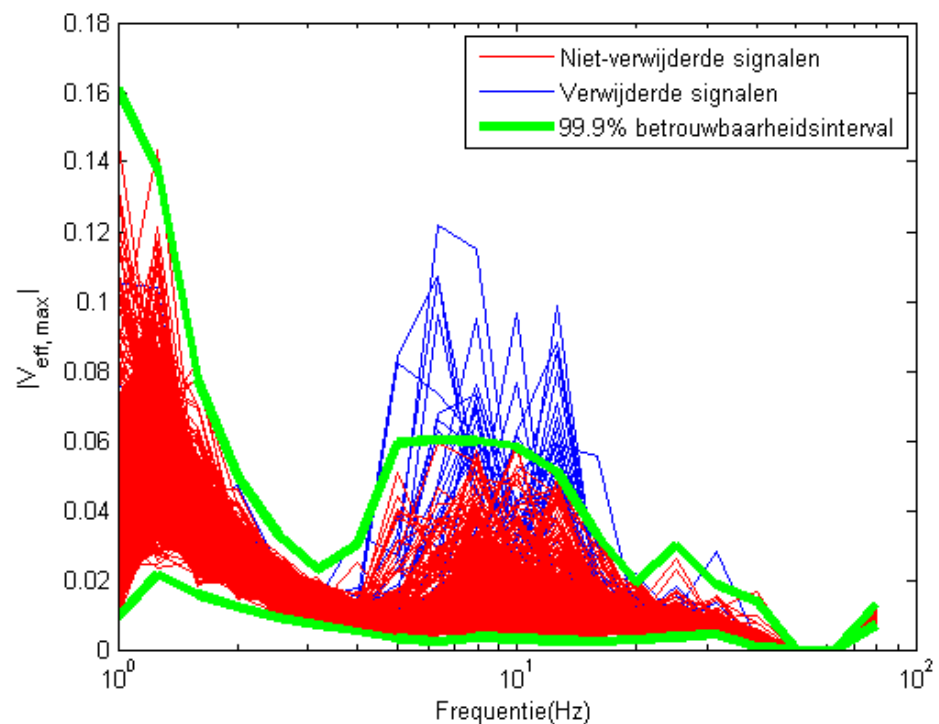
Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur III-5.



Figuur III-5 Meetdata met gemarkeerde treinpassages en uitgefilterde lokale trillingsbronnen

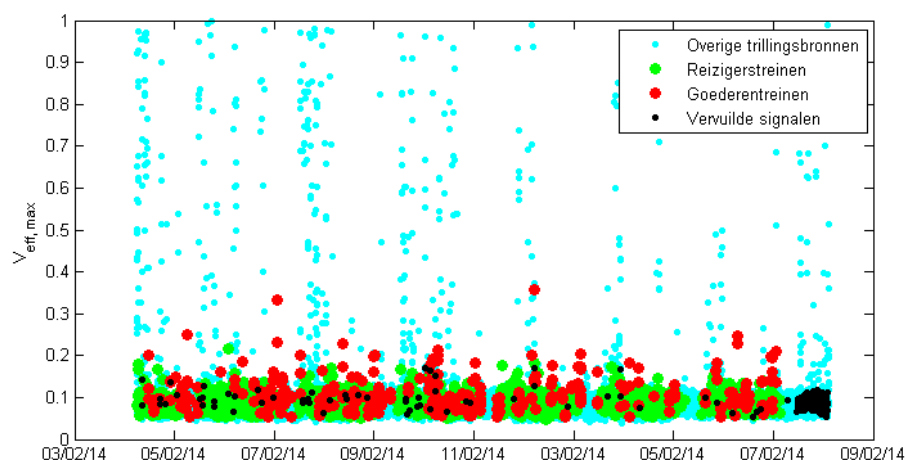
III.4 Stap 3 – Uitfilteren van externe verstoringen

Vervolgens worden niet-spoor gerelateerde gebeurtenissen, zoals wegverkeer en bouwwerkzaamheden, verwijderd uit de dataset. In het geval van externe verstoringen, zoals de passage van vrachtauto's of het gelijktijdig uitvoeren van werkzaamheden buiten het gebouw, kunnen deze verstoringen worden uitgefilterd met behulp van spectraalanalyse. Deze spectraalanalyse vindt per treintype plaats, zodat duidelijk zichtbaar wordt welke 30-secondeperiodes sterk afwijkende trillingsspectra hebben. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur III-6. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in signalen en geverifieerd met behulp van de videobeelden.



Figuur III-6 Spectraalanalyse in stap 3

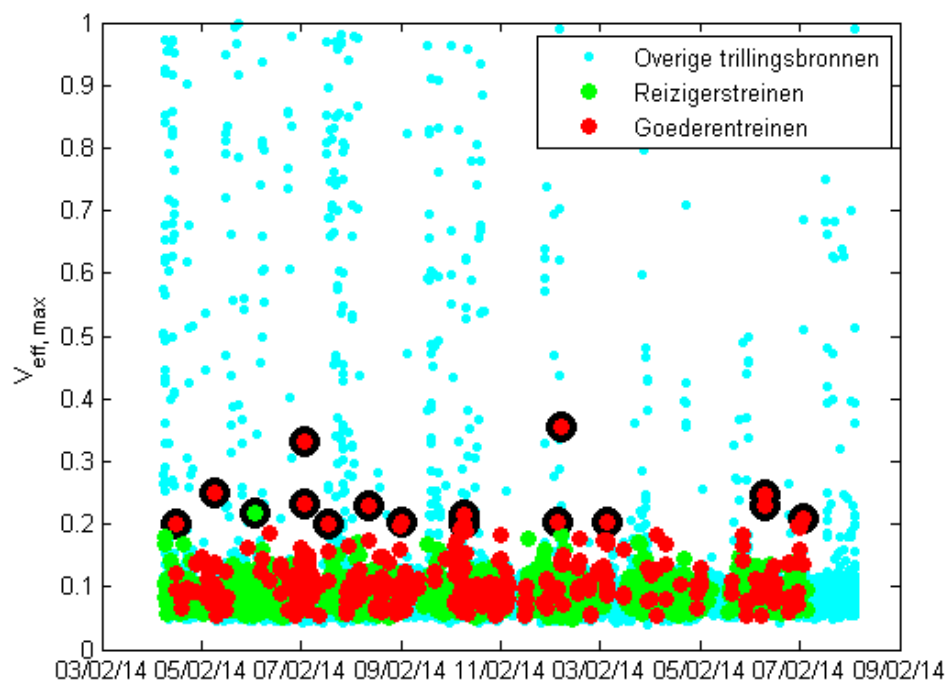
Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur III-7.



Figuur III-7 Meetdata met gemarkeerde treinpassages en externe trillingsbronnen

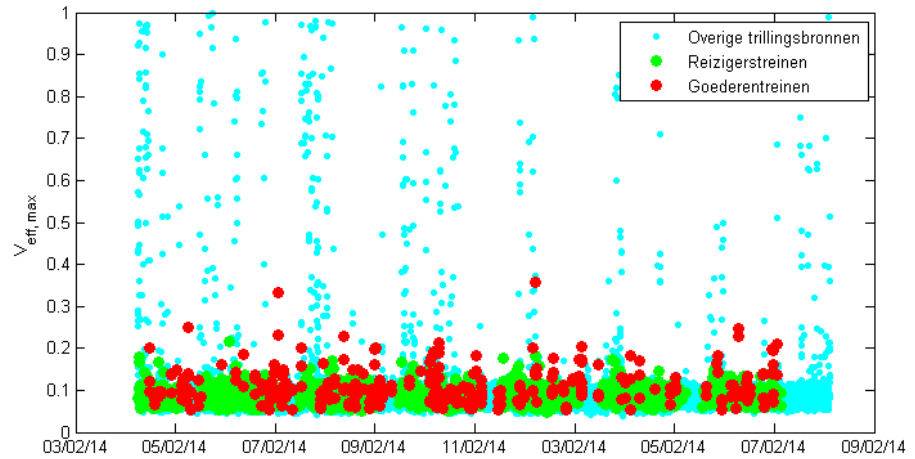
III.5 Stap 4 – Controle van hoogste waarden

Als laatste controlestep worden alle hoge trillingssignalen extra gecontroleerd op vervuiling door andere trillingsbronnen. Deze laatste controle vindt volledig handmatig plaats in de meetsoftware. Hierbij worden de trillingssignalen en videobeelden beschouwd op afwijkingen en verstoringen. Een voorbeeldselectie van te controleren trillingssignalen (zwart omcirkelde meetpunten) voor de dataset in dit voorbeeld is weergegeven in Figuur III-8.



Figuur III-8 Te controleren treinsignalen in stap 4

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur III-9. Dit is de uiteindelijke dataset waarover de trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit V_{per} zullen worden bepaald.



Figuur III-9 Schone dataset met treinpassages

Bijlage IV Mogelijke mitigerende maatregelen

In deze bijlage wordt een zo compleet mogelijke opsomming en omschrijving gegeven van mogelijke trillingsmaatregelen.

De effectiviteit van maatregelen tegen trillingshinder hangt af van een groot aantal factoren. Het komt dus voor dat een maatregel die op de ene locatie effectief is, op een andere locatie de trillingssterkte niet of veel minder vermindert. Het ontwerpen van maatregelen tegen trillingshinder wordt bemoeilijkt door de volgende factoren:

1. Maatregelen zijn niet 'standaard'. Dit heeft o.a. te maken met de heterogeniteit van de bodem. Voor elke situatie dient bepaald te worden welke maatregel effectief is. Een diepwand vlak langs het spoor kan averechts werken, terwijl dezelfde wand dichterbij de woning effectief kan zijn;
2. Het arsenaal aan mogelijke maatregelen is beperkt. Een bronmaatregel als afvering van het spoor is slechts zinvol bij hoogfrequente trillingen. In de zachte bodems in Nederland wordt hinder doorgaans veroorzaakt door laagfrequente trillingen;
3. Aanpassen van vloeren en funderingen is realiseerbaar bij nieuwbouw, niet of zeer moeizaam bij bestaande gebouwen;
4. Bij maatregelen die in de bodem worden genomen is inpasbaarheid een belangrijk criterium, vooral met betrekking tot (ondergrondse) obstakels.

Door middel van bronnenonderzoek, expert interviews en brainstormsessies is een breed scala aan mogelijke trillingsmaatregelen bepaald. 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);

Mogelijkheden in deze categorieën worden in de volgende subparagrafen nader toegelicht.

Bronmaatregelen

Goederentreinen geven vrijwel altijd de hoogste trillingssterktes van het treinverkeer. Het nemen van maatregelen aan de bron dient vooral op het dichtst bijgelegen goederenspoor gericht te zijn, dit spoor geeft gewoonlijk de grootste trillingssterktes:

- B.1 Dwarsliggermatten. Door de elasticiteit van de dwarsliggermat worden bepaalde trillingsfrequenties verzwakt. Bij lage frequenties kan echter ook versterking van het trillingsniveau optreden. Deze maatregel is daardoor minder effectief voor trillingen van goederentreinen. Goederentreinen hebben vooral laagfrequente trillingssignalen; Daarnaast wordt de belasting van de trein over meer dwarsliggers verdeeld, waardoor de kwaliteit van het spoor minder snel afneemt. Een

goede kwaliteit van het spoor heeft een positief effect op het trillingsniveau.

- B.2 Ballastmatten. De elasticiteit van de ballastmat reduceert bepaalde frequenties uit het trillingssignaal. Bij lage frequenties kan echter ook versterking van het trillingsniveau optreden, wat deze maatregel vaak minder effectief maakt voor trillingen van goederentreinen.
- B.3 Floating Slab Track is een afgeveerde betonplaat waar het spoor op gemonteerd is. Met een Floating Slab Track kunnen, vergeleken bij ballastmatten of dwarsliggermatten, ook lagere frequenties worden gereduceerd. Goederentreinen genereren echter vaak ook trillingen in het frequentiegebied waar de Floating Slab Track trillingen versterkt, wat deze maatregel vaak minder effectief maakt voor trillingen van goederentreinen.
- B.4 Slab track. Bij deze maatregel wordt een betonnen plaat onder het spoor aangebracht, waardoor de spoorconstructie stijver is en de trillingen lager. Deze maatregel is vooral effectief tegen hoogfrequente trillingen, wat deze maatregel vaak minder effectief maakt voor trillingen van goederentreinen.
- B.5 Slabtrack met ballastmat. Bij deze spoorconstructie wordt een betonnen plaat onder het spoor aangebracht, met daarbovenop een ballastmat van rubber. De kwaliteit van de spoorligging verbetert hierdoor, waardoor minder trillingen kunnen optreden. Het laagfrequente effect is echter beperkt.
- B.6 Decktrack. Vervangen van de spoorbaan door een holle kokerligger met een hoge stijfheid. Hierdoor neemt de indrukking van de baan af en worden trillingen gereduceerd. Onder meer uitgevoerd in een proefproject bij de Betuweroute.
- B.7 Under sleeper pads. Door het bevestigen van rubberen matten aan de onderzijde van de dwarsliggers, verbetert de ligging van het spoor en nemen de trillingen af. Deze maatregel heeft vooral hoogfrequent effect, tussen de 20 en 40 Hz kunnen trillingen worden versterkt. Laagfrequent is deze maatregel waarschijnlijk beperkt effectief. Uit onderzoeken op verschillende plaatsen blijkt dat Under sleeper pads ook een negatief (versterkend) effect op de trillingshinder kunnen hebben.
- B.8 Laddertrack. Constructie waarbij meerdere dwarsliggers aan elkaar worden vastgemaakt, waardoor de spoorconstructie stijver is en de kwaliteit van de spoorligging beter blijft gedurende langere tijd. Laagfrequent is het effect van deze maatregel beperkt.
- B.9 Frame sleepers. Kleinere variant van laddertrack, en daardoor ook iets goedkoper. Het effect is echter ook minder, doordat de constructie minder stijf is.
- B.10 Wide sleeper track. Bij deze spoorconstructie worden bredere, en dus zwaardere, betonnen dwarsliggers toegepast, waardoor de ligging van het spoor beter blijft en vooral hoogfrequente trillingen worden gereduceerd.
- B.11 Verplaatsen van wissels. De puntstukken van wissels zorgen voor

hogere trillingsniveaus dan doorgaand spoor. Het verplaatsen van wissels kan voor een aantal locaties de trillingssterkte reduceren. Het verplaatsen van wissels is niet altijd mogelijk in verband met lijnvoering, opvolgtijden en rijnsnelheden.

- B.12 Verbeteren van de aansluiting tussen kunstwerk en aardebaan. Voor een aantal locaties zorgt de aansluiting tussen kunstwerk en aardebaan voor een mogelijke overschrijding. Deze aansluiting kan worden verbeterd door periodiek onderhoud aan het spoor of beheersmaatregelen. Een mogelijke beheersmaatregel is het gebruiken van nastelbare dwarsliggers op de overgang tussen kunstwerk en aardebaan. Deze dwarsliggers kunnen eenvoudig worden bijgesteld wanneer de baan zakt.
- B.13 Snelheidsaanpassing treinen. De treinsnelheid heeft op de meeste locaties een belangrijke invloed op de trillingssterktes van treinen. Het verlagen van de snelheid van treinen heeft vaak een aanzienlijke reductie in trillingssterkte tot gevolg. Aanpassen van de treinsnelheid is echter niet vaak mogelijk vanwege de opvolgtijden van treinen op het drukke Nederlandse spoorweginet. Spoorbeheerder ProRail kan wettelijk gezien geen differentiatie in treinsnelheid aan vervoerders opleggen, dus dat de ene vervoerder langzamer moet rijden dan de andere vervoerder. Gezien deze overwegingen is deze maatregel niet uitvoerbaar. Deze maatregel wordt daarom niet meegenomen bij het afwegen van maatregelen.
- B.14 Toezicht op kwaliteit materieel. De staat van onderhoud van vooral goederenwagens is een belangrijke parameter bij het ontstaan van trillingen. Door via monitoringsystemen de staat van wagens te monitoren, kunnen treinen met afwijkende trillingskarakteristieken eerder in onderhoud genomen worden. Deze methode wordt nog niet toegepast voor de bewaking van trillingen.

Transmissie maatregelen

Ook voor het transmissiepad van bron naar ontvanger is het mogelijk om maatregelen te nemen om trillingen te reduceren. Over het algemeen geldt dat hoe dichter maatregelen bij de bron of ontvanger worden ingezet in het transmissiepad, hoe effectiever ze zijn. De volgende maatregelen zijn onder meer mogelijk, afhankelijk van de locatie:

- T.1 Een holle ruimte in de bodem, ingeklemd door damwanden. Deze holle ruimte fungeert als trillingsscherm. Hierbij zijn diverse afmetingen mogelijk. Deze constructie dient te worden afgeschermd om erin vallen te voorkomen. Deze maatregel is uitvoerbaar als lichte, middelzware en zware maatregel, afhankelijk van de afmetingen.
- T.2 Betonnen trillingsscherm (Ondergrondse Trillingsreducerende Constructie, OTC) aanleggen. Een dergelijk trillingsscherm kan worden gerealiseerd met behulp van de diepwandmethode⁷ of met behulp van

⁷ Bij deze methode wordt een in de bodem gegraven sleuf volgestort met beton. Deze methode vereist een vrij grote werkruimte en is daardoor niet overal toepasbaar.

jet-grouten⁸. Deze maatregel is uitvoerbaar als lichte, middelzware en zware maatregel, afhankelijk van de afmetingen.

- T.3 Beklede keerwand aanleggen. Een beklede keerwand is een betonnen trillingsscherm dat aan minimaal één zijde bekleed is met zacht materiaal, bijvoorbeeld rubber, om een maximale demping van de trillingen te bereiken. Deze maatregel is uitvoerbaar als lichte, middelzware en zware maatregel, afhankelijk van de afmetingen.
- T.4 Zettingsvrije plaat onder het spoor. Het toepassen van een zettingsvrije plaat onder de sporen kan voor een reductie van trillingen zorgen door de hogere stijfheid van de zettingsvrije plaat, vergeleken met een aardebaan. Op sommige locaties (verhoogd talud) kan een zettingsvrije plaat de trillingssterkte echter verhogen.
- T.5 Aanleggen of verdiepen van spoorloot of vaart. Een spoorloot heeft een vergelijkbare werking als een holle ruimte in de bodem, maar heeft als nadeel dat aanzienlijk meer ruimte nodig is. Deze maatregel is uitvoerbaar als lichte en middelzware maatregel, afhankelijk van de afmetingen.
- T.6 Aanpassingen aan het spoortalud. De vorm van het spoortalud heeft invloed op de trillingssterkte. Een steil talud of verticale wand kan tot een trillingsreductie leiden ten opzichte van een flauw talud. Deze maatregel is alleen realiseerbaar bij een verhoogde of verlaagde spoorligging.
- T.7 L-wand als grondkerende constructie in het talud. Door het realiseren van een betonnen L-wand als grondkerende constructie in het talud kunnen trillingen fors worden gereduceerd. Deze maatregel is alleen toepasbaar bij een verhoogd talud. Deze maatregel is alleen realiseerbaar bij een verhoogde spoorligging.

Ontvangermaatregelen

De laatste categorie maatregelen zijn maatregelen aan de ontvanger, aan de gebouwen. Nadeel van deze categorie is dat de meeste opties grote impact hebben op de gebruikers van de gebouwen en vrijwel niet uitvoerbaar zijn voor bestaande gebouwen. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- O.1 Opkopen. De gebouwen worden opgekocht en de bewoners of gebruikers verhuizen. Deze optie is erg kostbaar en heeft een grote impact op bewoners of gebruikers en omwonenden.
- O.2 Verstijven van vloeren en muren. In veel gebouwen worden hoge trillingssterktes veroorzaakt door slappe vloeren en muren. Het verstijven van vloeren en muren is daarom een effectieve maatregel om de trillingssterkte op hoger gelegen verdiepingen te reduceren. Bij houten vloeren kunnen de draagbalken worden verstevigd met behulp van stalen U-profielen, wanneer de fundering dat toelaat kan de houten vloer worden vervangen door een betonnen vloer. Het is niet bij elk

⁸ Bij deze methode wordt een betonmengsel in de grond geïnjecteerd. Hierbij is het vereiste bouwterrein en de benodigde ruimte voor het aanbrengen kleiner. Door de lagere stijfheid van de trillingswand na realisatie is doorgaans wel een grotere afmeting (diepte en/of breedte) van het trillingsscherm noodzakelijk om dezelfde reductie in trillingssterkte te realiseren als bij een trillingsscherm gerealiseerd met behulp van de diepwandmethode.

type bouw mogelijk om effectieve verstijvingsmaatregelen uit te voeren, bovendien speelt de esthetica ook een rol bij bestaande gebouwen. Deze maatregel is zowel als middelzware (verstijven van de balken) en als zware (betonnen vloer) maatregel uitvoerbaar.

O.3 Fundering inpakken. Bij gebouwen die op staal zijn gefundeerd, kan de fundering worden ingepakt in een dempend materiaal, zoals rubber. Hierdoor neemt de overdracht van de trillingen van buiten naar binnen af.

O.4 Tuned Mass Damper (TMD) toepassen. Een TMD is een afgeregeld massa-veersysteem dat trillingen kan uitdempen. Een TMD werkt vooral in situaties waar de trillingen vooral bij een bepaalde frequentie sterk zijn, omdat andere frequenties vaak worden versterkt. In veel gevallen zal een TMD onvoldoende effect hebben bij door treinen veroorzaakte trillingen, omdat deze trillingen een vrij breed frequentiespectrum kennen.