

RAPPORT

RegioExpres: Deelrapport Trillingen

Versie: 3.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 27-11-2023

Kenmerk: A30-XX-HS-RAP-
23009144



Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doel rapport	4
1.2	Over de voorgenomen activiteit(en)	4
1.3	Leeswijzer	6
2	Aanpak: kaders & methodiek	7
2.1	Plan- & studiegebied	7
2.1.1	Plangebied	7
2.1.2	Studiegebied	7
2.2	Beleidskader & wet- en regelgeving	8
2.2.1	Beoordelingskader trillingschade	9
2.2.2	Beoordelingskader trillinghinder	9
2.2.3	Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur	11
2.3	Beoordelingskader	11
2.3.1	Beoordelingscriteria en wijze van beoordelen MER-onderzoek	11
2.3.2	Beoordelingscriteria en wijze van beoordelen PIP-onderzoek	14
2.4	Onderzoeksmethodiek	14
2.4.1	Onderzoek naar trillingschade	15
2.4.2	Onderzoek naar trillinghinder	15
2.4.3	Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur	16
2.4.4	Betrouwbaarheid van het onderzoek	17
3	Beschouwde situaties	18
3.1	Referentiesituatie 2015	18
3.2	Huidige situatie	19
3.3	Referentiesituatie 2035	19
3.4	Plansituatie	20
3.5	Tijdelijke situatie	22
4	Effectbeoordeling	23
4.1	Verwachte effecten	23
4.1.1	Beoordeling t.b.v. het PIP	23
4.1.2	Verwachte effecten in het MER	26
4.1.3	Cumulatieve effecten	28
4.2	Mitigerende & compenserende maatregelen	28
4.3	Effectbeoordeling ná maatregelen	31
5	Monitoring, evaluatie & leemten in kennis	33
5.1	Monitoring en evaluatie	33
5.2	Leemten in kennis	33
6	Conclusies	34
6.1	Conclusie i.r.t. uitvoerbaarheid PIP	34
6.1.1	Toetsing aan richtlijnen	34

6.1.2	Mitigerende maatregelen	34
6.2	Totaalbeoordeling effecten t.b.v. MER	34
6.3	Conclusie	35
Bijlage I.	VibraDyna	36
Bijlage II.	Beoordelingskader	41
Bijlage III.	Gebruikt bodemonderzoek	46
Bijlage IV.	Verwerkingsprocedure trillingmetingen	47
Bijlage V.	Resultaten maaiveldmetingen (t.b.v. stap 1)	53
Bijlage VI.	Resultaten metingen woningen (t.b.v. stap 2)	66
Bijlage VII.	Achtergrondinformatie woningmetingen	72
Bijlage VIII.	Resultaten modelberekeningen	131
Bijlage IX.	Maatregelenonderzoek	147
Colofon		178

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel rapport

Voorliggend document beschrijft de resultaten van het deelonderzoek trillingen ten behoeve van het milieueffectrapport (hierna: MER) van het project RegioExpres. In dit deelrapport wordt onderzocht welke milieueffecten voor dit thema te verwachten zijn als gevolg van de voorgenomen activiteit(en) en of en zo ja welke mitigerende en compenserende maatregelen kunnen worden genomen om deze milieueffecten te beperken.

Het MER wordt samen met het Ontwerp Provinciaal Inpassingsplan (hierna: Ontwerp PIP) in procedure gebracht en moeten leiden tot een definitief Provinciaal Inpassingsplan (PIP), waarna wordt overgegaan tot (voorbereiding van) realisatie van de voorgenomen activiteiten. Voor meer informatie over de procedure wordt naar het MER en het PIP verwezen.

1.2 Over de voorgenomen activiteit(en)

In de huidige situatie rijden er in beide richtingen op werkdagen vier stoptreinen per uur tussen Arnhem en Doetinchem, waarvan er twee doorrijden naar Winterswijk. Daarnaast rijdt tussen Arnhem en Zevenaar de trein naar Düsseldorf en wordt het spoor gedeeld met de ICE (Amsterdam-Arnhem-Frankfurt) en de NightJet (Amsterdam-Frankfurt-Innsbruck).

Naast capaciteitsproblemen is ook de gemiddelde snelheid laag op het traject door de vele tussenstops en sluiten treinen slecht op elkaar aan. Als er geen maatregelen worden genomen, hebben de toenemende drukte -die uiteindelijk zelfs leidt tot het punt dat reizigers in de ochtendspits niet meer in de gewenste trein passen- en langere reistijden grote negatieve gevolgen voor de bereikbaarheid, leefbaarheid en het vestigingsklimaat van de regio's. Begin 2018 heeft Provincie Gelderland daarom besloten om een brede verkenning te starten naar de spoorverbinding. Hierin is samengewerkt met het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, regio Achterhoek, ProRail, gemeenten en de vervoerders (Arriva en Connexxion).

De oplossing is de RegioExpres: 1x per uur een snelle trein tussen de Achterhoek en Arnhem met aanvullend een verbeterde kwartiersdienst Arnhem-Doetinchem.

Met de uitvoering van het project RegioExpres wijzigt de dienstregeling naar één sneltrein tussen Arnhem en Doetinchem, die als stoptrein verder rijdt naar Winterswijk én vier stoptreinen tussen Arnhem en Doetinchem, waarvan er één als stoptrein doorrijdt naar Winterswijk. In de basis betekent dit dat er op het traject Arnhem-Doetinchem, in vergelijking met de huidige situatie, één extra (snel)trein per uur gaat rijden (in beide richtingen). De RegioExpres gaat alleen op werkdagen rijden tot 20:00 uur.

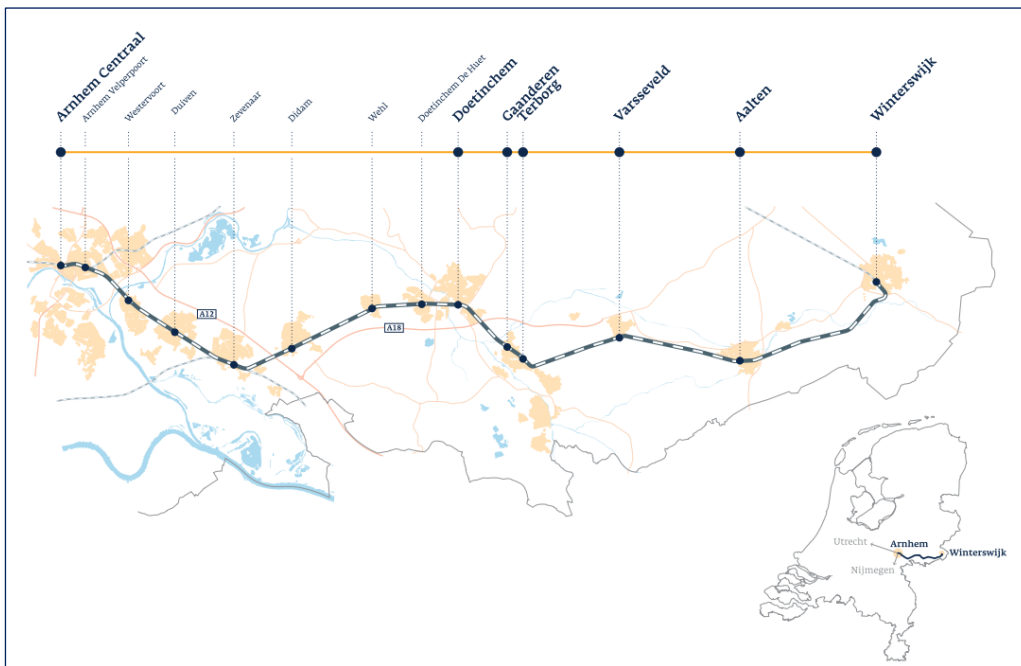
Om dit mogelijk te maken zijn diverse infrastructurele maatregelen nodig. De meest vooraanstaande aanpassingen zijn:

- Spoorverdubbeling tussen Didam en Doetinchem De Huet;
- Tweede (extra) perron op stations Wehl en Doetinchem De Huet;
- Aanpassingen ter verbetering van de overwegveiligheid bij elf overwegen, deze liggen in de gemeenten Montferland en Doetinchem;
- Rondom station Doetinchem De Huet worden aanpassingen gedaan aan de openbare ruimte;
- Bouw van een relaishuis en keervoorziening ter hoogte van de Europaweg in Doetinchem;
- Een extra wissel ter hoogte van de Ringbaan-Oost (N336) in Zevenaar;
- Om het project te realiseren zijn ook tijdelijke bouwwegen en -terreinen noodzakelijk, deze worden nadien weer opgeheven.

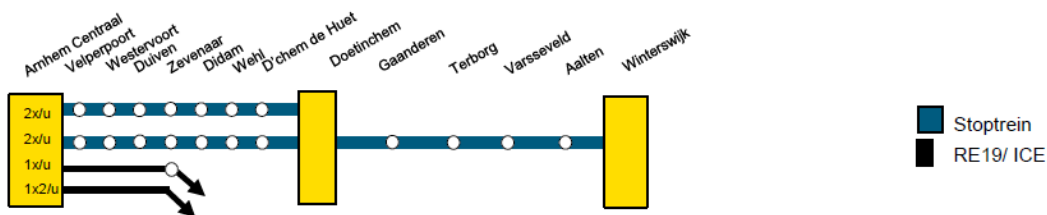
Als gevolg van deze infrastructurele maatregelen zal ook de betrouwbaarheid en robuustheid van de dienstregeling hoger worden, wat ook leidt tot de verbeterde kwartiersdienst. Samen met de verbetering in capaciteit en snelheid ontstaat een aantrekkelijk alternatief voor de (dagelijkse) files op de A12 en A18.

Voor een nadere beschrijving van de voorgenomen activiteiten wordt verwezen naar het MER. Ter ondersteuning van bovenstaande toelichting zijn enkele figuren bijgevoegd:

- Figuur 1 toont het traject Arnhem-Winterswijk;
- Figuur 2 toont de huidige dienstregeling op het traject Arnhem-Doetinchem-Winterswijk;
- Figuur 3 toont de dienstregeling na introductie van de RegioExpres 1 keer per uur;
- Figuur 4 toont een overzicht van de te nemen spoor gerelateerde maatregelen ten behoeve van het project RegioExpres.



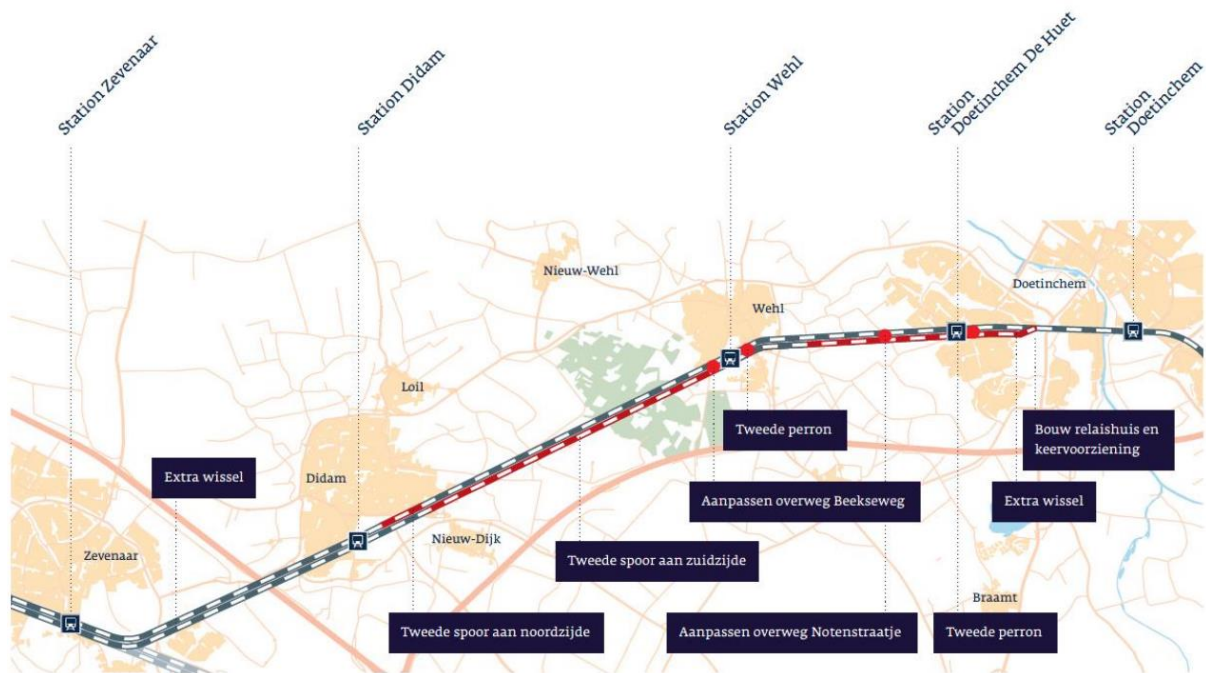
Figuur 1: Traject Arnhem-Winterswijk



Figuur 2: Huidige dienstregeling traject Arnhem-Doetinchem-Winterswijk



Figuur 3: Dienstregeling met introductie van de RegioExpres 1 keer per uur (per rijrichting)



Figuur 4: Het project RegioExpres en de meest majeure spoor gerelateerde maatregelen

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de kaders & methodiek van het onderzoek beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de huidige situatie en autonome ontwikkeling (referentiesituatie). In hoofdstuk 4 worden de milieueffecten gepresenteerd en eventuele mitigerende en compenserende maatregelen toegelicht. In hoofdstuk 5 komen de monitoring, evaluatie en leemten in kennis aanbod. Tot slot worden in hoofdstuk 6 de conclusies van het onderzoek gepresenteerd.

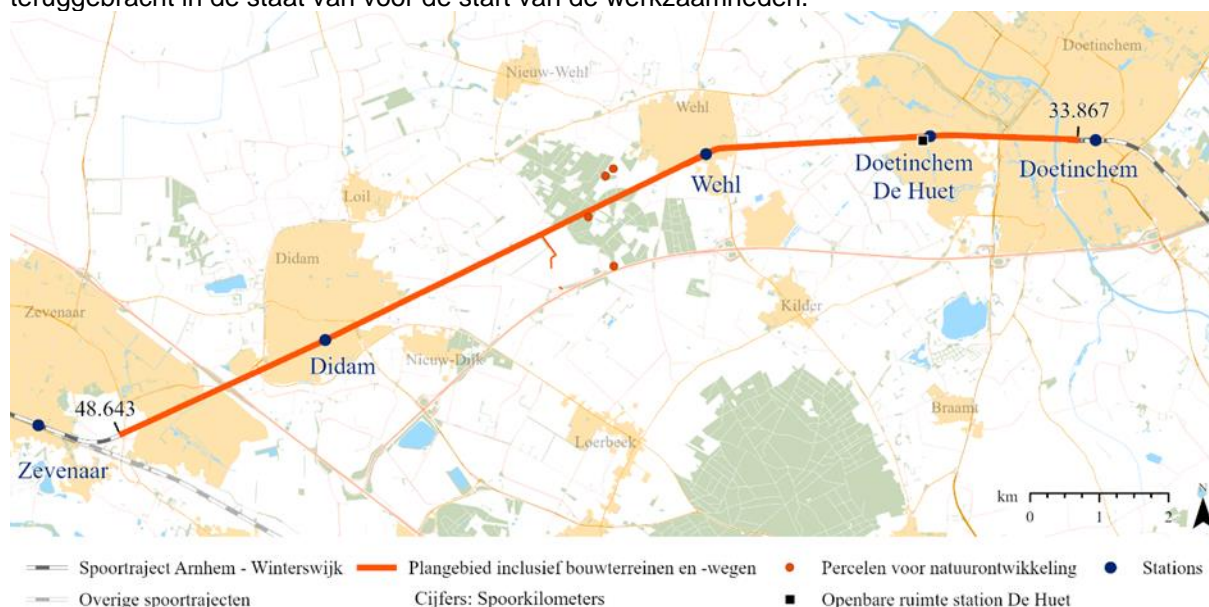
2 Aanpak: kaders & methodiek

2.1 Plan- & studiegebied

Voor het MER van de RegioExpres maken we onderscheid in het plan- en studiegebied. Deze zijn in navolgende paragrafen toegelicht.

2.1.1 Plangebied

Het plangebied is het gebied waarbinnen, op basis van het project en de milieueffecten, fysieke maatregelen nodig zijn. Dat gebied maakt onderdeel uit van het ruimtelijk besluit. Het plangebied voor het project RegioExpres is het traject vanaf spookkilometer 48,643 (net ten westen van de Ringbaan-Oost/N336 bij Zevenaar) tot en met spookkilometer 33,867 (net ten westen van station Doetinchem). In Figuur 5 is dit gevisualiseerd. Ook wordt op een aantal locaties langs het spoor openbare ruimte aangepast om het project mogelijk te maken. Daarnaast wordt er natuur ontwikkeld op enkele percelen in Stilliwald (Wehl). Tijdens de realisatie van het project zijn tijdelijk bouwterreinen en -wegen nodig, deze maken ook onderdeel uit van plangebied en worden na afronding van de werkzaamheden teruggebracht in de staat van voor de start van de werkzaamheden.



Figuur 5: Plangebied van het project RegioExpres waarbinnen de fysieke maatregelen worden uitgevoerd

2.1.2 Studiegebied

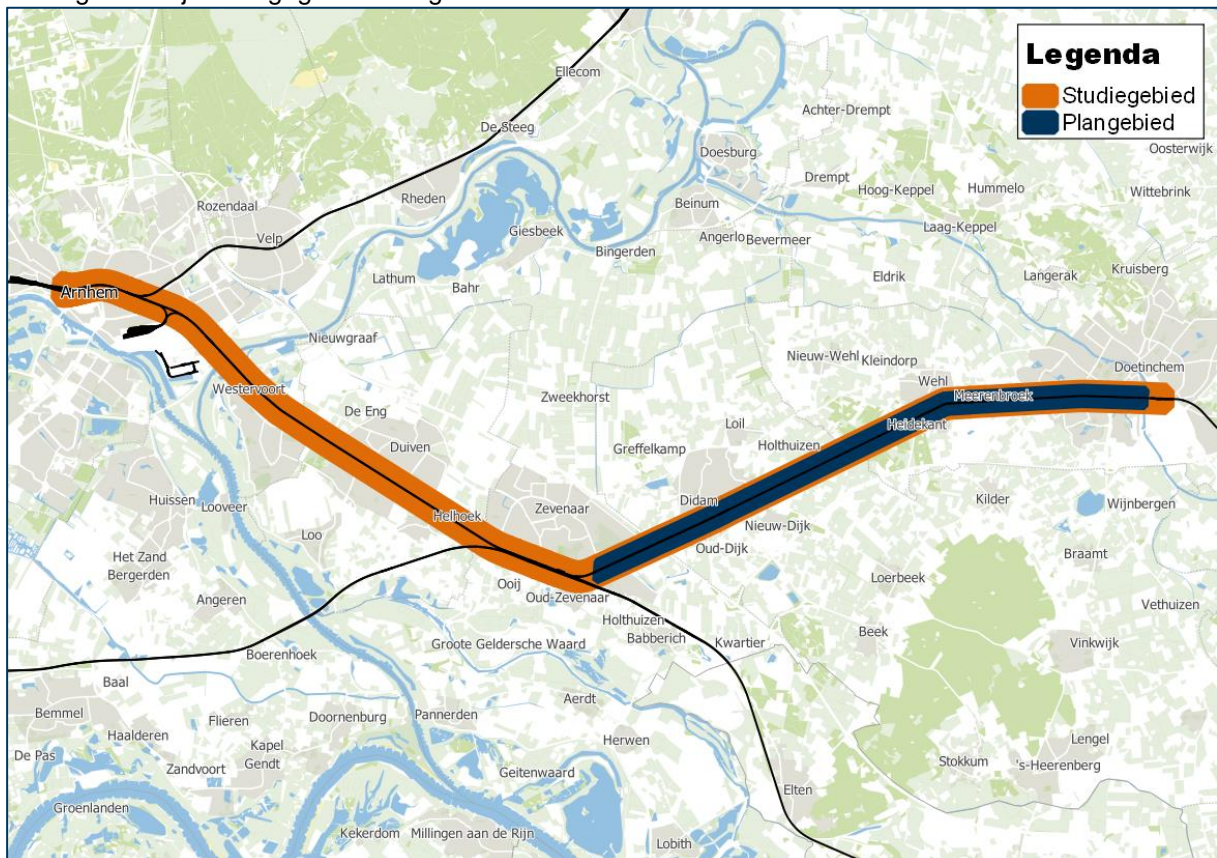
Het studiegebied is het gebied waarbinnen het optreden van belangrijke milieueffecten op voorhand niet zondermeer kan worden uitgesloten. Deze effecten kunnen optreden door zowel fysieke maatregelen aan het spoor als door het veranderde gebruik. De milieueffecten van de aanleg en het gebruik van de RegioExpres worden in het MER per thema onderzocht. De omvang van het studiegebied is per milieuthema verschillend en is maximaal het gebied vanaf station Arnhem Centraal tot en met station Doetinchem. Achtergrond hiervan is dat buiten dit gebied er geen wijzigingen plaatsvinden, niet fysiek en niet qua aantallen treinen en/of -snelheden.

De herinrichting van de natuurontwikkelingsgebieden, die voorzien zijn in Stilliwald, heeft geen invloed op het thema trillingen en zijn geen onderdeel van het onderhavige studiegebied.

Het studiegebied van de RegioExpres voor het thema trillingen begint bij station Arnhem Centraal en eindigt bij station Doetinchem. In een deel van het studiegebied (tussen Arnhem Centraal en de aansluiting bij Zevenaar) vinden geen wijzigingen in rijsnelheid of andere wijzigingen plaats ten gevolge

van het project. Op de spoorlijn Arnhem – Zevenaar is sprake van zwaar goederenverkeer, wat zorgt voor hogere trillingen dan de trillingen ten gevolge van de RegioExpres. Bij trillingen kijken we naar locaties waar de maximale trillingsterkte met meer dan 30% toeneemt, of de grenswaarde voor de gemiddelde trillingsterkte wordt overschreden. Omdat het goederenverkeer maatgevend is tussen Arnhem en Zevenaar, wijzigt de maximale trillingsterkte niet, terwijl de gemiddelde trillingsterkte in het hele plangebied lager is dan de grenswaarde. Tussen Arnhem en Zevenaar zijn daarom geen significante effecten van de RegioExpres te verwachten op het gebied van trillingen. Daarom is dit gedeelte buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. Het studiegebied voor trillingen start daarom bij km. 106.35 (aansluiting bij Zevenaar) en loopt door tot km. 33.65 (station Doetinchem). Buiten dit gebied treden geen significante trilingeffecten op en zijn de effecten van het project daarom ook niet kwantitatief in beeld gebracht. Als verder in dit rapport wordt gesproken over het studiegebied, dan gaat het dus om het gebied tussen km. 106.35 bij Zevenaar en km. 33.65 bij station Doetinchem.

Voor het trillingonderzoek wordt een zone van 200 meter aan weerszijden van het spoor gehanteerd, buiten deze zone zijn geen significante trilingeffecten van het project te verwachten. Het plan- en studiegebied zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Studiegebied van dit deelonderzoek

2.2 Beleidskader & wet- en regelgeving

In deze paragraaf is het wettelijk en beleidsmatig kader omschreven voor het thema trillingen. Er is geen verschil in gehanteerd kader tussen rijksoverheid, provincies en gemeenten.

In dit onderzoek worden de optredende trillingen van treinverkeer op drie aspecten beoordeeld: schade aan gebouwen, hinder voor personen en verstoringen van gevoelige apparatuur.

In de wet is niet geregeld hoe deze aspecten beoordeeld moeten worden. Daarom wordt aangesloten bij de doorgaans gebruikte beoordelingskaders.

Voor trillingschade betreft dat de SBR A-richtlijn (schade aan gebouwen). Voor trillinghinder heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat beleid geformuleerd over hoe trillingen te beoordelen bij Tracéwetprocedures. Dit beleid is opgenomen in de *Beleidsregel trillinghinder spoor* (hierna: Bts) en vormt het kader voor dit onderzoek. In de Bts heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat beleid geformuleerd over hoe trillingen te beoordelen bij bijvoorbeeld Tracéwetprocedures of een PIP. Voor verstoring van apparatuur wordt de SBR C-richtlijn (verstoring van gevoelige apparatuur) gehanteerd.

Genoemde drie beoordelingskaders worden in de volgende subparagrafen nader omschreven.

2.2.1 Beoordelingskader trillingschade

De toetsing van trillingschade vindt in Nederland vrijwel altijd plaats op basis van de SBR A-richtlijn. Deze richtlijn beschrijft de meetmethodiek en toetsingscriteria voor trillingschade. Van de SBR A-richtlijn is een omschrijving opgenomen in Bijlage II. Voor het huidige project zijn hierbij twee activiteiten relevant: treinverkeer en bouwwerkzaamheden. Voor treinverkeer is de beleidslijn van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, zoals gepubliceerd in 2022, leidend. Relevant in deze beleidslijn is dat gebouwen¹ worden opgesplitst in drie categorieën, zie Tabel 1.

Tabel 1: Categorie-indeling voor beoordeling van schade aan gebouwen

Situatie voor project	Trillingen nemen toe door project	Trillingen nemen niet toe door project
Kans op schade > 1%	<p>Categorie A</p> <p>Adressen van deze gebouwen zijn opgenomen als bijlage in PIP, hier wordt bouwkundig onderzoek uitgevoerd en wordt ondersteund bij schade-afhandeling.</p>	<p>Categorie C</p> <p>Als eigenaren zich melden laat ministerie onderzoek uitvoeren conform TNO-schadeprotocol (o.b.v. kritische afstand en trillingniveau), bij schadekans volgens protocol groter dan 1% wordt bouwkundig onderzoek uitgevoerd en ondersteund bij schade-afhandeling.</p>
Kans op schade ≤ 1%	<p>Categorie B</p> <p>Als eigenaren zich melden laat ministerie onderzoek uitvoeren conform TNO-schadeprotocol (o.b.v. kritische afstand en trillingniveau), bij schadekans volgens protocol groter dan 1% wordt bouwkundig onderzoek uitgevoerd en ondersteund bij schade-afhandeling.</p>	

Schade door trillingen als gevolg van treinverkeer is onderzocht op basis van metingen in woningen en een modelberekening voor niet-gemeten woningen. Ook bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot trillingen boven grenswaarden uit de SBR A-richtlijn. Daarom zijn ook bouwwerkzaamheden onderzocht.

2.2.2 Beoordelingskader trillinghinder

Tot op heden zijn normen voor trillinghinder nog niet vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op eventuele toekomstige wetgeving heeft de toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts) opgesteld, die een wijziging van en aanvulling op de eerder gebruikte SBR B-richtlijn is. Belangrijke aspecten die verder worden uitgewerkt (ten opzichte van de SBR B-richtlijn) zijn:

¹ In dit onderzoek, is in lijn met de SBR A-richtlijn, niet alleen naar woningen, maar naar alle gebouwen gekeken.

1. De normstelling voor het al dan niet treffen van maatregelen. De Bts geeft aan wanneer in het Tracébesluit maatregelen ter voorkoming of beperking van trillinghinder achterwege kunnen blijven bij de aanleg of wijziging van een spoorweg;
2. De mogelijkheid om maatregelen af te wegen op grond van doelmatigheid, door middel van een kosteneffectiviteitscriterium. In dit kosteneffectiviteitscriterium wordt uitsluitend gegeven of bepaalde maatregelen, gezien de kosten, effectiviteit, milieu- en maatschappelijke impact en de mate van trillinghinder voldoende kosteneffectief zijn. Binnen het PIP voor de RegioExpres wordt een richtbedrag van € 63.027 per woning met overschrijdingen genoemd, voor kantoren wordt een bedrag van € 671 per werkplek aangehouden²;
3. De trillingsterkte V_{max} wordt bepaald over een meetperiode van tenminste 1 week. De meetmethode en de naverwerkingsmethode om te komen tot deze waarde zijn opgezet met het doel de reproduceerbaarheid van de metingen en berekeningen zo groot mogelijk te maken. Deze methodiek is beschreven in een memo van Level Acoustics³ en wordt beknopt toegelicht in Bijlage IV;
4. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} wordt afzonderlijk getoetst. Een situatie voldoet als zowel de streefwaarde voor V_{max} als voor V_{per} wordt gehaald.

Net als in de SBR B-richtlijn verschillen de streef- en grenswaarden in de Bts 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 werkrimte* (gevoelige apparatuur e.d.), *gezondheidszorg* en *wonen* en *kantoren* en gebouwen ten behoeve van *onderwijs* of *bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingsterktes, zie Tabel 2 voor de normstelling voor bestaande situaties. Onder de tabel wordt toegelicht hoe deze waarden worden gebruikt in de toetsing volgens de Bts.

Tabel 2: Normstelling bestaande situatie volgens Bts⁴

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

Om te beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts moet het schema in Figuur 7 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillinghinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

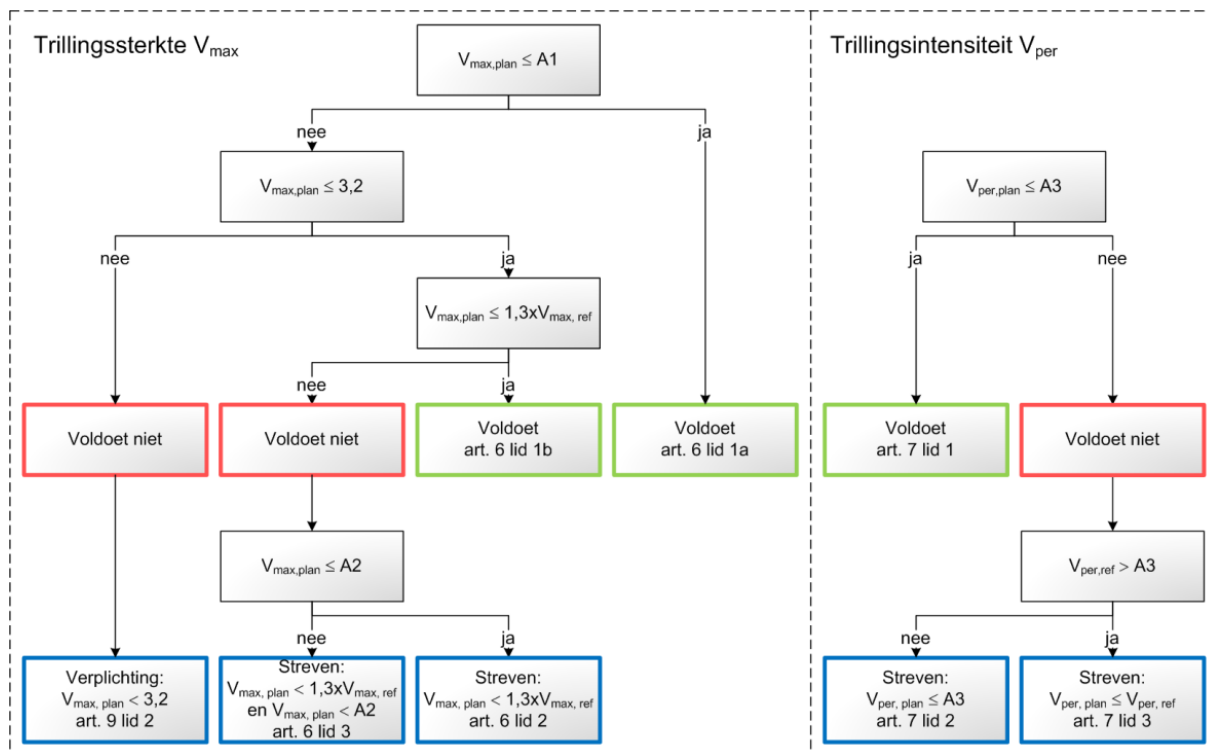
1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is lager dan A3 uit tabel 1.
2. De toename in trillingsterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is lager dan A3 en de trillingsterkte in de plansituatie is lager dan 3.2 (conform Bts art. 9 lid 2).

² Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA², uitgevoerd door Witteveen+Bos, Royal Haskoning DHV en TNO in relatie tot de *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts). Dit bedrag wordt bij ook bij andere Tracébesluiten gebruikt als richtbedrag voor het treffen van maatregelen, en is inclusief projectmanagement, engineering, administratie en toezicht (PEAT) en BTW, en geïndexeerd naar prijspeil januari 2023 (34,1% indexatie t.o.v. januari 2014).

³ Koopman, A., LA.131001a.M04 van 13 april 2018

⁴ De in tabel 1 benoemde streef- en grenswaarden zijn A1, de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} , A2, de grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max} en A3, de grenswaarde voor de gemiddelde trillingssterkte V_{per} .

Een nadere omschrijving van het beoordelingskader is te vinden in Bijlage II.



Figuur 7: Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

Schade door trillingen als gevolg van treinverkeer is onderzocht op basis van metingen in woningen en een modelberekening voor niet-gemeten woningen. Ook bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot trillingen boven grenswaarden uit de SBR A-richtlijn. Daarom zijn ook bouwwerkzaamheden onderzocht.

2.2.3 Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur

Voor trillinggevoelige apparatuur wordt in de SBR C-richtlijn verwezen naar de specifieke eisen van de apparaten zelf, omdat deze sterk verschillen per type apparaat en fabrikant. Wanneer uit het onderzoek blijkt dat sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur, dan wordt voor die apparatuur de bijbehorende trillingseisen gehanteerd.

2.3 Beoordelingskader

2.3.1 Beoordelingscriteria en wijze van beoordelen MER-onderzoek

In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) RegioExpres d.d. 27-09-2022 is het beoordelingskader vastgesteld. Voor alle milieuthema's zijn in het beoordelingskader de aspecten en bijbehorende criteria vastgesteld. De effecten tijdens de gebruiksfase worden onderzocht en, indien relevant, de tijdelijke effecten tijdens de aanlegfase. Navolgende tabel toont het beoordelingskader voor het deelonderzoek trillingen. De beoordelingscriteria voor het MER zijn omschreven in tabel 4-1 van de NRD, zie Tabel 3.

Tabel 3: Criteria die in het MER worden onderzocht en beoordeeld voor trillingen

Thema en aspect	Criterium	Wijze van beoordelen
1. Trillingniveau	Wijziging gemiddelde en maximale trillingniveau	Kwantitatief
2. Trillinghinder	Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	Kwantitatief

Thema en aspect	Criterium	Wijze van beoordelen
3. Schade trillingen	Schade vanwege trillingen	Kwantitatief

Hieronder beschrijven we hoe deze criteria in dit onderzoek in kaart worden gebracht:

1. Wijziging gemiddelde en maximale trillingniveau. Het gemiddelde trillingniveau is uitgedrukt in de gemiddelde trillingsterkte V_{per} , en het maximale trillingniveau in de trillingsterkte V_{max} . V_{max} is een indicatie van het maximum van de trillingen over een periode van een week. In lijn met eerdere MER-onderzoeken wordt dit criterium in kaart gebracht met drie subcriteria:
 - a. Aantal gebouwen met trillingen boven streefwaarde A1 voor V_{max} .
 - b. Aantal gebouwen met trillingen boven grenswaarde A2 voor V_{max} .
 - c. Aantal gebouwen met trillingen boven grenswaarde A3 voor V_{per} .

Ten behoeve van de beoordeling in het MER worden de uitkomsten vertaald naar kwalitatieve scores. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de beoordeling zoals weergegeven in Tabel 4. De kwantitatieve scores geven de toe- of afname van het aantal overschrijdingen weer ten opzichte van de referentiesituatie 2035.

Tabel 4: Beoordelingsschaal criterium 1 in MER-beoordeling

Score	Oordeel ten opzichte van referentiesituatie	Toelichting
++	Sterk positief	Afname bij meer dan 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
+	Positief	Afname bij 10 tot 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
0	Neutraal	Toe- of afname bij maximaal 10 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
-	Negatief	Toename van 10 tot 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
--	Sterk negatief	Toename bij meer dan 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).

2. Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen. Dit criterium brengen we in kaart met behulp van de methode zoals die is omschreven in onderstaand kader.

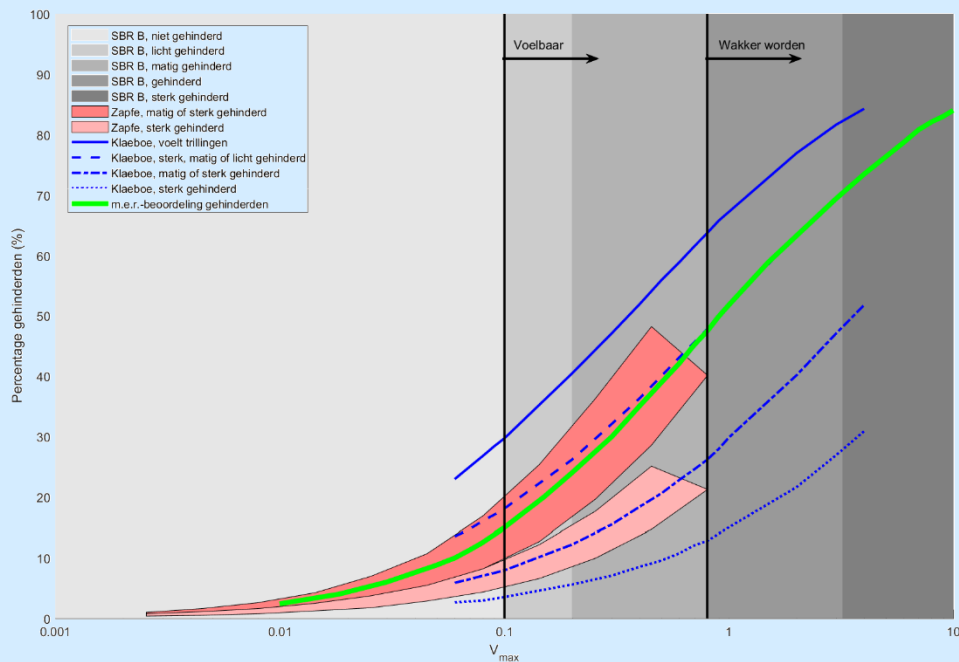
Tot op heden zijn er geen richtlijnen vastgelegd om de effecten van trillinghinder objectief en systematisch in beeld te brengen ten behoeve van de beoordeling in een m.e.r.-procedure. Wel zijn er richtlijnen om trillinghinder te beoordelen ten behoeve van ruimtelijke besluiten, zoals Tracébesluiten, Provinciale Inpassingsplannen en bestemmingsplanprocedures. Deze richtlijnen geven echter geen directe aanwijzingen om de milieueffecten van trillinghinder te beschrijven. Belangrijk voor een juiste beoordeling van de effecten van trillinghinder is dat de methode aansluit bij de eisen van de m.e.r.-systematiek, aansluit bij de hinderbeleving van omwonenden en voldoende onderscheidend vermogen heeft, zodat het mogelijk is om (wanneer van toepassing) een juiste variantenkeuze te maken.

Internationaal zijn diverse onderzoeken uitgevoerd waarin de relatie tussen trillingsterkte en hinderbeleving is vastgesteld door middel van enquêtes en wetenschappelijk onderzoek, zie Figuur 8. Met behulp van deze onderzoeken is door Movares een curve samengesteld die aangeeft bij welke trillingsterkte hoeveel procent van de omwonenden hinder ervaart in Figuur 8. Deze curve sluit aan

bij de curve voor gehinderden uit veel onderzoeken, en is ook bij eerdere trillingonderzoeken gehanteerd⁵.

Tabel 5: Internationale onderzoeken naar hinderbeleving

- | | |
|-----|---|
| [1] | Asmussen, Bernd e.a., <i>Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration</i> , RIVAS Deliverable D1.4, 12 januari 2011 |
| [2] | Woodcock, James e.a., <i>Human response to vibration from passenger and freight railway traffic in residential environments</i> , ICSV19, Vilnius, Lithuania, 8-12 juli 2012 |
| [3] | Klaeboe, R. e.a., <i>Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part II: exposure-effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models</i> , Applied Acoustics, 64, 89-109, 2003 |
| [4] | Klaeboe, R. e.a., <i>Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part III: towards a common methodology for socio-vibrational surveys</i> , Applied Acoustics, 64, 111-120, 2003 |
| [5] | Steinhhauser, P. e.a., <i>Erschutterungsbeurteilung nach ONORM S 9012 im Vergleich zur internationalen Normung, Lärmbekämpfung</i> , Bd. 5 Nr. 5, 206-212, 2010 |
| [6] | Zapfe, J.A. e.a., <i>Groundborne Noise and Vibration in Buildings Caused by Rail Transit, Final report for Transit Cooperative Research Program (TCRP), D-12</i> , 2009 |
| [7] | SBR B-richtlijn, <i>Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijnen</i> , augustus 2002 |



Figuur 8: Kans op hinder als functie van de trillingsterkte V_{max} (groene curve)

De gebruikte scoretabel (veranderingen ten opzichte van de referentiesituatie 2035) is weergegeven in Tabel 6.

⁵ Door het RIVM is in 2014 een eerste, voorlopige curve gepubliceerd voor een dosis-effectrelatie op basis van onderzoek in Nederland. Deze curve wijkt af van de doorgaans gebruikte curves en kent een aantal onzekerheden, en is daarom niet gebruikt in dit onderzoek. Deze curve is in 2023 geüpdatet, maar alleen voor ernstig gehinderden, terwijl we hier het aantal gehinderden in kaart willen brengen.

Tabel 6: Beoordelingsschaal criterium 2 in MER-beoordeling

Score	Oordeel ten opzichte van referentiesituatie	Toelichting
++	Sterk positief	Meer dan 30% afname in aantal gehinderden
+	Positief	10 tot 30% afname in aantal gehinderden
0	Neutraal	0 tot 10% toe- of afname in aantal gehinderden
-	Negatief	10 tot 30% toename in aantal gehinderden
--	Sterk negatief	Meer dan 30% toename in aantal gehinderden

3. Schade vanwege trillingen (SBR A-richtlijn). Het aantal adressen met een mogelijke overschrijding van de grenswaarde voor schade door trillingen ten gevolge van treinverkeer of bouwactiviteiten. Er is kans op schade als de te verwachten trillingen hoger zijn dan de SBR-A grenswaarden. Dit is het derde criterium in het MER-onderzoek, de beoordelingstabel is weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Beoordelingsschaal criterium 3 in MER-beoordeling

Score	Oordeel ten opzichte van referentiesituatie	Toelichting
++	Sterk positief	Afname van de kans op schade bij meer dan 100 panden
+	Positief	Afname van de kans op schade bij 10 tot 100 panden
0	Neutraal	Toe- of afname van de kans op schade bij 0 tot 10 panden
-	Negatief	Toename van de kans op schade bij 10 tot 100 panden
--	Sterk negatief	Toename van de kans op schade bij meer dan 100 panden

Verstoring van trillinggevoelige apparatuur wordt, conform de NRD, niet beschouwd in het MER.

2.3.2 Beoordelingscriteria en wijze van beoordelen PIP-onderzoek

In het kader van het PIP zijn de trillingeffecten van het project beoordeeld op het van toepassing zijnde beoordelingskader. Voor trillingschade is dat de SBR A-richtlijn, voor trillinghinder de Bts en voor verstoring van gevoelige apparatuur de SBR C-richtlijn. In het PIP wordt de plansituatie (2035) vergeleken met de referentiesituatie 2015, de uitgangssituatie voor de spoorverdubbeling Zevenaar – Didam en de spoorverdubbeling bij Wehl, zie paragraaf 3.1 voor meer informatie hierover.

2.4 Onderzoeksmethodiek

Dit rapport beschrijft zowel het onderzoek zoals dat is uitgevoerd ten behoeve van de MER als ten behoeve van het PIP. Hierbij is een aanpak gevolgd volgens onderstaande volgorde:

1. Onderzoek naar de trillingeffecten ten behoeve van de MER. Hiervoor zijn de volgende aspecten onderzocht, zie ook het voorgaande hoofdstuk:
 - a. Criterium 1: aantal gebouwen met trillingen boven de streef- en grenswaarden uit het beoordelingskader voor trillinghinder, de Bts;

- b. Criterium 2: aantal gehinderden (o.b.v. de hindercurve uit Figuur 7);
 - c. Criterium 3: aantal panden met kans op trillingschade (o.b.v. overschrijdingen van de SBR A-richtlijn).
2. Beoordelen van de plansituatie ten behoeve van het PIP op de drie trillingaspecten:
- a. Schade aan gebouwen (o.b.v. de SBR A-richtlijn);
 - b. Hinder aan personen in gebouwen (o.b.v. de Bts);
 - c. Verstoring van gevoelige apparatuur (o.b.v. de SBR C-richtlijn).

In de volgende paragrafen wordt beschreven hoe de onderzoeken naar trillingschade (t.b.v. MER en PIP), trillinghinder (t.b.v. MER en PIP) en verstoring van gevoelige apparatuur (alleen t.b.v. PIP) zijn uitgevoerd. Op basis van de resultaten uit deze onderzoeken is de effectbeoordeling (voor de MER) en de toetsing aan de richtlijnen (voor het PIP) uitgevoerd.

2.4.1 Onderzoek naar trillingschade

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingschade tijdens de bouwphase is een analyse gedaan van bouwwerkzaamheden die mogelijk tot trillingschade in omliggende panden kunnen leiden. In het project worden geen zware werkzaamheden zoals funderingswerkzaamheden (heien of intrillen van damwanden) uitgevoerd. De andere werkzaamheden binnen het project, zoals het aanbrengen en verwijderen van sporen en zwaar transport zullen, gezien de afstand tot de bebouwing niet leiden tot trillingschade aan gebouwen.

Schade als gevolg van trillingen door treinverkeer is onderzocht met behulp van metingen in woningen, aangevuld met modelberekeningen voor niet-gemeten objecten. Het hiervoor gebruikte model wordt in de volgende paragraaf toegelicht. Per object wordt getoetst of de grenswaarden voor trillingschade worden overschreden, en zo ja, of het project leidt tot een toename van de trillingen. Locaties met trillingen boven de grenswaarde én een toename van de trillingen als gevolg van het project, komen in aanmerking voor nader onderzoek. Op alle andere locaties zorgt het project niet voor een verhoogde kans op trillingschade, en is nader onderzoek niet nodig.

2.4.2 Onderzoek naar trillinghinder

Ten behoeve van het onderzoek naar trillinghinder zijn verschillende stappen doorlopen. De stappen hebben een toenemende nauwkeurigheid, waarbij in elke volgende stap de nauwkeurigheid groter wordt. Op deze manier wordt alleen verder onderzoek gedaan op een locatie wanneer dat nodig is, de zogenaamde zeefmethode.

De volgende stappen zijn achtereenvolgens doorlopen:

1. *Stap 1: indicatieve trillingmetingen en prognoses*

Om een goede voorspelling te kunnen maken van de trillingsituatie, is een quickscan gedaan om voor het gehele studiegebied de trillingsituatie in beeld te brengen op basis van expert judgement. Door middel van deze quickscan is een inventarisatie gemaakt van locaties waar een overschrijding van het beoordelingskader (de Bts) kan optreden door een toename van de trillingsterkte V_{max} of de trillingintensiteit V_{per} als gevolg van het project. Op locaties waar een overschrijding van het beoordelingskader niet valt uit te sluiten, is nader onderzoek verricht⁶. Op 12 locaties zijn trillingmetingen uitgevoerd aan treinpassages met minimaal vier meetpunten op het maaiveld, op verschillende afstanden tot het spoor. Doel van deze metingen is om de bronsterkte van de verschillende passerende treinen te bepalen en om de uitdemping van de trillingen met de afstand tot het spoor vast te stellen. Deze metingen zijn vervolgens gebruikt in het rekenmodel *VibraDyna*⁷.

⁶ Maaiveldmetingen: bij deze metingen worden de trillingen van de passerende treinen op een vaste referentieafstand van 20 meter gemeten op verschillende locaties langs het tracé. De metingen zijn bemand uitgevoerd, alleen treinpassages zijn vastgelegd, stoortrillingen (bijv. van overig verkeer) worden buiten beschouwing gelaten.

⁷ *VibraDyna* is een door Movares ontwikkeld rekenmodel, gebaseerd op empirische formules, modelberekeningen en een groot aantal metingen, dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 2018.

Met dit model kan voor elk gebouw een uitspraak worden gedaan over de kans op het wel of niet overschrijden van de Bts na realisatie van het project. Met *VibraDyna* is voor het gehele studiegebied de trillingsituatie in beeld gebracht op basis van locatiespecifieke metingen. Het model is toegepast op een zone van 200 meter aan weerszijden van de sporen. Op grotere afstand tot het spoor is geen significante toename in trillinghinder te verwachten en zijn de trillingsterktes lager dan de A1-streefwaarde uit de Bts. Trillingen zijn op dergelijke grote afstanden doorgaans niet voelbaar. Met het model worden voor alle gebouwen in het studiegebied in de referentiesituatie 2015, de huidige situatie, de referentiesituatie 2035 en de plansituatie de trillingsterkte V_{max} en de trillingintensiteit V_{per} bepaald. Door de rekenresultaten in de plansituatie te toetsen aan de Bts, wordt zichtbaar voor welke locaties er een kans is op overschrijden van het beoordelingskader. Voor locaties die op basis van de rekenresultaten niet voldoen aan de Bts is nader onderzoek verricht in de hieronder beschreven stap 2 van het trillingonderzoek.

2. *Stap 2: Nauwkeurige trillingprognoses in gebouwen*

In de tweede stap van het trillingonderzoek zijn alleen die locaties beschouwd waar op basis van de resultaten van stap 1 een toename in trillinghinder waarschijnlijk is. Voor deze stap is gebruik gemaakt van metingen in 13 gebouwen (zie Bijlage IV voor methode van verwerking van de metingen).

Per groep vergelijkbare gebouwen met mogelijke overschrijdingen uit stap 1 is een aantal representatieve woningen (qua ligging, type en bouwstijl) geselecteerd waarin metingen zijn verricht. Per gebouw is op minimaal twee punten gemeten: één meetpunt aan een stijf punt, op de fundering, en één meetpunt op de hoogst bewoonde vloer. Vanuit de metingen wordt vervolgens per treinpassage een prognose gemaakt voor de trillingsterkte in de referentiesituatie 2015, de referentiesituatie 2035 en de plansituatie, aan de hand van de parameters die wijzigen. Vervolgens zijn de rekenresultaten uit stap 1 gekalibreerd met deze nauwkeurige prognoses. Voor locaties waar gemeten is, komen de resultaten dus één-op-één overeen met de resultaten uit het nauwkeurige rekenmodel. Voor niet-gemeten gebouwen geldt dat hoe sterker het gebouw verschilt van het gemeten object (in bouwkundige staat, bodemopbouw of spoorsituatie), hoe conservatiever (worst-case) de resultaten zijn.

Het resultaat van deze stap is een trillingprognose die kan worden beschouwd als de meest nauwkeurige prognose die met de thans beschikbare middelen mogelijk is. Indien er na deze stap nog steeds locaties overblijven waar (een toename van) trillinghinder waarschijnlijk is, dan worden er voor deze locaties in stap 3 maatregelen beschouwd.

3. *Stap 3: Indien nodig ontwerpen van maatregelen*

Mocht uit stap 2 van het onderzoek blijken dat er locaties zijn die niet voldoen aan het beoordelingskader, dan worden voor deze locaties maatregelen ontworpen en doorgerekend op effectiviteit en kosten. Bij deze afweging van maatregelen wordt ook aangegeven of bepaalde maatregelen kosteneffectief zijn, en daarmee mogelijk doelmatig.

In het onderzoek wordt voor de nog niet gerealiseerde bebouwing een kwalitatieve beschouwing gegeven van de verwachte effecten. Omdat het gaat om nog niet gerealiseerde bebouwing (waarvan vaak de constructieve eigenschappen nog niet vaststaan), is een nauwkeurige berekening daar niet mogelijk.

2.4.3 Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur

Verstoring van gevoelige apparatuur kan optreden als er sprake is van een toename van de trillingsterkte. In dit onderzoek is met behulp van het rekenmodel (uit stap 1 van het onderzoek naar trillinghinder) gekeken waar sprake is van een toename van de trillingen. Op die locaties is een analyse uitgevoerd om vast te stellen of er mogelijk sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur. Hierbij is bepaald of er bedrijven aanwezig zijn die gebruik maken van gevoelige apparatuur in de nabijheid van genoemde locaties. Buiten de 200 meter-zone zorgen overige omgevingstrillingen (zoals wegverkeer) voor hogere trillingen.

2.4.4 Betrouwbaarheid van het onderzoek

In dit onderzoek is gewerkt met een methode die van grof naar fijn gaat. De resultaten zijn gebaseerd op een zo nauwkeurig mogelijke predictie van de toekomstige situatie. Hierbij is gebruik gemaakt van een combinatie van een gevalideerd VibraDyna-model (zie Bijlage I) en maaiveldmetingen op 12 locaties verspreid langs het tracé. De belangrijkste veranderingen binnen het project (dichterbij komen van de sporen, hogere rijsnelheid) zijn afzonderlijk onderzocht en zo nauwkeurig mogelijk in kaart gebracht, zie Bijlage VI. Op locaties waar overschrijdingen werden verwacht, zijn aanvullende metingen in woningen uitgevoerd. De onzekerheden van veranderingen in de situatie (zoals een verhoging van de rijsnelheid of het dichterbij komen van de sporen) zijn meegenomen in de predicties, om te komen tot een P95-model voor trillinghinder en een P99-model voor trillingschade. Dat betekent dat er in werkelijkheid per individuele woning een kans is van 5 respectievelijk 1 procent op een hogere trillingsterkte of grotere toename van de trillingen dan de berekeningen in dit onderzoek laten zien. Dit zijn de gebruikelijke betrouwbaarheidsintervallen bij het beoordelen van trillinghinder respectievelijk trillingschade.

3 Beschouwde situaties

In het trillingonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen vier situaties:

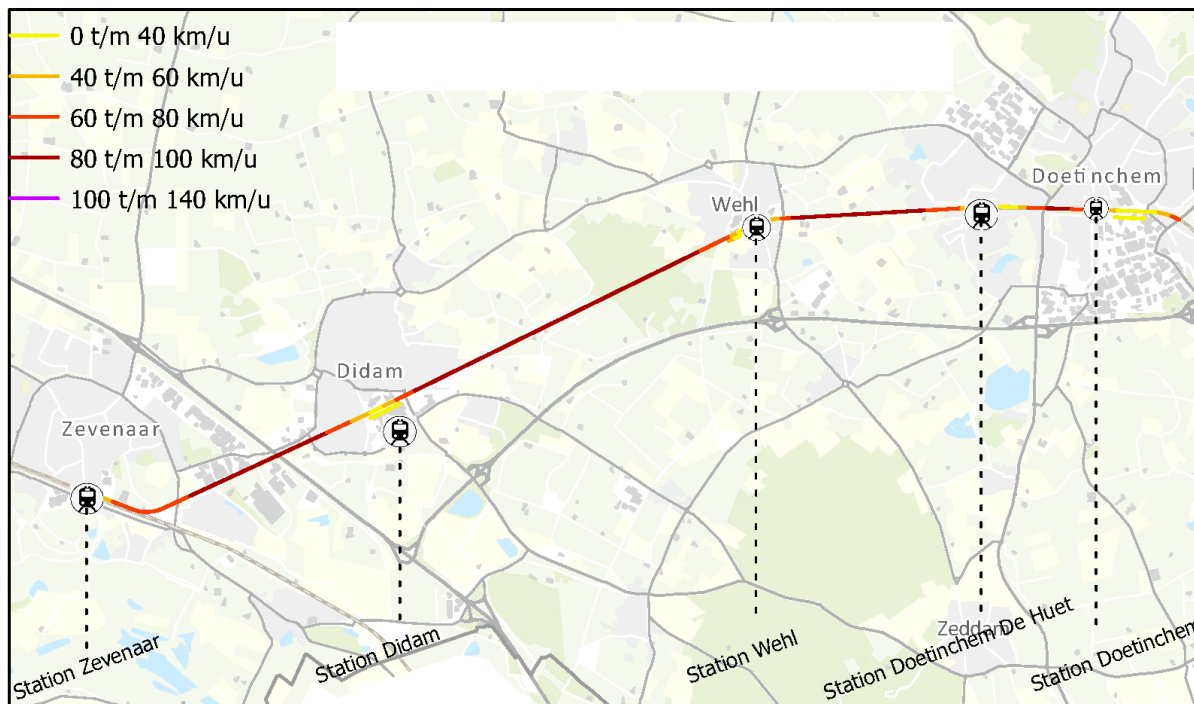
1. Referentiesituatie 2015: de situatie voor de spoorverdubbeling en snelheidsverhoging tussen Zevenaar en Didam, de snelheidsverhoging tussen Didam en Wehl en de spoorverdubbeling in Wehl. Conform de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) art. 4 lid 3 moet bij projecten die binnen 10 jaar op elkaar volgen in hetzelfde plangebied, de vergelijking worden gemaakt met de bestaande situatie of referentiesituatie van het eerste plan. Dat eerste plan is in dit geval de spoorverdubbeling bij Wehl.
2. Huidige situatie: de situatie in 2022, op het moment dat het onderzoek wordt uitgevoerd en de metingen zijn verricht. Deze situatie is in 2023 (waarin een deel van het onderzoek is verricht) niet gewijzigd.
3. Referentiesituatie 2035: de huidige situatie plus autonome ontwikkelingen in het planjaar 2035, conform de NRD. Deze situatie ontstaat als het project niet zou worden gerealiseerd, en wordt gebruikt om de projecteffecten in het kader van de MER in kaart te brengen.
4. De plansituatie, de situatie die ontstaat na realisatie van het project in het jaar 2035, 10 jaar na realisatie van het project, conform de NRD.

De verschillende situaties worden hieronder toegelicht op de voor trillingen relevante onderdelen. De uitgangspunten zijn gebaseerd op de *Uitgangspuntennotitie PIP/Projectbesluit RegioExpres (ProRail)*, versie 04 van 28 december 2022.

3.1 Referentiesituatie 2015

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de referentiesituatie uit 2015. Als referentiesituatie geldt de spoorligging van 2015, vóór aanvang van de werkzaamheden ten behoeve van de spoorverdubbeling tussen Wehl (2015) en de spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam (2019). De beoordeling van trillinghinder vindt plaats ten opzichte van deze situatie. Alle overige gegevens, zoals spoorgebruik en treinintensiteiten, worden ook genomen uit dit referentiejaar en zijn gebaseerd op de realisatiegegevens uit 2015.

Voor de snelheidsprofielen worden de snelheidsprofielen vóór de werkzaamheden ten behoeve van de spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam gebruikt. De in dit onderzoek gehanteerde snelheden van reizigerstreinen zijn zoals die in het geluidregister van ProRail zijn opgenomen. De snelheden zijn weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Snelheid in de referentiesituatie 2015

De treinaantallen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 8. De treinaantallen zijn gemiddeld over het jaar en over beide rijrichtingen.

3.2 Huidige situatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de huidige situatie. Als huidige situatie geldt de spoorligging van 2022, na de werkzaamheden ten behoeve van de spoorverdubbelingen bij Wehl en tussen Zevenaar en Didam. De voor trillingen meest relevante wijzigingen ten opzichte van de referentiesituatie zijn:

1. Het spoor bij Wehl en tussen Zevenaar en Didam is verdubbeld;
2. De snelheid van de treinen is verhoogd tussen Zevenaar en Wehl;
3. De treinaantallen per uur per richting zijn gewijzigd, en weergegeven in Tabel 8.

De in dit onderzoek gehanteerde snelheden van reizigerstreinen zijn zoals die in het geluidregister van ProRail zijn opgenomen. De snelheden zijn weergegeven in Figuur 10. Ten opzichte van de referentiesituatie 2015 is de snelheid in de huidige situatie toegenomen tussen Zevenaar en Wehl.

3.3 Referentiesituatie 2035

De referentiesituatie 2035 bestaat uit de huidige (of bestaande) situatie, aangevuld met autonome ontwikkelingen tot het jaar 2035. Dit is circa 10 jaar na de geplande vaststelling van de RegioExpres. De enige wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie betreft de realisatie van nieuwbouw in de nabijheid van het spoor.

Op een aantal locaties langs het spoor worden woningen gebouwd of bestaande gebouwen ontwikkeld tot woningen. Voor het bepalen van de kans op milieueffecten zijn alleen de vastgestelde plannen meegenomen die zich binnen het studiegebied (een zone van 200 meter aan weerszijden van de sporen) bevinden. Het gaat daarbij om de volgende plannen (deze zijn aangeleverd door de betreffende gemeenten):

- Heideslag in Wehl: 250 tot 300 woningen en 4 hectare bedrijventerrein. Dit plan ligt ten zuiden van station Wehl, maar de bouwvlakken zijn nog niet bekend.

- Spoorstraat 32 in Didam: een woning wordt omgevormd tot 7 appartementen. Dit plan is meegenomen in het onderzoek.
- Kerkwijk fase VIII in Didam: 23 woningen, waarvan de meeste buiten het studiegebied voor trillingen (verder dan 200 meter van het spoor vandaan).
- Rouwenootweg 56 in Didam: 1 woning, bestaande stallen worden gesloopt en er wordt een nieuwe woning toegevoegd. De bestaande bedrijfswoning wordt getransformeerd naar een reguliere woning.



Figuur 10: Snelheid in huidige situatie, gelijk aan snelheid in referentiesituatie 2035 en snelheid stoptreinen in plansituatie

3.4 Plansituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie, de situatie die ontstaat na realisatie van de RegioExpres in 2035. De voor trillingen meest relevante wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie zijn:

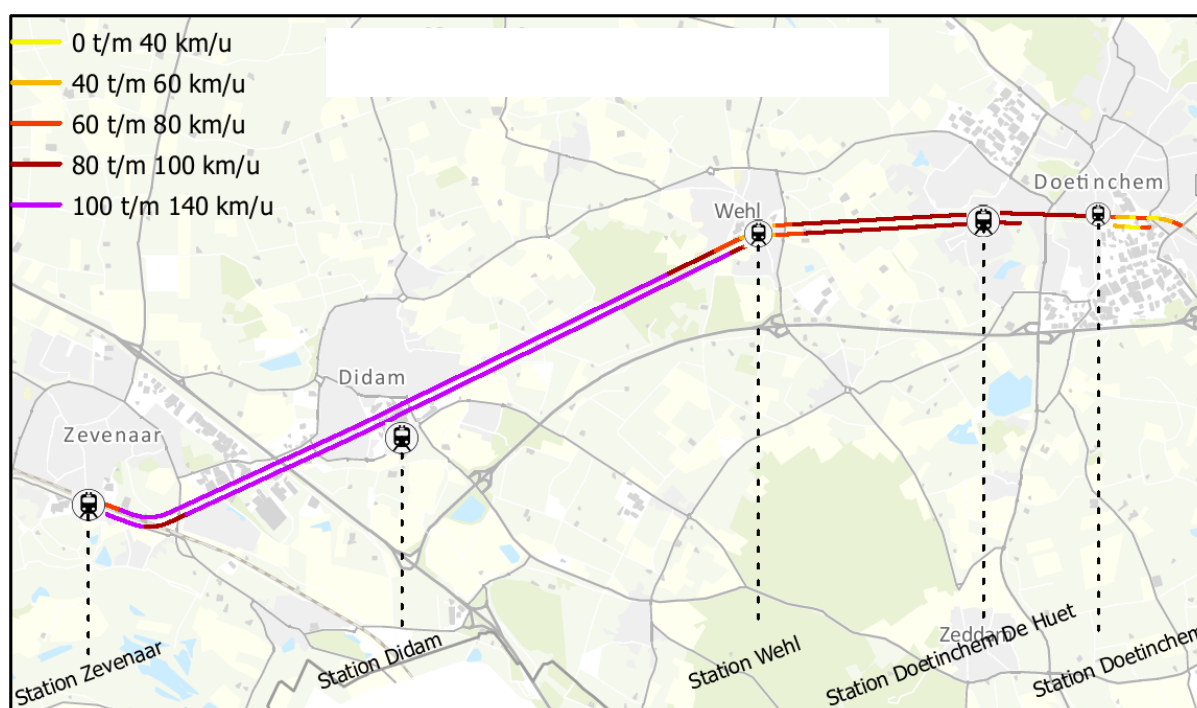
1. Aanpassing aan de sporenlay-out tussen Didam en Doetinchem, zoals die beschreven is in het FIS RegioExpres 4.0 van november 2022;
2. De introductie van de RegioExpres, een doorgaande trein die uitsluitend stopt op de stations Arnhem Centraal en Doetinchem, en daardoor met hogere snelheid langs de bestaande stations Didam, Wehl en Doetinchem De Huet rijdt;
3. De gemiddelde treinaantallen per uur per richting per periode van de dag zijn weergegeven in Tabel 8. Het betreft hier de gemiddelden over alle uren heen.

Tabel 8: Gemiddelde treinaantallen per uur per richting per periode van de dag voor referentiesituatie 2015 (Ref), huidige situatie (Huidig, tevens referentiesituatie 2035) en plansituatie (Plan)

Treintype	Richting	Dag (7:00 – 19:00)			Avond (19:00 – 23:00)			Nacht (23:00 – 7:00)		
		Ref	Huidig	Plan	Ref	Huidig	Plan	Ref	Huidig	Plan
GTW-D	Zv – Did	3.32	3.17	3.42	2.26	2.36	2.36	0.74	1.11	0.81
GTW-D	Did – Zv	3.35	3.17	3.42	2.33	2.36	2.36	0.87	1.11	0.81

Treintype	Richting	Dag (7:00 – 19:00)			Avond (19:00 – 23:00)			Nacht (23:00 – 7:00)		
		Ref	Huidig	Plan	Ref	Huidig	Plan	Ref	Huidig	Plan
RegioExpres	Zv – Did	-	-	0.71	-	-	0.09	-	-	0.04
RegioExpres	Did – Zv	-	-	0.71	-	-	0.09	-	-	0.04

De snelheidsprofielen van de stoptreinen wijzigen niet ten opzichte van de huidige situatie (zie Figuur 10 voor deze snelheidsprofielen). Doordat de RegioExpres niet stopt op stations tussen Arnhem Centraal en Doetinchem, is er sprake van een hogere snelheid bij de tussengelegen stations. De snelheid van de RegioExpres is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11: Snelheid RegioExpres in de plansituatie

Als gevolg van de RegioExpres wijzigt het materieel niet. Zowel in de referentiesituatie 2015, de huidige situatie als de referentie- en plansituatie in 2035 zullen treinen van het GTW (wat staat voor GelenkTriebWagen) rijden, zie Figuur 12.



Figuur 12: Spurt (GTW) van Arriva

3.5 Tijdelijke situatie

Om een project zoals de RegioExpres te kunnen realiseren zijn tijdelijke maatregelen zoals bouwwegen en bouwterreinen benodigd. Deze tijdelijke maatregelen kunnen ook milieueffecten veroorzaken. Dit is echter niet van toepassing op het onderzoek trillingen en is daarom hier achterwege gelaten.

4 Effectbeoordeling

4.1 Verwachte effecten

4.1.1 Beoordeling t.b.v. het PIP

In de volgende subparagrafen worden de aspecten trillingschade, trillinghinder en verstoring van gevoelige apparatuur beschreven ten behoeve van de PIP-beoordeling.

4.1.1.1 Trillingschade

Tijdens de bouwfase vinden geen activiteiten plaats die zorgen voor significant hogere trillingniveaus, omdat er geen funderingswerkzaamheden plaatsvinden. De kans op trillingschade aan omliggende panden tijdens de bouwfase is daarom nihil.

Om de trillingen van het treinverkeer in de exploitatiefase te toetsen is gebruik gemaakt van metingen in een aantal qua trillingen maatgevende gebouwen, aangevuld met modelberekeningen voor de niet gemeten locaties. De trillingen in de plansituatie en de grenswaarde uit de SBR A-richtlijn zijn weergegeven in Tabel 9. Hierbij is voor alle gebouwen streng getoetst: omdat er geen bouwkundige informatie van de woningen bekend is, is aangenomen dat gebouwen in de categorie met de meest strenge grenswaarden vallen.

Tabel 9: Verwachte trillingsnelheden (V_d) en grenswaarden (V_r) aan fundering gebouwen in de plansituatie, op basis van metingen in de huidige situatie

Meetlocatie	V_d [mm/s]	V_r [mm/s]	Beoordeling
Hengelder 2, Zevenaar	0.52	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Turnstraat 7, Didam	0.21	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Parallelweg 21, Didam	0.77	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Wilhelminastraat 118, Didam	1.03	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Oude Beekseweg 47, Didam	0.39	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Zandweg 11, Didam	0.32	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Lange Klauwenhof 13, Didam	0.39	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Toppegaiweg 4, Didam	0.5	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Beekseweg 39, Wehl	0.7	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Hof van Cambridge 42, Doetinchem	0.2	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Hof van Edinburgh 59, Doetinchem	0.6	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)

⁸ V_d is bepaald o.b.v. het maximum van V_{top} en V_{stat} (zie par. 9.2 van de SBR A-richtlijn) en een indicatieve meting (veiligheidsfactor 1.4 als op fundering en verdieping is gemeten, veiligheidsfactor 1.6 als alleen op de fundering of verdieping is gemeten, conform par. 8.5 van de SBR A-richtlijn), V_r is bepaald o.b.v. herhaald kortdurende metingen (veiligheidsfactor 1.5) en categorie 2-gebouwen met een bouwkundig gevoelige status (veiligheidsfactor 1.7). Aan de zettingseis (par. 10.3.4 uit de SBR A-richtlijn) wordt op alle meetlocaties voldaan.

Meetlocatie	V_d [mm/s]	V_r [mm/s]	Beoordeling
Hof van Edinburgh 15, Doetinchem	0.1	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Uijlenbroeklaan 61, Doetinchem	0.18	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn. Uit de modelberekeningen blijkt dat dit voor alle gebouwen in het studiegebied geldt. Alle gebouwen vallen in categorie B of C uit de Beleidslijn van het ministerie (zie paragraaf 2.2.1), zodat geen nader onderzoek nodig is. De kans op schade ten gevolge van treinverkeer is verwaarloosbaar.

4.1.1.2 Trillinghinder

Voor het onderzoek naar trillinghinder zijn in stap 1 van het onderzoek maaiveldmetingen verricht op 12 locaties (zie Bijlage V), waarna in 13 gebouwen metingen zijn verricht in het kader van stap 2 (zie Bijlage VI en VII). De resultaten van de metingen en berekeningen per gebouw zijn weergegeven in Tabel 10, zie voor meer detail Bijlage VI en VII). Per meetlocatie zijn achtereenvolgens weergegeven:

- De berekende trillingsterkte V_{max} in de referentiesituatie 2015 (Ref), dit is de V_{max} voor de stoptreinen in de situatie voor de spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam, eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R ;
- de gemeten trillingsterkte V_{max} in de huidige situatie (Huidig), dit is de V_{max} voor de stoptreinen in de huidige situatie, eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R ;
- de berekende trillingsterkte V_{max} voor de plansituatie (Plan), dit is de V_{max} voor het maatgevende treintype in de plansituatie (er is onderscheid gemaakt tussen de stoptreinen en de RegioExpres), eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R ;
- de verhouding Q tussen de trillingsterkte V_{max} in de plansituatie en de referentiesituatie 2015, eventueel gecorrigeerd voor onzekerheid R in de trillingsterkte, zie Bijlage IV voor een nadere toelichting op hoe deze factor is bepaald;
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de referentiesituatie 2015;
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de huidige situatie;
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de plansituatie;

Zowel voor V_{max} als voor V_{per} is de maximale waarde over alle sensoren weergegeven.

Overschrijdingen van de Bts zijn **oranje** gearceerd.

Tabel 10: Resultaten metingen en predicties in gebouwen. Overschrijdingen van Bts zijn oranje gearceerd

Meetlocatie	Trillingsterkte V_{max}				Gemiddelde trillingsterkte V_{per}		
	Ref	Huidig	Plan	Q	Ref	Huidig	Plan
Hengelder 2, Zevenaar	0.15	0.15	0.18	1.1	0.01	0.01	0.01
Turnstraat 7, Didam	0.06	0.06	0.10	1.7	<0.01	<0.01	<0.01
Parallelweg 21, Didam	0.18	0.33	0.50	2.7	0.03	0.04	0.05
Wilhelminastraat 118, Didam	0.13	0.18	0.24	1.9	<0.01	0.01	0.02
Oude Beekseweg 47, Didam	0.08	0.11	0.12	1.4	<0.01	<0.01	<0.01
Zandweg 11, Didam	0.22	0.28	0.27	1.2	0.02	0.02	0.03
Lange Klauwenhof 13, Didam	0.36	0.42	0.44	1.2	0.04	0.04	0.05

Meetlocatie	Trillingsterkte V_{max}				Gemiddelde trillingsterkte V_{per}		
	Ref	Huidig	Plan	Q	Ref	Huidig	Plan
Toppegaiweg 4, Didam	0.23	0.28	0.32	1.4	0.02	0.03	0.04
Beekseweg 39, Wehl	0.23	0.27	0.25	1.1	0.02	0.03	0.03
Hof v Cambridge 42, Doetinchem	<0.05	<0.05	<0.05	n.v.t.	<0.01	<0.01	<0.01
Hof v Edinburgh 59, Doetinchem	0.07	0.07	0.13	1.7	0.01	0.01	0.01
Hof v Edinburgh 15, Doetinchem	<0.05	<0.05	<0.05	n.v.t.	<0.01	<0.01	<0.01
Uijlenbroeklaan 61, Doetinchem	0.08	0.08	0.09	1.1	<0.01	<0.01	<0.01

De modelresultaten voor alle woningen zijn vervolgens gekalibreerd met de resultaten van de woningmetingen uit Tabel 10, waarmee voor alle woningen in het studiegebied een betrouwbare predictie van de trillingsituatie is gemaakt, zie Bijlage VIII voor deze gegevens op woningniveau. Voor de nog niet gerealiseerde bebouwing geldt het volgende:

- Kerkwijk fase VIII (Didam) ligt ver van het spoor vandaan: de trillingen zijn daar lager dan de streefwaarden
- Spoorstraat 32 (Didam) ligt ook wat verder bij het spoor vandaan. In de berekeningen is hier uitgegaan van een qua trillingen goede constructie.
- Heideslag (Wehl) ligt wat verder bij het spoor vandaan, maar hier zijn de effecten van het project beperkt doordat treinen moeten afremmen voor de scherpe bocht ten oosten van het station. De effecten van het project zijn hier beperkt.
- Rouwenootweg 56 (Didam) ligt relatief dicht bij het spoor. Voor de nieuwe woning is (worst-case) uitgegaan van dezelfde eigenschappen als de bestaande woning.

Uit het onderzoek volgt dat op meerdere meetlocaties een overschrijding van het beoordelingskader, de Bts, niet kan worden uitgesloten. Op die locaties is sprake van een grotere toename Q dan 1.3, waarbij de trillingsterkte V_{max} groter is dan de streefwaarde A1. Op deze locaties met overschrijdingen is een maatregelafweging nodig. De locaties met mogelijke overschrijdingen zijn weergegeven in het volgende hoofdstuk, daar gaan we ook in op mitigerende maatregelen. De overschrijdingen zijn vooral het gevolg van een verhoging van de rijsnelheid (door de doorgaande RegioExpres), en op sommige locaties ook door het dichterbij komen van de sporen.

De gemiddelde trillingsterkte V_{per} neemt op de meeste locaties wel toe door het grotere aantal treinen, maar blijft onder de grenswaarde A3.

Ook de trillingen van wegverkeer wijzigen op een aantal locaties: op locaties waar het spoor wordt verdubbeld en dichterbij de woningen komt te liggen, nemen de trillingen van wegverkeer door de overweg toe. Om dit te beoordelen hebben we een inventarisatie gemaakt van alle overwegen waar het spoor wordt verdubbeld, en waar woningen liggen binnen 100 meter van de overweg aan de kant waar het spoor wordt verdubbeld. Op grotere afstanden zijn de trillingen door wegverkeer altijd lager dan de streefwaarden, of is de invloed van het dichterbij komen van het spoor nihil.

Bij sommige overwegen (zoals de Zandweg in Didam en de Beekseweg in Wehl) wordt het spoor namelijk wel verdubbeld, maar nemen de trillingen van het wegverkeer niet toe omdat het spoor niet aan de kant van de woningen wordt verdubbeld. Bij de volgende overwegen komt het spoor dichterbij woningen te liggen, zie Tabel 11. De trillingen van het wegverkeer zijn beschouwd door het rekenmodel

voor wegverkeer te kalibreren met de gemeten trillingen van het wegverkeer (o.m. bij Wilhelminastraat 118 in Didam, Beekseweg 39 in Wehl).

Tabel 11: Overwegen waar de trillingen van wegverkeer toenemen als gevolg van het project

Overweg	Afstand nu	Afstand toekomst	Toename trillingen
Bievankweg Didam	39 m	35 m	10%, maar blijven o.b.v. meting Wilhelminastraat 118 lager dan streefwaarden
Oldegoorweg Didam	74 m	70 m	7%, maar blijven o.b.v. meting + model lager dan streefwaarden
Bleeksestraat Wehl	44 m	40 m	9%, maar blijven o.b.v. meting + model lager dan streefwaarden
Notenstraatje Doetinchem	58 m	54 m	8%, maar blijven o.b.v. meting + model lager dan streefwaarden
Jan Willinkstraat Doetinchem	49 m	44 m	9%, maar blijven o.b.v. meting + model lager dan streefwaarden

Uit de analyse blijkt dat de trillingen van het wegverkeer maar beperkt toenemen (omdat de weg maar beperkt dichterbij de woningen komt te liggen), en dat de trillingen van het wegverkeer lager zijn dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.

4.1.1.3 Verstoring van trillinggevoelige apparatuur

Op basis van gegevens van de Kamer van Koophandel en de input vanuit Provincie zijn alle bedrijven in een zone van 200 meter rond het spoor in het studiegebied geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat er geen mogelijk gevoelige apparatuur aanwezig is.

4.1.2 Verwachte effecten in het MER

In de volgende paragrafen worden de drie beoordelingscriteria uit het MER beschreven.

4.1.2.1 Wijziging gemiddelde en maximale trillingniveau

Voor dit criterium is gekeken naar het aantal overschrijdingen van de streef- en grenswaarden uit de Bts. In paragraaf 2.4.2 is beschreven hoe we het aantal adressen hebben bepaald: eerst is een modelberekening uitgevoerd voor alle panden in het studiegebied, en die berekening is vervolgens gekalibreerd met de resultaten van metingen in gebouwen.

In zowel de huidige situatie, de referentiesituatie 2035 als de plansituatie (zonder maatregelen) is de trillingsterkte V_{max} op een aantal adressen hoger dan de streefwaarde A1 en de grenswaarde A2, zie Tabel 12. Deze toename treedt vooral op in de omgeving van de stations waar de RegioExpres niet stopt.

In zowel de huidige situatie, de referentiesituatie 2035 als in de plansituatie (zonder maatregelen) is de gemiddelde trillingsterkte V_{per} bij alle adressen lager dan de grenswaarde A3, zie Tabel 12.

Tabel 12: Aantal adressen in studiegebied, criterium 1

Criterium	Aantal adressen in studiegebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 1 – Aantal boven A1-waarde	90	90	106
Criterium 1 – Aantal boven A2-waarde	4	4	10

Criterium	Aantal adressen in studiegebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 1 – Aantal boven A3-waarde	0	0	0

4.1.2.2 Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen

Het aantal gehinderden in de huidige situatie, referentiesituatie 2035 en de plansituatie is weergegeven in Tabel 13, bepaald conform de methode zoals omschreven in paragraaf 2.4.2 met de resultaten van het met metingen gekalibreerde rekenmodel (zie paragraaf 2.4.2). Het aantal gehinderden neemt in de plansituatie met 499 toe ten opzichte van de referentiesituatie, met name door de hogere rijsnelheid van RegioExpres en op sommige locaties het dichterbij komen van de sporen.

Tabel 13: Aantal gehinderden in het studiegebied, criterium 2

Criterium	Aantal gehinderde personen in studiegebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 2 – Aantal gehinderden	344	344	843

4.1.2.3 Schade vanwege trillingen

In paragraaf 4.1.1.1 staat de mogelijke schade door trillingen beschreven. Zowel tijdens de bouwphase als de gebruiksfase zijn er geen panden met trillingschade te verwachten, zie Tabel 14. Voor de bouwphase geldt dat de werkzaamheden niet zullen leiden tot een kans op trillingschade (zie paragraaf 4.1.1.1). Voor de exploitatiefase zijn gebouwen met een kans op trillingschade bepaald met behulp van het met metingen gekalibreerde rekenmodel (zie paragraaf 2.4.1 en 2.4.2).

Tabel 14: Aantal panden in studiegebied, criterium 3

Criterium	Aantal gebouwen in studiegebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 3 – Kans op trillingschade	0	0	0

4.1.2.4 Samenvatting effecten in het MER

Op basis van bovenstaande aantallen is een score toegekend aan de criteria voor het MER conform paragraaf 2.3.1. Dit is weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Beoordeling thema trillingen zonder maatregelen

Thema en aspect	Criterium	Score
Trillingen		
Trillingniveau	Overschrijdingen A1-waarde (streefwaarde V_{max})	-
Trillingniveau	Overschrijdingen A2-waarde (grenswaarde V_{max})	0
Trillingniveau	Overschrijdingen A3-waarde (grenswaarde V_{per})	0
Trillinghinder	Toe- of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	--
Schade trillingen	Kans op schade vanwege trillingen	0
TOTAAL SCORE		-

Door de toename van de rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen t.o.v. de referentiesituatie 2035, nemen de trillingen met name rond stations toe als gevolg van het project. Hierdoor neemt het aantal gehinderden toe. Ook het aantal overschrijdingen van de A1-streefwaarde neemt toe.

4.1.3 Cumulatieve effecten

De cumulatie van de trillingen van treinverkeer met andere trillingbronnen kan leiden tot hogere trillingen dan wanneer de verschillende trillingbronnen afzonderlijk worden bekeken. In het studiegebied kan cumulatie optreden met zwaar wegverkeer, zoals bussen en vrachtverkeer. In de praktijk treedt cumulatie op wanneer aan onderstaande twee condities wordt voldaan:

1. Beide trillingbronnen hebben vergelijkbare trillingsterktes. Dit betekent doorgaans dat de afstand tot beide trillingbronnen vergelijkbaar moet zijn, maar ook dat het type trillingbron vergelijkbaar moet zijn. De trillingen van bussen en vrachtwagens hebben andere karakteristieken dan treinen, zodat er gewoonlijk geen sprake zal zijn van significante versterking van de trillingen bij gelijktijdige passage.
2. Beide trillingbronnen treden gelijktijdig op. In de praktijk betekent dit dat op het moment van een treinpassage ook een ander voertuig langskomt wat vergelijkbare trillingen veroorzaakt. Dit zal alleen optreden bij drukke vervoerslijnen. Cumulatie van treinverkeer (meerdere treinpassages tegelijkertijd) is in de metingen onderzocht (zie Bijlage VII). Afhankelijk van de locaties is ook op dit moment al sprake van gelijktijdige passages. In de toekomst neemt de kans op een gelijktijdige passage beperkt toe door de toename van het treinverkeer en de dubbelsporigheid. Gelijktijdige passage van treinen leidt vaak tot iets hogere trillingen. Deze toename van de cumulatie is meegenomen in de predictie van de trillingen en daarmee ook in de beoordeling van de trillingen in de gebouwen. Trillingen van wegverkeer kunnen vooral bij drempels en overwegen hoog zijn. Bij overwegen passeren treinen echter nooit gelijktijdig met wegverkeer en is dus geen sprake van cumulatie.

In het studiegebied is naar verwachting geen sprake van significante cumulatie van trillingen, doordat de verschillen in afstand of trillingbron tussen het treinverkeer en overig verkeer groot zijn. Voor de cumulatie met wegverkeer geldt dat er sterke verschillen zijn tussen de trillingbronnen, waardoor cumulatie niet waarschijnlijk is.

4.2 Mitigerende & compenserende maatregelen

In deze paragraaf onderzoeken we, op basis van de conclusies in de voorgaande paragrafen, de benodigde maatregelen om te voldoen aan het beoordelingskader.

4.2.1.1 Trillingschade

Tijdens de bouwfase zijn er geen panden waar schade aan panden te verwachten is, en ook tijdens de exploitatiefase wordt voldaan aan het beoordelingskader voor trillingschade. Er zijn daarom geen mitigerende maatregelen nodig.

4.2.1.2 Trillinghinder

Er zijn overschrijdingen geconstateerd van het beoordelingskader voor trillinghinder, de Bts. Daarom is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Hierbij is de volgende aanpak gehanteerd:

1. Op basis van de resultaten uit Bijlage VIII (trillingsituatie per woning) zijn locaties met overschrijdingen bepaald. Vervolgens zijn gebouwen met een mogelijke overschrijding van het beoordelingskader geclusterd, zie Figuur 13 en Tabel 16. Een groep gebouwen waarvoor een aaneengesloten maatregel nodig is, wordt een cluster genoemd. Meer uitleg over de wijze van het bepalen van clusters is te vinden in Bijlage IX.

Tabel 16: Clusters voor maatregelen met aantal overschrijdingen (panden met trillingen die niet voldoen aan beoordelingskader)

Cluster	Overschrijdingen
1 - Didam Stationslaan	4 woningen + 1 kantoor (15 werkplekken)
2 - Didam Parallelweg - Oude Beekseweg	15 ⁹ woningen + 1 kantoor (32 werkplekken)
3 - Didam Hoefijzer - Zandweg	2 woningen
4 – Didam Lange Klauwenhof - Prinses Beatrixstraat	8 woningen
5 - Didam van Rouwenoortweg	2 woningen
6 - Didam Frieslandweg	2 woningen
7 - Didam Toppegaiweg	3 woningen



Figuur 13: Clusters met maatregelen

- Vervolgens is, op basis van literatuuronderzoek, een inventarisatie gemaakt van alle mogelijke maatregelen. Per cluster is vervolgens gekeken of elk van deze maatregelen inpasbaar is (past het ruimtelijk gezien op deze locatie), voldoende effectief is (vermindert de maatregel de trillingen voldoende) en past binnen het 'beschikbare budget' voor maatregelen (zijn de kosten niet hoger dan het beschikbare budget). Dit proces wordt per locatie in meer detail beschreven in Bijlage IX.

⁹ De woning Oude Beekseweg 45 wordt in het kader van dit project aangekocht, en is daarom niet meegenomen in dit aantal overschrijdingen.

- De kansrijke maatregelen zijn vervolgens gedetailleerd doorgerekend op effect en kosten voor de specifieke situatie, omdat zowel het effect als de kosten afhankelijk zijn van bijvoorbeeld de lokale bodemopbouw. De baten van een maatregel zijn bepaald door het aantal woningen waarvoor de maatregel voldoende effectief is, te vermenigvuldigen met het richtbedrag voor maatregelen van € 63.027,- per woning (prijsspeil 2023). Voor kantoren wordt een bedrag van € 671,- per werkplek gehanteerd. Resultaat van deze stap is een overzicht met kosteneffectieve maatregelen.
- Uit de lijst met kosteneffectieve maatregelen wordt de meest kosteneffectieve maatregel geselecteerd (grootste reductie in aantal gehinderden tegen laagste prijs). Wanneer het saldo (baten minus kosten) positief is, is de maatregel kosteneffectief (mogelijk doelmatig) en wordt deze voorgesteld ter afweging in het PIP.

Meer details per cluster zijn te vinden in Bijlage IX.

Doordat de woningen binnen de onderzochte clusters relatief ver uit elkaar liggen, is het budget voor maatregelen vaak beperkt. Daardoor zijn kostbare (en ingrijpende) maatregelen als diepe ondergrondse trillingschermen (TRillingreducerende Ondergrondse Constructies of TROC's) vaak niet kosteneffectief: de kosten zijn veel hoger dan het beschikbare richtbedrag voor maatregelen. Ondiepere schermen dicht bij het spoor kunnen wel doelmatig zijn. Ook maatregelen aan het spoor zijn door de hoge kosten vaak niet doelmatig, met uitzondering van de wat minder kostbare maatregelen zoals Under Sleeper Pads (USP's, een soort rubberen matjes onder de dwarsliggers die de trillingen dempen). Nadeel van deze maatregel is dat deze niet op alle locaties (voldoende) werkt, waardoor ook USP's niet overal doelmatig zijn.

Een samenvattend overzicht van de mogelijk doelmatige maatregelen per cluster is hieronder opgenomen. In deze tabel is het aantal overschrijdingen per cluster weergegeven en het aantal overschrijdingen na het treffen van maatregelen. De weergegeven kosten¹⁰ zijn de totaalkosten per cluster (inclusief BTW).

Tabel 17: Mogelijk doelmatige maatregelen per cluster, inclusief overschrijdingen voor en na maatregel en kosten van de maatregel

Cluster	Overschrijdingen	Mogelijk doelmatige maatregelen	Overschrijdingen	Kosten
1 - Didam Stationslaan	5	Geen	5	-
2 - Didam Parallelweg - Oude Beekseweg	16	TROC EPS 2 m diep	5	€ 537,240
3 - Didam Hoefijzer - Zandweg	2	Geen	2	-
4 – Didam Lange Klauwenhof - Prinses Beatrixstraat	8	Geen	8	-
5 - Didam van Rouwenoortweg	2	Geen	2	-
6 - Didam Frieslandweg	2	Geen	2	-
7 - Didam Toppegaiweg	3	Geen	3	-
TOTAAL	38		27	€ 537,240

¹⁰ Op basis van de volgende uitgangspunten: prijspeil 2023, kosten voor projectmanagement en coördinatie (4.5%), eenmalige kosten (2%), uitvoeringskosten (8%), algemene bouwplaatskosten (2%), algemene kosten, risico en winst (13%), engineeringkosten (5%), onvoorziene kosten (5%) en PEAT (5%). Kosten voor grondverwerving, het verleggen van kabels en leidingen, reconstructie van de omgeving en eventuele aankoop van opstallen zijn hierin meegenomen. Bij de Under Sleeper Pads zijn ook de kosten voor de benodigde overgangszones (nodig om stijfheidsverschillen in de baan niet te groot te laten zijn) opgenomen in de kosten.

Bij de meeste clusters zijn geen doelmatige maatregelen te treffen, omdat maatregelen niet inpasbaar, te kostbaar of onvoldoende effectief zijn:

- Cluster 1 (Didam Stationslaan): maatregelen zijn, door de verspreid liggende woningen, duurder dan het richtbedrag voor maatregelen of onvoldoende effectief. Een trillingscherm (TROC) van piepschuim (EPS) van 2 meter diep en 0,5 meter breed in de grond tussen het spoor en de woningen zorgt in enkele gebouwen voor een afname van het aantal overschrijdingen, maar is door de hoge kosten (i.v.m. het kruisen van de weg en de ligging bij het station, waardoor reconstructiekosten van de omgeving hoog zijn) en het beperkte effect niet doelmatig.
- Cluster 3 (Didam Hoefijzer - Zandweg): maatregelen zijn, omdat het om twee losse woningen gaat, niet doelmatig door de hoge kosten.
- Cluster 4 (Didam Lange Klauwenhof – Prinses Beatrixstraat): maatregelen zijn, door de verspreid liggende woningen, duurder dan het richtbedrag voor maatregelen of onvoldoende effectief. Dit komt ook doordat relatief veel grond moet worden aangekocht, en zowel de Lange Klauwenhof als de Prinses Beatrixstraat moet worden gereconstrueerd.
- Cluster 5 (Didam Van Rouwenootweg): maatregelen zijn, omdat het om twee woningen gaat, duurder dan het richtbedrag voor maatregelen. Voor de hier nog nieuw te bouwen woning kan, door tijdens de bouw rekening te houden met de trillingen van treinverkeer, hinder door trillingen wel worden voorkomen.
- Cluster 6 (Didam Frieslandweg): maatregelen zijn, omdat het om twee woningen gaat, niet doelmatig door de hoge kosten.
- Cluster 7 (Didam Toppegaiweg): maatregelen zijn, omdat het om drie vrij ver uit elkaar gelegen woningen gaat, niet doelmatig door de hoge kosten.

Bij cluster 2 (Didam Parallelweg – Oude Beekseweg) zijn maatregelen wel doelmatig. Het voorgestelde trillingscherm van EPS (2 meter diep, 0.5 meter breed, ca. 6 meter uit hart spoor) zorgt in de meeste woningen van dit cluster voor voldoende afname van de trillingen. Dit gebied wordt grotendeels al gereconstrueerd, de realisatie van dit trillingscherm kan meegenomen worden in deze reconstructie. Alleen ter plaatse van de Oude Beekseweg moeten aanvullende reconstructiewerkzaamheden plaatsvinden, omdat het scherm hier onder de weg wordt aangebracht. Speciale aandacht dient daarbij te worden besteed aan de kruising met Bievankweg en de ligging onder de Oude Beekseweg, om ongelijkmatige zettingen te voorkomen.

Door het treffen van de doelmatige maatregelen neemt het aantal overschrijdingen van de Bts af van 38 naar 27. De totale investeringskosten voor trillingmaatregelen bedragen € 0.5 mln. incl. BTW.

4.2.1.3 *Verstoring van trillinggevoelige apparatuur*

Er is geen sprake van verstoring van trillinggevoelige apparatuur als gevolg van het project. Maatregelen om de trillingen te verminderen zijn daarmee niet nodig.

4.3 **Effectbeoordeling ná maatregelen**

Met de genoemde maatregelen is een score toegekend aan de criteria voor het MER conform paragraaf 2.3.1. Dit is weergegeven in Tabel 18.

Door de toename van de rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen t.o.v. de referentiesituatie 2035, nemen de trillingen met name rond stations toe als gevolg van het project. Hierdoor neemt het aantal gehinderden toe. Omdat de trillingen relatief laag blijven in de meeste woningen, neemt het aantal overschrijdingen van de streef- en grenswaarden voor trillingen nauwelijks toe.

Het treffen van de kosteneffectieve maatregelen zorgt voor een afname van het aantal adressen met een overschrijding van de A1- en A2-waarde (criterium 1) en van het aantal gehinderden (criterium 2) ten opzichte van de situatie zonder maatregelen. Desondanks is de totaalscore van het project, ook met maatregelen, negatief op trillingen door de hogere rijsnelheid.

Tabel 18: Beoordeling thema trillingen

Thema en aspect	Criterium	Score
Trillingen		
Trillingniveau	Overschrijdingen A1-waarde (streefwaarde V_{max})	0
Trillingniveau	Overschrijdingen A2-waarde (grenswaarde V_{max})	0
Trillingniveau	Overschrijdingen A3-waarde (grenswaarde V_{per})	0
Trillinghinder	Toe- of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	--
Schade trillingen	Kans op schade vanwege trillingen	0
TOTAAL SCORE		-

5 Monitoring, evaluatie & leemten in kennis

5.1 Monitoring en evaluatie

Gelet op artikel 8 van de Bts worden de gevolgen van de ingebruikneming van het project ten aanzien van het thema trillinghinder uiterlijk binnen 1 jaar na ingebruikneming van het project onderzocht. Hierbij wordt getoetst of de verwachte projecteffecten daadwerkelijk zijn opgetreden. Indien sprake is van sterker dan verwachte effecten, dan wordt opnieuw een maatregelafweging uitgevoerd om vast te stellen of aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn.

5.2 Leemten in kennis

Dit onderzoek kent een aantal aannames, uitgangspunten en keuzes die invloed kunnen hebben op de resultaten van het onderzoek. Nader onderzoek kan uitwijzen hoe groot deze invloed is. De factoren die invloed hebben op de resultaten en conclusies worden hieronder toegelicht.

- De invloed van de snelheidsverhoging is bepaald op basis van een aantal metingen aan vergelijkbaar materieel, op verschillende locaties in Nederland. Uit de metingen blijkt dat het effect van de verhoging van de rijsnelheid verschilt per locatie, maar dat de variatie voor stoptreinen beperkt is. De invloed van deze onnauwkeurigheid is daarom beperkt.
- De invloed van het dichterbij komen van de sporen is bepaald op basis van een groot aantal metingen langs het traject. De uitdemping van de trillingen met de afstand varieert slechts beperkt langs het traject. Bovendien gaat het in dit project vaak om een beperkte wijziging in de afstand tot het spoor. De invloed van deze onnauwkeurigheid is daarom beperkt.
- Op een aantal locaties spelen wissels (nieuw of te verwijderen) en overwegen een rol. Door dergelijke constructies zijn de trillingen lokaal hoger. De invloed van deze factoren is in dit onderzoek conservatief meegenomen op basis van metingen langs het traject. De invloed van deze onnauwkeurigheid is daarom beperkt.
- In het onderzoek naar maatregelen is met behulp van empirische gegevens (op basis van metingen) of modelberekeningen het effect van maatregelen onderzocht. In werkelijkheid kunnen lokale variaties in bijvoorbeeld de bodemopbouw zorgen voor een groter of kleiner effect. Op basis van ervaringen bij eerdere projecten is de invloed op de conclusies van het onderzoek naar verwachting beperkt.
- In het onderzoek zijn de gebouwgegevens gekarakteriseerd op basis van kenmerken zoals bouwhoogte, bouwjaar en afmetingen, en vervolgens gecategoriseerd in klassen. De overdracht van maaiveld naar fundering en van fundering naar midden vloerveld is per klasse bepaald in een groot aantal vergelijkbare gebouwen, verspreid over heel Nederland. Desondanks kan het voorkomen dat bepaalde gebouwen met sterk afwijkende bouwkenmerken niet goed gerepresenteerd worden door de in dit onderzoek gebruikte parameters. Het model werkt daarom met een betrouwbaarheid van 95 procent, de kans op een hogere trillingsterkte of laagfrequent geluidniveau dan het model aangeeft is daarmee kleiner dan 5 procent, zoals gebruikelijk bij berekeningen voor trillinghinder.

Uit het onderzoek komen verder geen leemten in kennis of informatie naar voren die tot wezenlijk andere conclusies kunnen leiden.

6 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van het onderzoek. Hierbij wordt eerst ingegaan op de uitvoerbaarheid van het project ten behoeve van het PIP en benodigde mitigerende maatregelen, daarna wordt een samenvatting gegeven van de effectbeoordeling ten behoeve van de MER.

6.1 Conclusie i.r.t. uitvoerbaarheid PIP

6.1.1 Toetsing aan richtlijnen

In het onderzoek voor het PIP zijn drie beoordelingskaders beschouwd: de SBR A-richtlijn voor trillingschade, de Bts voor trillinghinder en de SBR C-richtlijn voor verstoring van gevoelige apparatuur. Voor zowel trillingschade als verstoring van trillinggevoelige apparatuur worden geen overschrijdingen van de beoordelingskaders verwacht. Voor trillinghinder zijn overschrijdingen in een deel van het studiegebied echter niet uit te sluiten, en is een maatregelafweging nodig: door de toename van de rijsnelheid rond stations en op sommige locaties ook het dichterbij komen van de sporen, nemen de trillingen op een aantal locaties langs het tracé toe. Op 7 locaties is de toename van de trillingen groter dan toegestaan in het beoordelingskader, de Bts, en dienen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

6.1.2 Mitigerende maatregelen

Op de locaties waar een kans is op een overschrijding van het beoordelingskader voor trillinghinder, de Bts, is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Hieruit volgt dat de projecteffecten met maatregelen op 1 locatie zijn te mitigeren met een trillingsschermbord (TROC) van EPS (piepschuim) van 2 meter diep en 0.5 meter breed. Op de andere locaties zijn maatregelen niet kosteneffectief (te hoge kosten of te weinig effectiviteit), en daarmee niet doelmatig. Het project leidt overigens nergens tot overschrijdingen van de grenswaarde van 3,2 voor V_{max} uit de Bts, de trillingsterkte waarboven maatregelen *moeten* worden getroffen (conform art. 9 lid 2 uit de Bts).

6.2 Totaalbeoordeling effecten t.b.v. MER

Op basis van de aantallen per toetsingscriterium is in Tabel 19 een waardering toegekend van de effecten van het plan. Deze waardering is gebaseerd op paragraaf 2.3.1, de waarderingen zijn ten opzichte van de referentiesituatie en zijn inclusief kosteneffectieve maatregelen weergegeven.

Tabel 19: Beoordeling

Thema en aspect	Criterium	Score
Trillingen		
Trillingniveau	Overschrijdingen A1-waarde (streefwaarde V_{max})	0
Trillingniveau	Overschrijdingen A2-waarde (grenswaarde V_{max})	0
Trillingniveau	Overschrijdingen A3-waarde (grenswaarde V_{per})	0
Trillinghinder	Toe- of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	--
Schade trillingen	Kans op schade vanwege trillingen	0
TOTAAL SCORE		-

Na het treffen van de doelmatige maatregelen heeft het project alleen nog negatieve effecten op criterium 2 (aantal gehinderden), met name door de toename van de rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen voor een deel van de woningen. Op de andere criteria scoort het project door de getroffen maatregelen neutraal. De totaalscore op trillingen is negatief, doordat het aantal gehinderden wel toeneemt als gevolg van het project.

6.3 Conclusie

Uit het onderzoek volgt dat met name rond stations overschrijdingen zullen optreden van het beoordelingskader voor trillinghinder, de Bts. Door de hogere rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen nemen de trillingen toe. In totaal verwachten we op 7 locaties (rond Didam) overschrijdingen van het beoordelingskader.

De overschrijdingen zijn op 1 locatie te mitigeren met een trillingscherm van EPS van 2 meter diep. Op de andere locaties zijn maatregelen niet kosteneffectief (te hoge kosten of te weinig effectiviteit), en daarmee niet doelmatig. Na het nemen van de kosteneffectieve maatregelen wordt in het grootste deel van het projectgebied voldaan aan het beoordelingskader voor trillingen. Wel zijn er nog steeds overschrijdingen en negatieve effecten mogelijk op locaties waar geen kosteneffectieve maatregelen zijn. Voor al die locaties geldt overigens dat wel wordt voldaan aan de grenswaarde van 3,2 voor V_{max} uit de Bts, de grenswaarde waarboven maatregelen *moeten* worden getroffen.

Er zijn geen overschrijdingen als gevolg van het project op de aspecten trillingschade en versterking van trillinggevoelige apparatuur.

Bijlage I. VibraDyna

I.1 Over VibraDyna

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van *VibraDyna*, een door Movares ontwikkeld trillingmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillingsituatie berekent ten gevolge van rail- of wegverkeer.

In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een nauwkeurige, frequentieafhankelijke berekening op basis van metingen. *VibraDyna* kent ook de mogelijkheid om een snelle, globale berekening uit te voeren met een lagere nauwkeurigheid. Deze berekening kan dan gebruikt worden om te bepalen waar metingen ten behoeve van een nauwkeuriger model noodzakelijk zijn. Dit globale model is in het voorliggende onderzoek gebruikt om de meetlocaties voor de maaiveldmetingen te bepalen. Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht

De berekeningen in *VibraDyna* kunnen aanzienlijk worden versneld en versimpeld door alleen gebruik te maken van de database van het model. Deze database bevat gegevens over de grondopbouw, trillingsterktes, invloed van wissels en kunstwerken en diverse andere aspecten, en is opgebouwd op basis van jarenlange ervaring met metingen langs spoorlijnen en wegen. De aannames in dit model zijn worst-case (conservatief).

I.1.1 In- en uitvoer

Gebruikers kunnen de volgende parameters variëren:

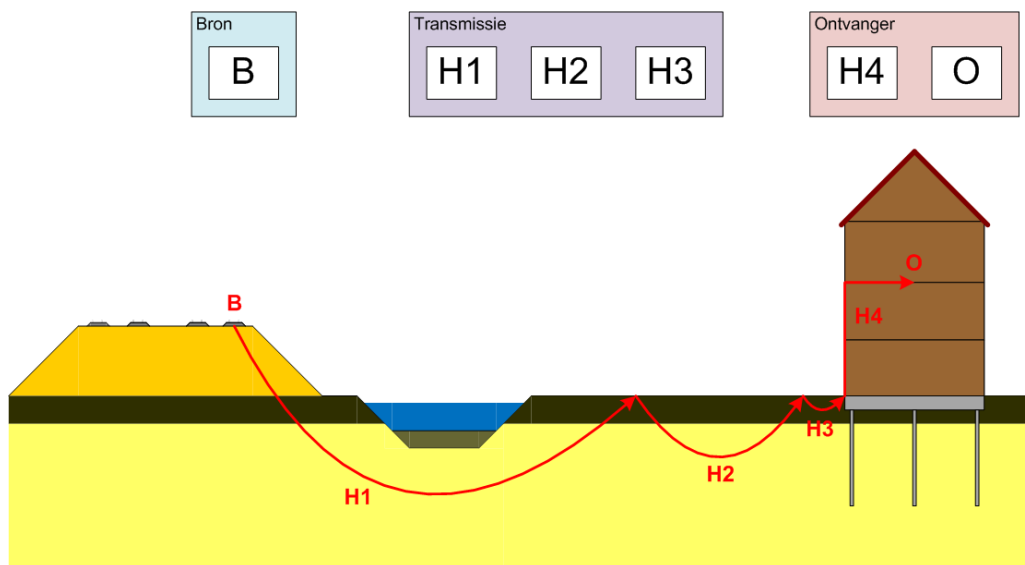
1. Afstand tussen gebouw en spoor
2. Bodemopbouw
3. Geometrie van de spoorbaan
4. Voertuigtypes
5. Voertuigsnelheden
6. Voertuigintensiteiten in dag-, avond- en nachtperiode
7. Wissels en kunstwerken

Output van het model is de trillingsterkte en gemiddelde trillingsterkte op de door de gebruiker opgegeven locatie(s). Resultaten kunnen worden gevisualiseerd in bijvoorbeeld een GIS-applicatie.

I.1.2 Bron, transmissie en ontvanger

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de voortplanting van trillinggolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingbron te beschrijven.

In de overdracht van trillingen van bron naar ontvanger wordt onderscheid gemaakt tussen de bron, de transmissie (of overdracht) en de ontvanger. Een voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een gebied langs het spoor is weergegeven in Figuur 14. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.



Figuur 14: Transmissie van trillingen

In de globale berekening worden alle parameters niet-frequentieafhankelijk beschouwd.

1.1.3 Database

Er is een aantal bronparameters dat de trillingsterkte beïnvloedt, deze bronparameters kunnen worden onderscheiden in twee categorieën:

1. Treinafhankelijke parameters, zoals treinsnelheid, aslast, afvering en wielruwheid. Deze parameters worden deels ingegeven door de gebruikers, en zijn deels opgenomen in de database van *VibraDyna*.
2. Baanparameters, zoals geometrie van de baan, oneffenheden in de baan, zetting van de baan en de aanwezigheid van wissels en kunstwerken. Deze parameters zijn opgenomen in de database van *VibraDyna*.

Parameters uit categorie 1 worden meegenomen door onderscheid te maken tussen verschillende treintypes en door het introduceren van een variatie op de betrouwbaarheid. Parameters uit categorie 2 worden meegenomen als afzonderlijke trillingbronnen.

1.1.4 Berekening

Met behulp van de relaties tussen de treintypes en de Barkanvergelijking wordt de trillingsterkte V_{max} per treintype bepaald in de referentie- en plansituatie.

De gemiddelde trillingsterkte V_{per} wordt berekend met behulp van de maximale uurintensiteit van de verschillende treintypes. Dit resulteert in een conservatieve inschatting van V_{per} , aangezien niet alle maximale uurintensiteiten in dezelfde periode (dag, avond of nacht) optreden.

1.2 Nauwkeurige berekening op basis van metingen

Voor veel onderzoeken is een grotere nauwkeurigheid van het onderzoek gewenst dan een bepaling op basis van expert judgment, zodat de posities van aandachtslocaties beter inzichtelijk kunnen worden gemaakt. In dat geval kan een nauwkeuriger berekening worden uitgevoerd met *VibraDyna*, waarbij gebruik wordt gemaakt van metingen. Deze metingen worden door de gebruiker zelf uitgevoerd en als invoer in het model gestopt.

De volgende meetresultaten kunnen worden ingevoerd in het model:

- Trillingmetingen aan voertuigpassages op maaiveld loodrecht op het spoor of de weg, om de bronsterkte van de verschillende passerende voertuigen te bepalen.

- Valproeven om de afnamecurve van de lokale bodem vast te stellen (de bodemeigenschappen). Deze afnamecurve kan ook met trillingmetingen aan treinen worden vastgesteld.

Ten opzichte van de globale berekening wordt deze nauwkeuriger berekening frequentieafhankelijk uitgevoerd. Daarnaast wordt rekening gehouden met lokale variaties in taludgeometrie, bodem- en baanopbouw. Daardoor heeft dit type model een grotere betrouwbaarheid dan de globale berekening.

1.2.1 Frequentieafhankelijkheid

In het nauwkeurige model wordt gerekend met zogenaamde tertsbandspectra van trillingssignalen van treinen. Uit diverse onderzoeken blijkt dat de tertsbandspectra van treinen, mits genormaliseerd voor snelheid, per treintype weinig variatie kennen. De beperkte variatie die er is wordt vooral veroorzaakt door variaties in wielronde, wielruwheid en aslast.

/Ook een groot aantal andere invloeden is frequentieafhankelijk. Te denken valt aan de invloed van wissels, geometriewijzigingen, de eigenschappen van gebouwen of de demping van de bodem. Door deze invloeden frequentieafhankelijk in het model in te voeren, wordt de nauwkeurigheid van het trillingmodel vergroot ten opzichte van het werken met scalaire grootheden.

1.2.2 Relatie tussen tertsbandspectrum en v_{eff}

De trillingsterkte v_{eff} is een gewogen voortschrijdend gemiddelde, dat gecorrigeerd is voor frequenties. Deze grootheid wordt gebruikt om de trillingsterkte V_{max} te bepalen, die vervolgens getoetst wordt aan de Bts. De v_{rms} -waarde is bepaald uit het tertsbandspectrum door energetisch te sommeren over de frequenties, na het toepassen van de correctie uit de SBR B-richtlijn:

$$v_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^N F_c(f) \cdot v_i(f)^2}$$

Hierbij is $v_i(f)$ het tertsbandspectrum en $F_c(f)$ de correctiefactor van de SBR B-richtlijn. De waarde van v_{rms} is vervolgens omgerekend naar een v_{eff} volgens de voorgeschreven naverwerkingsmethode. De trillingsterkte V_{max} wordt vervolgens bepaald uit de gehele verzameling van gemeten v_{eff} -waarden voor alle treinen.

1.2.3 Berekening

De berekening in *VibraDyna* vindt plaats volgens een aantal stappen. Met behulp van de relaties tussen de treintypen en een frequentieafhankelijke Barkanvergelijking wordt de trillingsterkte V_{max} bepaald voor de verschillende onderzochte situaties.

1.3 Betrouwbaarheid van *VibraDyna*

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van trillingmodellen in plaats van metingen in gebouwen. Het gebruik van trillingmodellen in plaats van het uitvoeren van metingen heeft een aantal voordelen:

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingsterkte.
- Het maakt het mogelijk om een groter aantal verschillende locaties te beschouwen. Het uitvoeren van metingen op een groot aantal locaties is zowel tijdrovend als kostbaar en kan bij het gebruik van een betrouwbaar trillingmodel achterwege blijven.

Nadeel van het gebruik van modellen is dat een model slechts een *benadering* van de werkelijkheid is. Zo kunnen gebouwen met een ongunstige overdrachtskarakteristiek (tussen maaiveld en de bewoonde vloeren) afwijken van de gemiddelde prognoses die het model hanteert. Om er toch voor te zorgen dat de modellen zo betrouwbaar mogelijk zijn, is de volgende aanpak gehanteerd:

1. Modelparameters zijn bepaald op basis van een groot aantal metingen in een groot aantal gebouwen door het gehele land, over langere tijd. De beoordeling van de trillingsterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen

waar in werkelijkheid een hogere trillingsterkte wordt gemeten, zeer klein. Bij het nauwkeurige model is het mogelijk om gebouweigenschappen toe te voegen, zodat de invloed van sterk afwijkende bebouwing sterk wordt gereduceerd.

2. Het model is geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de trillingonderzoeken ten behoeve van de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem*¹¹, *Sporen in Utrecht*¹² en *Doorstroomstation Utrecht*¹³ met de bijbehorende Opleveringstoetsen.
3. In de beoordeling van de modelresultaten worden drie categorieën onderscheiden:
 - a. Gebouwen die voldoen aan het beoordelingskader.
 - b. Gebouwen die wel voldoen aan het beoordelingskader, maar waarbij nog een kans op een overschrijding is.
 - c. Gebouwen die niet voldoen aan het beoordelingskader.

Locaties waarvan niet zeker is dat ze voldoen aan het beoordelingskader, komen voor nader onderzoek in aanmerking. Door deze conservatieve manier van beoordeling worden alle locaties (extreme uitschieters uitgezonderd) waar een mogelijke overschrijding is van het beoordelingskader, net zo lang onderzocht totdat duidelijk is dat er geen overschrijdingen zullen optreden. Wanneer blijkt dat er desondanks overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, dan worden maatregelen ontworpen om de locatie alsnog te laten voldoen aan de streefwaarden.

De maximale trillingsterkte en gemiddelde trillingsterkte wordt door *VibraDyna* bepaald met een betrouwbaarheid van 95 procent. Bij beoordeling op de Bts speelt vooral de toename in trillingsterkte een belangrijke rol. Om deze toename conservatief genoeg te berekenen, rekent *VibraDyna* met simultane probabilistische verdelingen van de trillingsterkte per meetpunt. Voor elke factor die de trillingsterkte beïnvloedt, is de correlatie bepaald tussen deze factor in de referentie- en plansituatie. Door vervolgens een simultane probabilistische verdeling op te stellen van de maximale trillingsterkte in de referentie- en plansituatie, kunnen kansdichtheidscontouren worden getrokken zoals in Figuur 15. De zwarte punt geeft in dit geval de trillingsterkte in de referentie- en plansituatie weer.

Hoe groter de correlatie tussen de beide situaties is (d.w.z., hoe minder veranderingen er zijn tussen referentie- en plansituatie), hoe meer de contouren worden samengetrokken naar de lijn die loopt tussen de zwarte punt en het centrum van de contouren in Figuur 15, en hoe betrouwbaarder de predictie dus is.

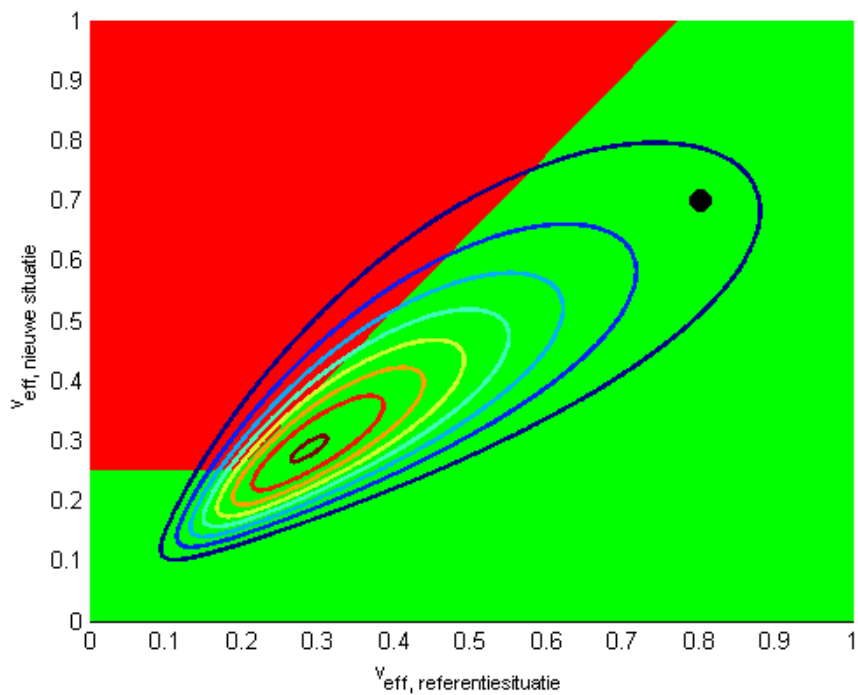
Door de simultane probabilistische verdeling van de trillingsterkte in de referentie- en plansituatie te integreren over het groene gebied in Figuur 15, kan een kans worden toegekend aan of een woning voldoet aan het beoordelingskader. Voor de in Figuur 15 getoonde contouren is deze kans bijvoorbeeld gelijk aan 85 procent. Enkele aandachtspunten bij deze overschrijdingskans:

1. Voor het getoonde voorbeeld is er nog een kans van 15 procent op een overschrijding van de streefwaarden. Bij overschrijdingen is de waarde van de trillingsterkte in de nieuwe situatie waarschijnlijk echter aanzienlijk lager dan de trillingsterkte die weergegeven is door de zwarte stip in Figuur 15. Op basis van uitgebreid onderzoek is ervoor gekozen om locaties nader te onderzoeken indien de overschrijdingskans groter is dan 80 procent. De overschrijdingskans wordt alleen meegenomen om te bepalen of een woning of deelgebied wordt meegenomen in een vervolgonderzoek, niet bij het al dan niet nemen van maatregelen.
2. In het globale model wordt een eventuele wijziging in taludgeometrie nog niet meegenomen. Daarom wordt in dit model extra conservatief getoetst door te rekenen met een lagere correlatiecoëfficiënt (meer spreiding in resultaten mogelijk).

¹¹ Boon, ir. P.M., *Sporen in Arnhem, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400006, 31 maart 2014, versie 1.0

¹² Boon, ir. P.M., *Sporen in Utrecht, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400005, 31 maart 2014, versie 1.0

¹³ Boon, ir. P.M., *Doorstroomstation Utrecht (DSSU), Trillingsonderzoek*, Movares Nederland B.V., OND-ET-CON-TR-RAP-100, 4 juni 2015, versie 3.0



Figuur 15: Voorbeeld trillingsterkte in referentie- en plansituatie (zwarte stip) en kansdichtheidscontouren van mogelijke trillingsterktes (correlatiecoëfficiënt van 0.85)

Bijlage II. Beoordelingskader

II.1 Algemeen

Treinverkeer, maar ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen leiden tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen resulteren in hinder en/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 bouwwerken (2017);
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen (2006);
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Daarnaast heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een *Beleidsregel Trillinghinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is.

In het onderzoek ten behoeve van de MER wordt naar twee aspecten gekeken: trillinghinder (aantal overschrijdingen van de Bts en kans op hinder) en trillingschade (overschrijdingen van de SBR A-richtlijn). In het onderzoek ten behoeve van het PIP wordt ook gekeken naar de kans op verstoring van gevoelige apparatuur. In de volgende paragrafen staan deze beoordelingskaders beschreven.

II.2 SBR richtlijn deel A – beoordelingskader trillingschade

II.2.1 Schade als gevolg van bouwwerkzaamheden

Bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de werkzaamheden. Heien, het intrillen van damwanden en sloopwerkzaamheden kunnen hoge trillingsnelheden veroorzaken, die zeker op korte afstand van de trillingbron tot schade in gebouwen kunnen leiden. In dit project zijn dergelijke bouwwerkzaamheden overigens niet voorzien.

II.2.2 Schade ten gevolge van treinverkeer

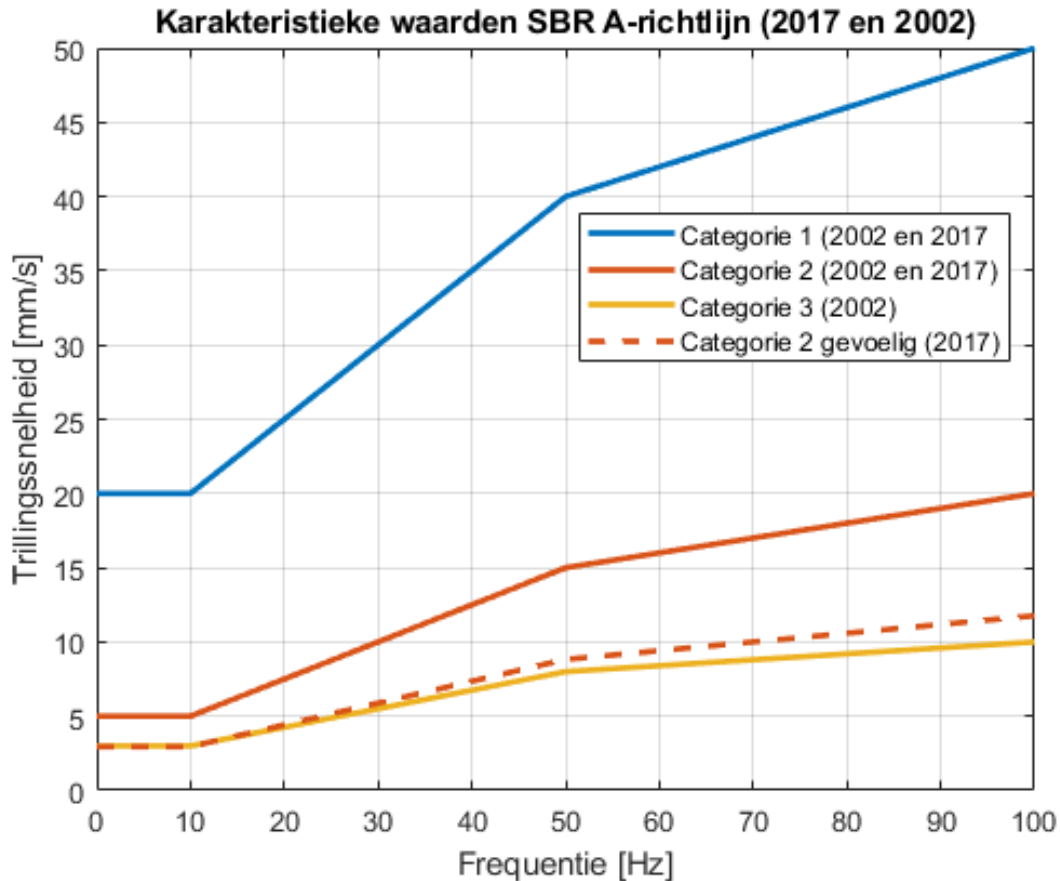
De sterkte van trillingen ten gevolge van treinverkeer zijn voor vrijwel alle gebouwen te gering om schade aan gebouwen te veroorzaken. Op afstanden groter dan 10 meter vanaf de spoorbaan is de trillingsnelheid, gemeten aan de fundering, zonder uitzondering kleiner dan 2 mm/s. Onder deze grens is de kans op schade kleiner dan 1 procent. Dergelijke trillingsterktes treden niet op in dit project als gevolg van treinverkeer.

II.2.3 Algemeen

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. schade volgens SBR A-richtlijn worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria:

1. Type bouwwerk. De volgende verschillende typen van bouwwerken onderscheiden:
 - a. Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van een draagconstructie indien deze bestaan uit gewapend beton of hout; onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout en draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke;
 - b. Categorie 2: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk; in goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brossen steenachtige materialen.

- c. Categorie 2 met een gevoelige bouwkundige staat of monument. Hierbij is er een veiligheidsfactor voor gebouwen met een monumentale status of slechte staat. De grenswaarden per categorie zijn weergegeven in Figuur 16. Ter indicatie zijn ook de waarden uit de vorige SBR A-richtlijn (2002-versie) getoond.



Figuur 16: Grenswaarden in SBR A-richtlijn

2. Type trillingbron. Er worden drie verschillende typen trillingbronnen onderscheiden, elk met een eigen veiligheidsfactor:
 - a. Bronnen die incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen veroorzaken ten gevolge van een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met vermoeiingseffecten van constructiematerialen. Voorbeelden van dit type trillingen zijn explosies en botsingen. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.0.
 - b. Bronnen die herhaalde kortdurende belastingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zodanig vaak voorkomen dat met vermoeiingseffecten in materialen rekening moet worden gehouden. Een voorbeeld van dit type trillingen is heiwerkzaamheden. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.5.
 - c. Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld. Als gevolg van deze trillingen kunnen resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een gebouw optreden. Voorbeelden van dit type trillingen zijn machines met roterende onderdelen, vibratoren, verdichtingswerk d.m.v. trilwalsen en het inbrengen van damwanden d.m.v. trilblokken. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 2.5.

In dit onderzoek wordt schade gerelateerd aan treinverkeer. Deze bron valt onder categorie 2 (veiligheidsfactor 1.5). De grenswaarden dienen door deze veiligheidsfactor te worden gedeeld.

3. Type meting. Afhankelijk van de hoeveelheid meetpunten wordt opnieuw een driedeling gemaakt:
 - a. Indicatieve meting. Bij een indicatieve meting wordt slechts op één meetpunt in drie richtingen gemeten. Dit meetpunt wordt gemonteerd op een stijf punt aan de fundering. De gekozen horizontale richtingen worden zoveel mogelijk gekozen overeenkomend met de hoofdasen van het gebouw. De veiligheidsfactor is 1.6.
 - b. Beperkte meting. Bij een beperkte meting wordt ten minste in één meetpunt op het begane grondniveau en ten minste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw gemeten. De veiligheidsfactor is 1.4.
 - c. Uitgebreide meting. Bij een uitgebreide meting dient een groter aantal meetpunten te worden gemeten, als aanvulling op de beperkte meting (een uitgebreide beschrijving is in de SBR trillingrichtlijn deel A gegeven). De veiligheidsfactor is 1.0.

In het onderzoek naar bouwschade wordt nog geen gebruik gemaakt van meetpunten, daarom wordt de hoogste veiligheidsfactor (1.6, indicatieve meting) gehanteerd, voor het onderzoek naar trillingschade door treinverkeer is gebruik gemaakt van metingen met meetpunten op de fundering en op de verdieping. Daarom wordt daar een veiligheidsfactor van 1.4 (beperkte meting) gehanteerd.

II.2.4 Toetsing

Na de grenswaarden voor een bepaald gebouw gedeeld te hebben door de partiële veiligheidsfactor behorend bij het type trillingbron, kan de met behulp van berekeningen bepaalde trillingsnelheid ten gevolge van werkzaamheden getoetst worden aan de grenswaarde. Daar bovenop wordt een veiligheidsfactor gehanteerd. In dit onderzoek wordt aangegeven voor hoeveel gebouwen een overschrijding van de SBR A-richtlijn wordt verwacht.

II.3 Bts (Beleidsregel trillinghinder spoor)

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillinghinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillinghinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Deze Bts is in 2014 deels gewijzigd. Enkele belangrijke aanvullingen ten opzichte van de SBR B-richtlijn zijn:

- Een nadere invulling van het kosteneffectiviteitscriterium bij de afweging van maatregelen, met een richtbedrag van € 63.027 per woning met overschrijdingen of € 671 per werkplek. Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA¹⁴, uitgevoerd door Witteveen+Bos, RoyalHaskoningDHV en TNO;
- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingsterkte wordt bepaald over een meetperiode van tenminste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingsterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde *R*. Deze factor is een indicatie van de onzekerheid in de meting en eventuele prognoses die zijn gemaakt, en geeft aan in hoeverre het resultaat van een herhaling van de meting of berekeningen kan afwijken van het gegeven resultaat. Wanneer deze *R*-waarde groter is dan 10 procent, wordt bij het beoordelen van de trillingsituatie en het nemen van maatregelen rekening gehouden met deze onzekerheid.

¹⁴ MKBA = Maatschappelijke Kosten Baten Analyse, methodiek om de maatschappelijk gezien acceptabele kosten van een maatregel te bepalen. Zie Ruijgrok, dr. ir. E.C.M. e.a., *Kosteneffectiviteitstoetsing Trillingsreducerende Maatregelen Spoor*, Witteveen+Bos, juni 2013, projectcode ut702-1-1. Bedrag is bepaald op basis van prijspeil januari 2023 (indexatie van 34,1% t.o.v. januari 2014).

In de Bts wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Dit project valt onder bestaande (gewijzigde) situaties. Bts artikel 1 spreekt van een 'bestaande situatie als een referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer'.

De Bts maakt daarnaast onderscheid tussen de dag- en avondperiode en de nachtperiode. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingsterktes gedurende de nacht lager zijn dan die gedurende de dag en avond.

Om de trillingsterkte in een gebouw te bepalen dient de effectieve trillingsnelheid v_{eff} gemeten te worden in een gebouw gedurende een periode van minimaal een week. Deze effectieve trillingsnelheid wordt bepaald als voortschrijdend gemiddelde per 30 seconden. Vervolgens wordt per 30 seconden de maximale waarde van dit voortschrijdend gemiddelde genomen. Middels een statistische procedure wordt vervolgens een waarde bepaald voor $V_{max, Bts}$, zie ook Bijlage IV. Deze waarde wordt gebruikt voor toetsing aan de streefwaarden.

V_{per} is een weergave van de gemiddelde trillingsterkte. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingsterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 valt. Trillingsnelheden 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 trillingsnelheden boven de 0.1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn.

II.3.1 Normstelling in de Bts

De streefwaarden in de Bts 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 *kantoren en gebouwen ten behoeve van onderwijs of bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingsterktes, zie Tabel 20 voor de normstelling voor bestaande situaties.

De Bts kent drie waarden: A1, de streefwaarde voor de trillingsterkte V_{max} , A2, de grenswaarde voor de trillingsterkte V_{max} en A3, de grenswaarde voor de gemiddelde trillingsterkte V_{per} .

Tabel 20: Normstelling nieuwe situatie volgens Bts

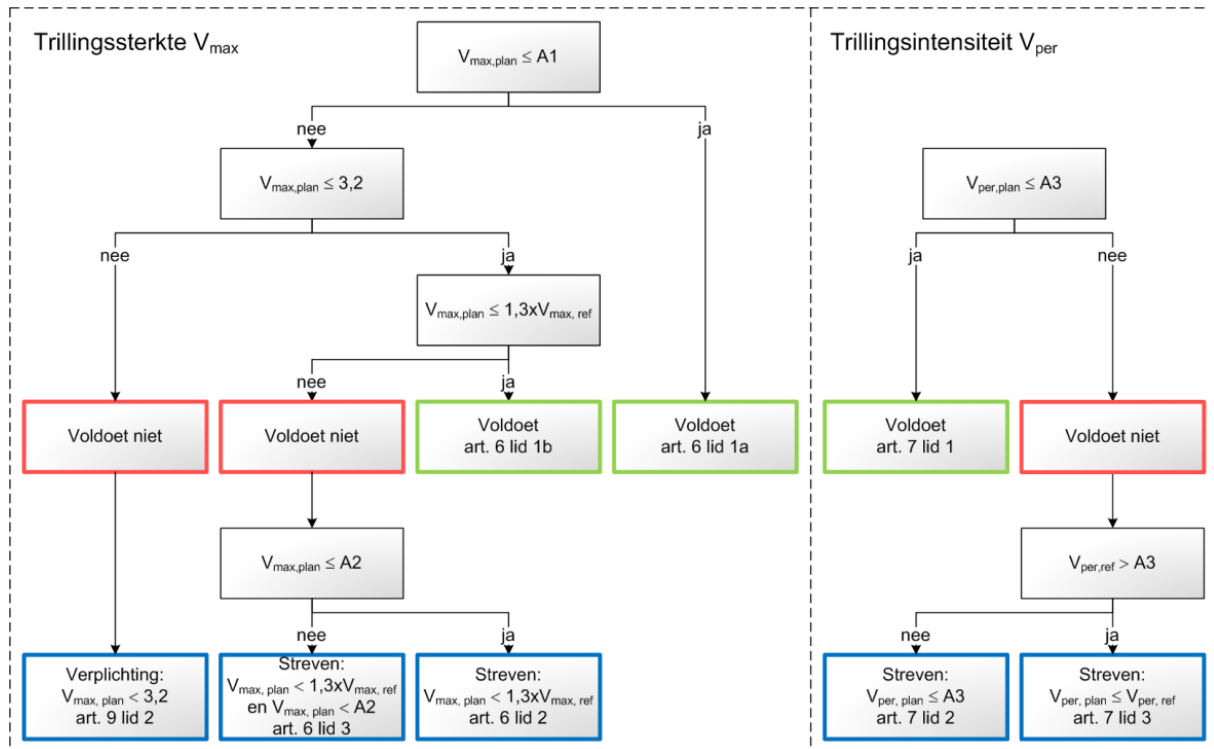
Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.15	0.6	0.15	0.15	0.6	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

II.3.2 Beoordeling van trillingsituatie

Om te beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts voor bestaande situaties moet het schema in Figuur 17 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillinghinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is lager dan A3.

2. De toename in trillingsterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is lager dan A3 en de trillingsterkte in de plansituatie is lager dan de grenswaarde van 3.2.



Figuur 17: Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

II.4 SBR C-richtlijn (gevoelige apparatuur)

Voor gevoelige apparatuur bestaan geen eenduidige richtlijnen. Bij de toetsing wordt gebruik gemaakt van apparaatspecifieke eisen, conform de SBR C-richtlijn. Waar relevant worden deze eisen opgehaald bij de leverancier van de apparaten.

Bijlage III. Gebruikt bodemonderzoek

In deze bijlage is het gebruikte bodemonderzoek beschreven. Dit bodemonderzoek is gebruikt voor het vaststellen van de meetlocaties en het inrichten van het rekenmodel voor stap 1 en 2. Hierbij is gekeken naar de opbouw van de bodemlagen en de kans op slappe lagen die de trillingen sterker uitdempen.

De opbouw van de bodem is gebaseerd op de informatie van het bodemonderzoek en grondwater die in de archieven beschikbaar zijn. Hier is gebruikt gemaakt van de archieven van DINO/BRO en eigen archieven van Movares. De resultaten van deze inventarisatie zijn te vinden in het rapport *RegioExpres Doetinchem- Zevenaar – Geotechnische inventarisatie t.b.v. FIS* versie 2.0 van 27 oktober 2021. Uit dit onderzoek blijkt dat de bodem vooral uit zandlagen bestaat, op enkele locaties is sprake van klei- en leemlagen.

Bijlage IV. Verwerkingsprocedure trillingmetingen

In dit trillingonderzoek zijn metingen uitgevoerd in woningen. Deze metingen zijn onbemand uitgevoerd met behulp van een meetcomputer die continu (gedurende minimaal een week) de trillingsignalen 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-spoor gerelateerde trillingen buiten beschouwing worden gelaten:

1. Stap 1: met behulp van gegevens over de passagetijden¹⁵ en videobeelden zijn de treinen gemarkeerd. De lijst met passagetijden is gebruikt om te verifiëren dat alle passerende treinen (ook in de nacht) daadwerkelijk zijn gemarkeerd: het aantal treinen in de database komt overeen met het aantal gemarkeerde treinen.
2. Stap 2: bij de meting wordt gebruik gemaakt van meerdere sensoren. Met behulp van spectraalanalyse¹⁶ worden de trillingsignalen van beide sensoren op elkaar gedeeld. Hierdoor 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 trillingsignalen 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 spoor gerelateerde trillingbronnen worden apart gemarkeerd. In de datasets in het meetrapport zijn deze trillingbronnen eveneens weergegeven.

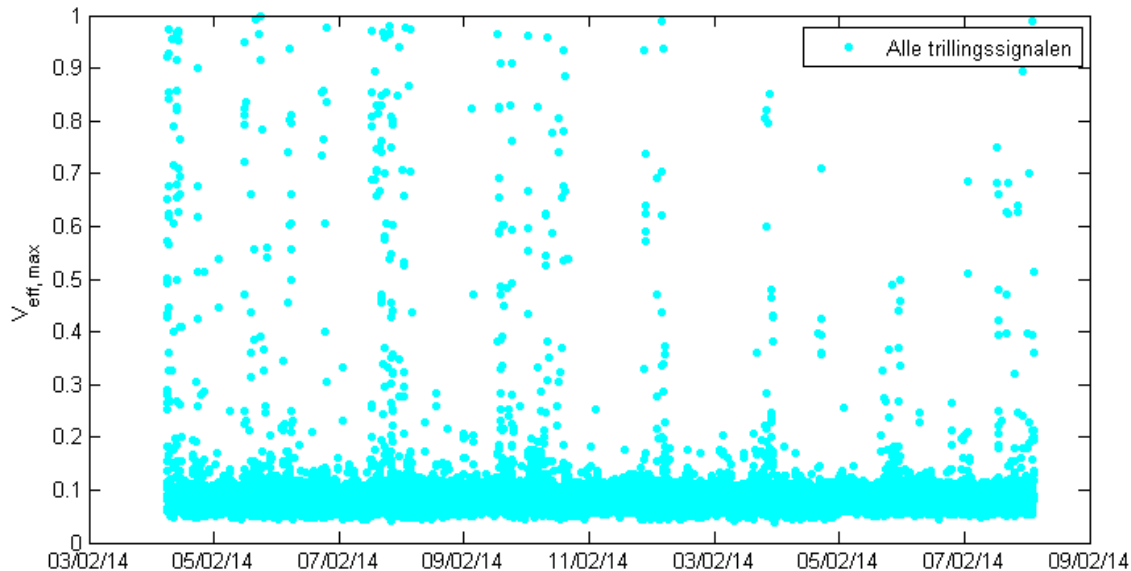
Deze stappen worden met behulp van een voorbeeldsituatie nader toegelicht in deze bijlage.

¹⁵ Deze passagetijden zijn opgevraagd bij ProRail

¹⁶ Spectraalanalyse is het onderzoeken van het frequentiespectrum van een trillingssignaal. Hierbij wordt naar de verschillende frequenties gekeken.

IV.1 Verwerking ruwe meetdata

Na het uitvoeren van de meting wordt de ruwe data geconverteerd naar V_{rms} -waarden per 5 seconden, en vervolgens naar $V_{eff,max}$ -waarden per 30 seconden, conform de procedure in de SBR B-richtlijn en het memo LA.131001a.M04a van Level Acoustics (versie van 13 april 2018). Per meetlocatie is deze meetdata weergegeven in Bijlage VIII. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is weergegeven in Figuur 18. 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.



Figuur 18: Meetdata, $V_{eff,max}$ per 30 seconden voor het fictieve voorbeeld

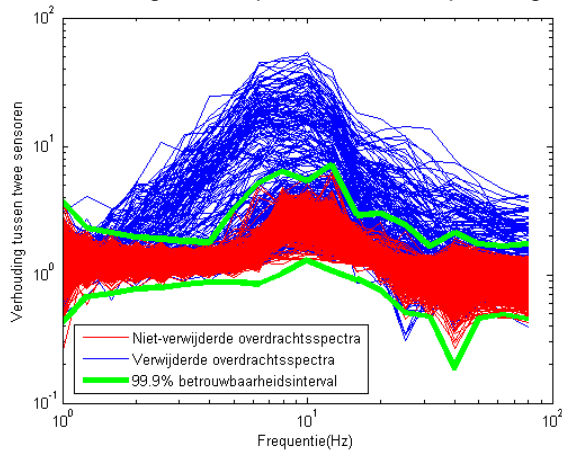
IV.2 Stap 1 – Toekennen events

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 over welk spoor deze trein rijdt. Deze eerste selectie vindt bij voorkeur plaats met behulp van gegevens over de passagetijden van alle treinen, en wordt eventueel geverifieerd met behulp van de videobeelden. Door deze dubbele procedure wordt gegarandeerd dat alle gepasseerde treinen worden meegenomen in de analyse. Een voorbeeld wordt in het kader op de volgende pagina toegelicht.

IV.3 Stap 2 – Filteren interne verstoringen

Omdat gebruik wordt gemaakt van meerdere sensoren, kunnen de trillingspectra 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.

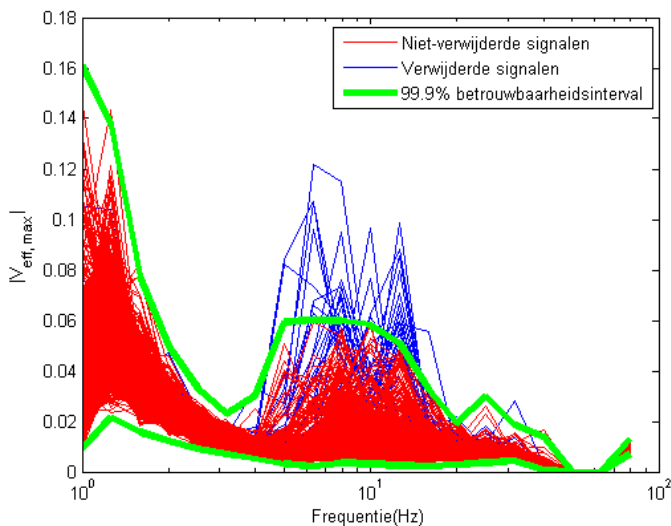
Een voorbeeld van deze selectie op trillingspectra is weergegeven in Figuur 19. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in overdrachten en geverifieerd in de videobeelden.



Figuur 19: Spectraalanalyse in stap 2 voor het fictieve voorbeeld

IV.4 Stap 3 – Filteren externe verstoringen

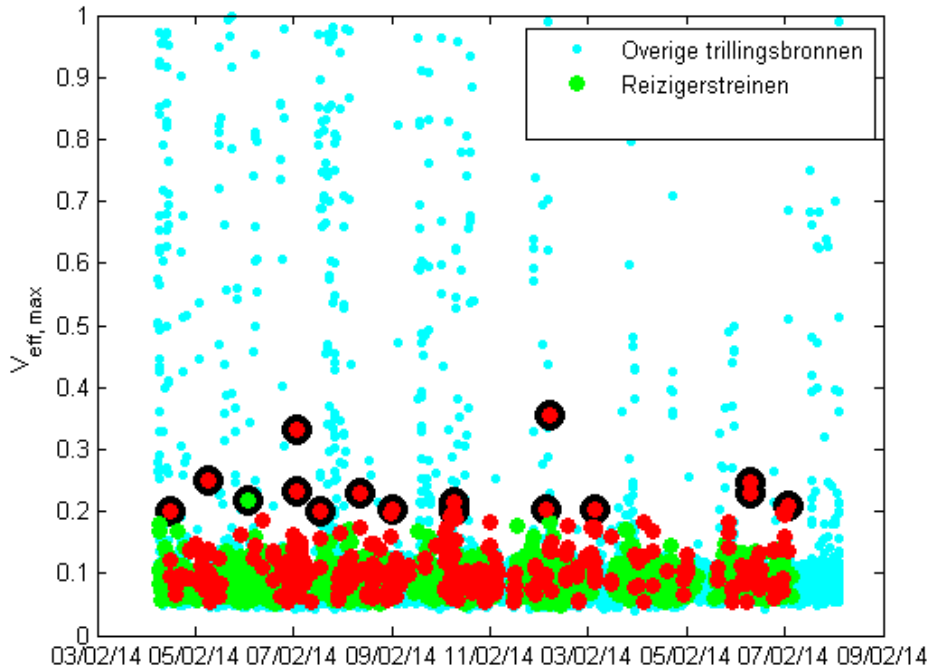
Conform het memo van Level Acoustics worden niet-spoor gerelateerde gebeurtenissen, zoals wegverkeer en bouwwerkzaamheden, verwijderd uit de dataset. In het geval van externe verstoringen, zoals de passage van vrachtauto's of het gelijktijdig uitvoeren van werkzaamheden buiten het gebouw, kunnen deze verstoringen worden uitgefilterd met behulp van spectraalanalyse. Deze spectraalanalyse vindt per treintype plaats, zodat duidelijk zichtbaar wordt welke 30-secondeperiodes sterk afwijkende trillingspectra hebben (bijvoorbeeld signalen die buiten het 99% betrouwbaarheidsinterval vallen). Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 20. Deze afwijkende signalen worden geverifieerd met behulp van videobeelden.



Figuur 20: Spectraalanalyse in stap 3 voor het fictieve voorbeeld

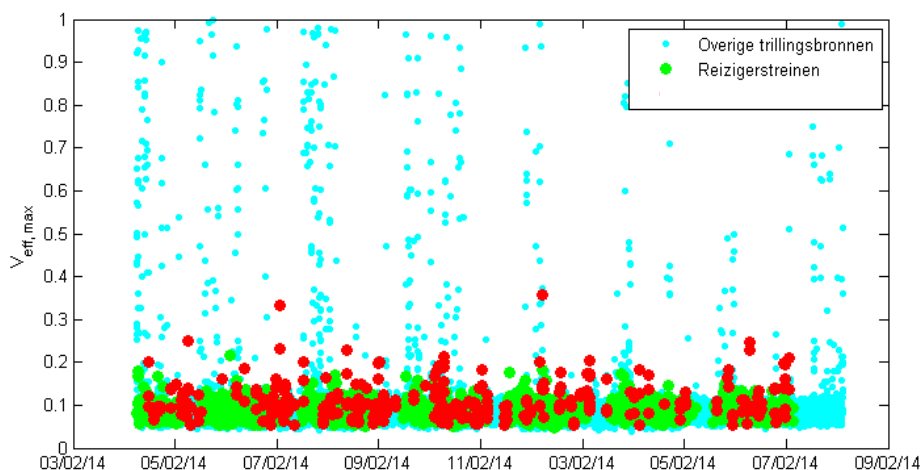
IV.5 Stap 4 – Controle van hoogste waarden

Als laatste controlestap worden alle hoge trillingsignalen nogmaals gecontroleerd op vervuiling door andere trillingbronnen. Deze laatste controle vindt handmatig plaats in de meetsoftware. Hierbij worden de trillingsignalen en videobeelden beschouwd op afwijkingen en verstoringen. Een voorbeeldselectie van te controleren trillingsignalen (zwart omcirkelde meetpunten) voor dit voorbeeld is weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21: Te controleren treinsignalen in stap 4 voor het fictieve voorbeeld

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 22. Dit is de uiteindelijke dataset waarover de trillingsterkte V_{max} en de gemiddelde trillingsterkte V_{per} worden bepaald.



Figuur 22: Schone dataset met treinpassages voor het fictieve voorbeeld

IV.6 Naverwerkingsprocedure

De naverwerkingsprocedure zoals die is toegepast in dit trillingonderzoek is gebaseerd op optie 1 uit het memo LA.131001a.M04 van Level Acoustics (versie van 13 april 2018), waarbij gedurende minimaal 7 x 24 uur op diverse meetpunten in een gebouw is gemeten en de trillingen van alle meetrichtingen zijn vastgelegd. Verder wordt per treinpassage het treintype vastgelegd (goederen of reizigerstreinen). Voor alle treinpassages wordt per meetrichting j de metriek $V_{rms,5s,j}$ bepaald door de root-mean-square te nemen over 5 seconden van $V_{eff}(t)$ van die meetrichting symmetrie rondom het tijdstip dat $V_{eff,max,j}$ optreedt voor dat meetpunt en in die richting.

Uit $V_{rms,5s,j}$ wordt een $V_{eff,max,j}$ berekend per meetrichting en meetpunt volgens de formule:

$$(V_{eff,max,j}) = 1.95 * (V_{rms,5s,j})$$

Vervolgens wordt de volgende naverwerkingsprocedure gestart, en worden per treintype de volgende stappen doorlopen:

1. Er wordt vastgesteld op grond van hoeveel meetdagen de verzameling $V_{eff,max,j}$ -waarden tot stand is gekomen. Deze parameter wordt *#meetdagen* genoemd;
2. Alle treinpassages met een $V_{eff,max,j} \geq 0.02$ op de fundering worden geselecteerd. Indien geen funderingspunt is gekozen, dan wordt gekozen voor een meetpunt op de laagst beschikbare verdieping waarbij $V_{eff,max,j} \geq 0.05$;
3. Per meetpunt wordt het aantal treinen bepaald: *#treinen*
4. Van de berekende $V_{eff,max,j}$ wordt de natuurlijke logaritme genomen:

$$\ln(V_{eff,max,j})$$

5. Vervolgens wordt hierover het gemiddelde μ bepaald:

$$\mu = \text{gemiddelde}\{\ln(V_{eff,max,j})\}$$

6. De betrouwbaarheidscoëfficiënt β wordt vastgesteld volgens de formule:

$$\beta = t^{-1} \left[1 - \frac{\left(\frac{\#meetdagen}{7}\right)}{\#treinen}; \#treinen - 1 \right]$$

7. Vervolgens wordt $V_{max,Bts}$ per meetpunt en per meetrichting bepaald met de volgende formule:

$$V_{max,Bts} = e^{\mu+0.3\cdot\beta}$$

8. De reproduceerbaarheid R wordt per meetpunt en richting als volgt bepaald:

$$R = 100\% \cdot 0.3 \cdot \sqrt{\frac{4}{\#treinen} + 0.01}$$

9. De toetswaarde voor $V_{max,Bts}$ bedraagt dan:

$$V_{max,Bts} \quad \text{als } R \leq 10\%$$
$$V_{max,Bts} \cdot \left(1 + \frac{R}{100\%}\right) \quad \text{als } R > 10\%$$

10. Te toename van $V_{max,Bts}$ is een verhouding tussen de plan- en referentiesituatie, de zogenaamde Q-waarde. Hiervoor wordt in de Bts een grenswaarde van 1.3 gehanteerd. Een waarde kleiner dan 1 duidt op een afname van de trillingen. Q wordt als volgt bepaald:

$$Q = \frac{V_{max,Bts,plansituatie}}{V_{max,Bts,referentiesituatie}}$$

Hierbij wordt de $V_{max,Bts}$ zonder eventuele correctiefactor gebruikt. De onzekerheid in de toename Q wordt bepaald volgens de formule:

$$R_Q = \sqrt{R_{referentiesituatie}^2 + R_{plansituatie}^2}$$

De waarde van Q wordt dan als volgt bepaald:

$$Q \quad \text{als } R_Q \leq 14\%$$

$$Q \cdot \left(1 + \frac{R}{100\%}\right) \quad \text{als } R_Q > 14\%$$

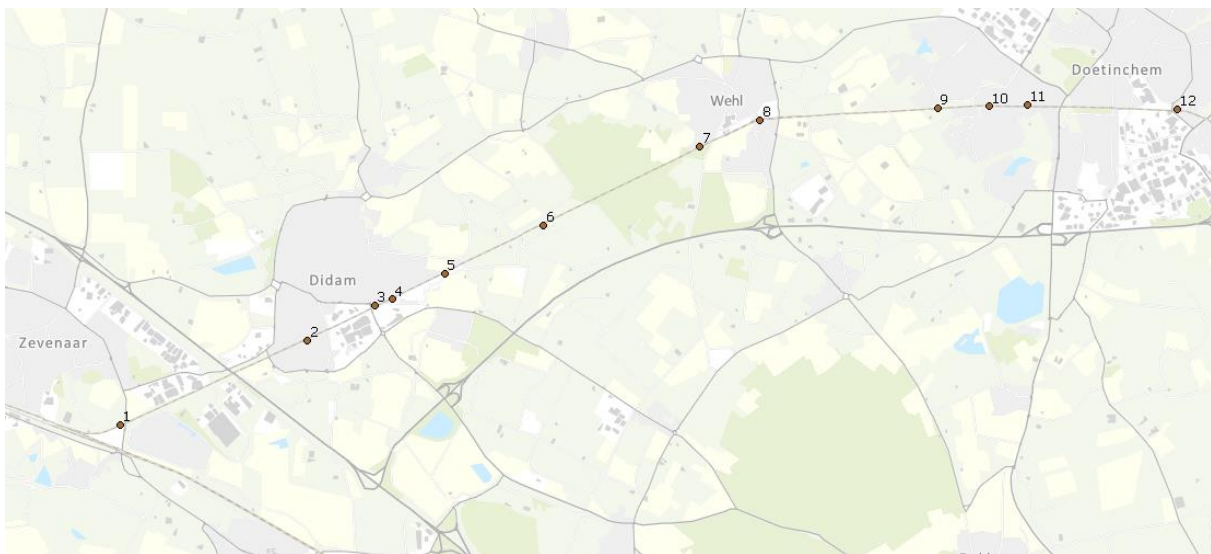
Vervolgens wordt getoetst aan de Bts, waarbij de volgende parameters worden getoetst:

1. De $V_{max,Bts}$ in de plansituatie, per treintype (in dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen doorgaande en stoppende treinen vanwege de relatief grote verschillen in trillingsterkte).
2. De V_{per} van alle treinen bij elkaar
3. De Q-waarde, bepaald door de hoogste $V_{max,Bts}$ in de plansituatie te delen door de $V_{max,Bts}$ van hetzelfde meetpunt in de referentiesituatie 2015, eventueel gecorrigeerd voor de bijbehorende R_Q -waarde.

Bijlage V. Resultaten maaiveldmetingen (t.b.v. stap 1)

Voor het in dit trillingonderzoek gebruikte nauwkeurige rekenmodel (zie Bijlage I) zijn maaiveldmetingen uitgevoerd aan de bodemopbouw en treinpassages op 12 locaties. De locaties van de uitgevoerde maaiveldmetingen zijn weergegeven in Figuur 23, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in deze bijlage.

Bij de metingen is gebruik gemaakt van een aantal sensoren op verschillende afstanden tot de sporen. Door per treinpassage het tertsbandspectrum van de trillingen te registreren, is per locatie een gemiddeld tertsbandspectrum van de passerende treinen vastgesteld.



Figuur 23: Locaties van maaiveldmetingen, de nummers corresponderen met de paragraafnummers

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

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

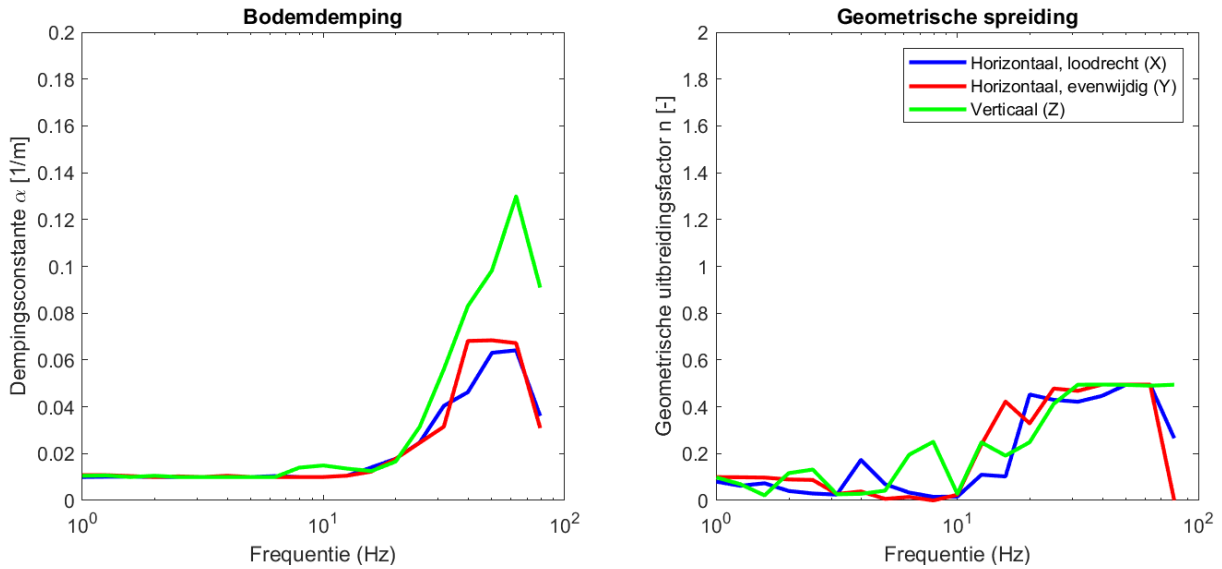
Hierin is $V(r, f)$ de trillingsterkte op een willekeurige afstand r tot de trillingbron, r_0 een referentieafstand, n een frequentieafhankelijke factor die de geometrische uitbreiding van de trillingen beschrijft en α een frequentieafhankelijke factor die de bodemdemping beschrijft. Met behulp van de kleinstkwadratenmethode is deze relatie voor elke frequentie in het tertsbandspectrum te bepalen.

Resultaat van de maaiveldmetingen is per locatie een dempingsconstante, een geometrische uitbreidingsfactor en een trillingspectrum op verschillende afstanden tot het spoor. De resultaten per meetlocatie zijn weergegeven in de volgende subparagrafen.

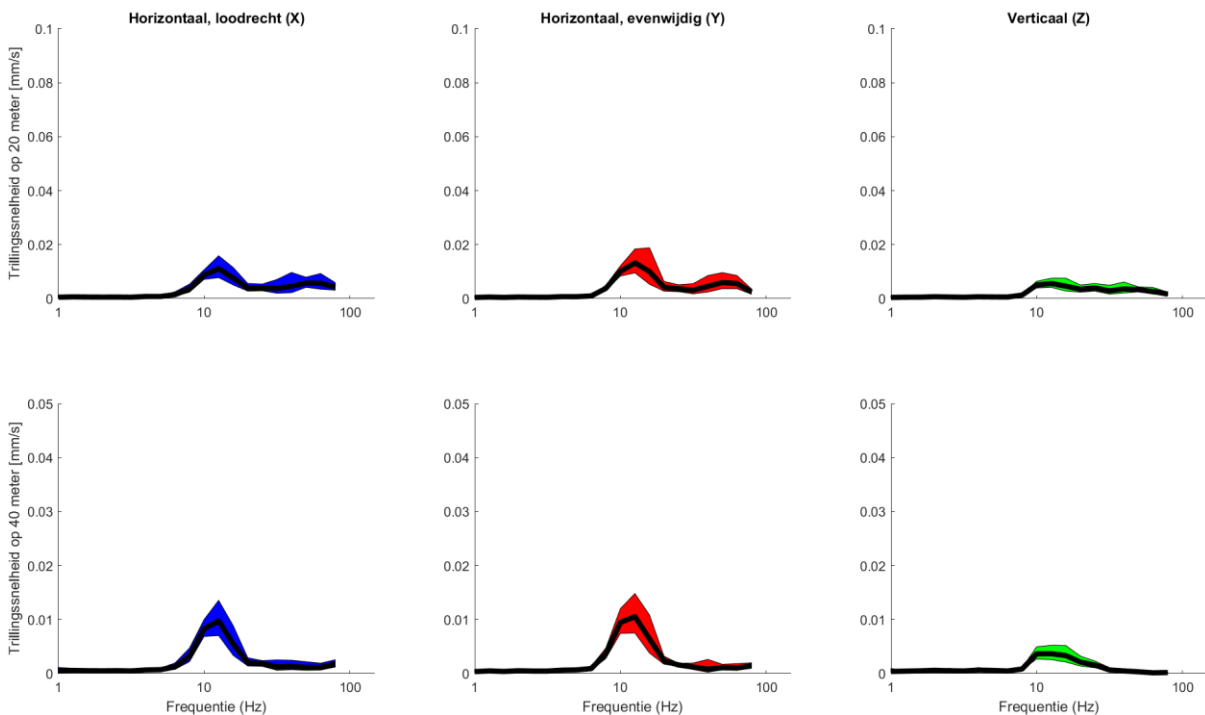
Op basis van de resultaten van de maaiveldmetingen en de grondopbouw (zie Bijlage III) is een bodemmodel gemaakt dat zo nauwkeurig mogelijk de trillingen en de uitdemping als functie van de afstand beschrijft in het gehele studiegebied.

V.1 Zevenaar Hengelder 2

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 24. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 25.



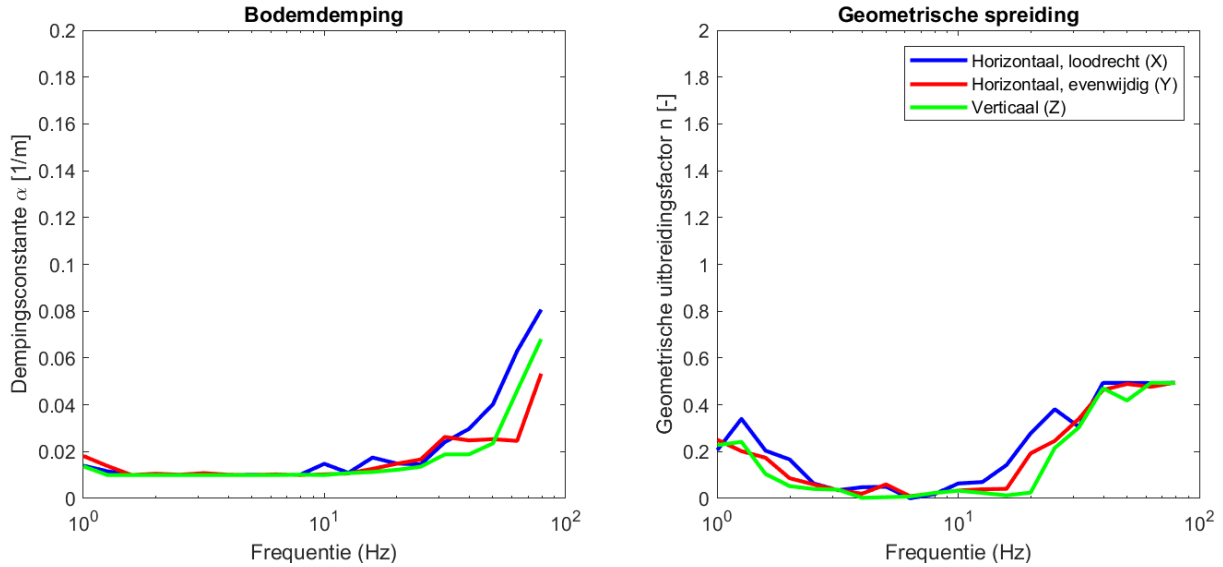
Figuur 24: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



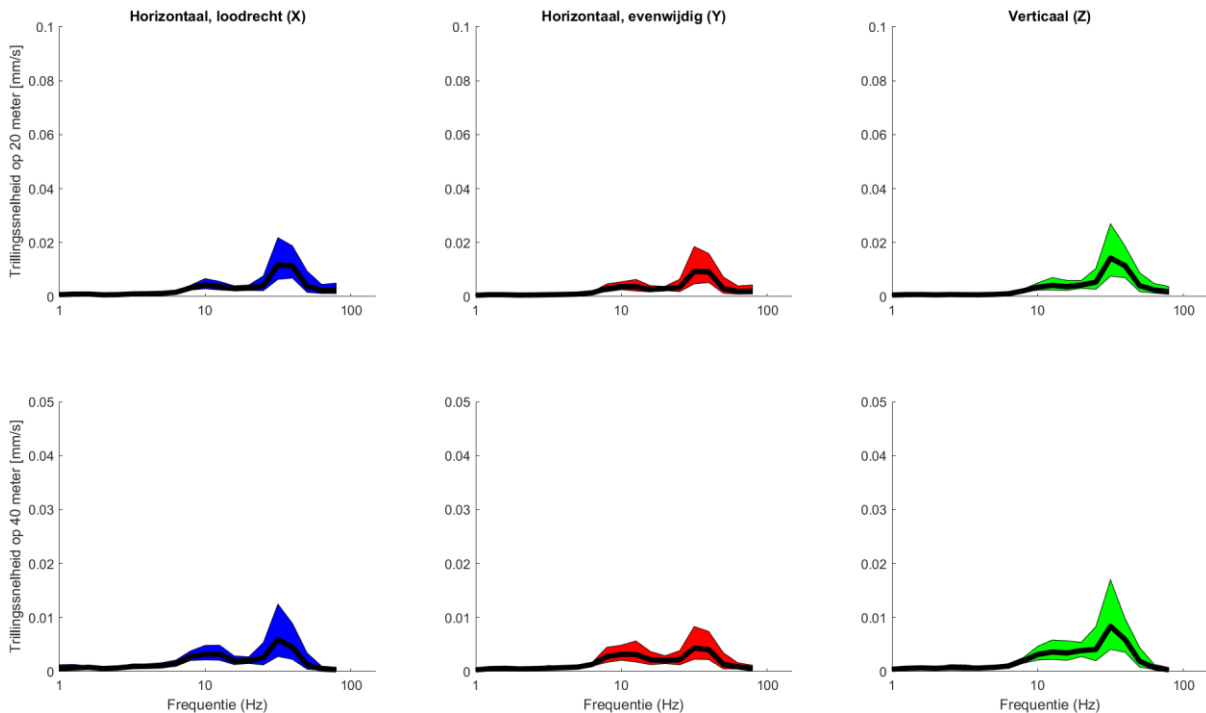
Figuur 25: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.2 Didam – Groote Huilakker 4

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 26. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 27.



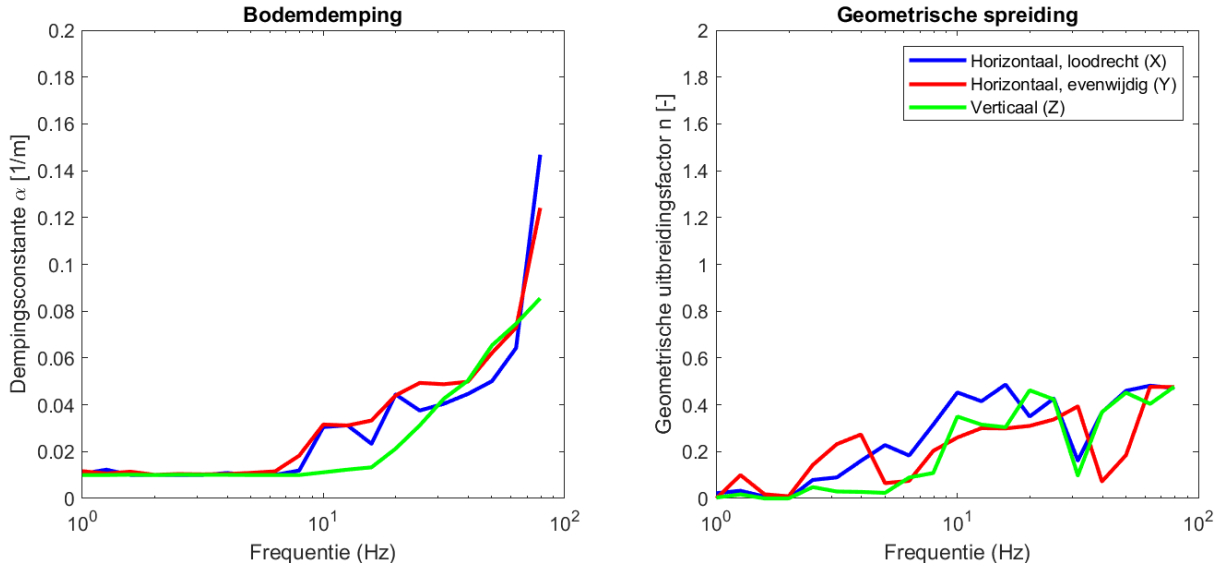
Figuur 26: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



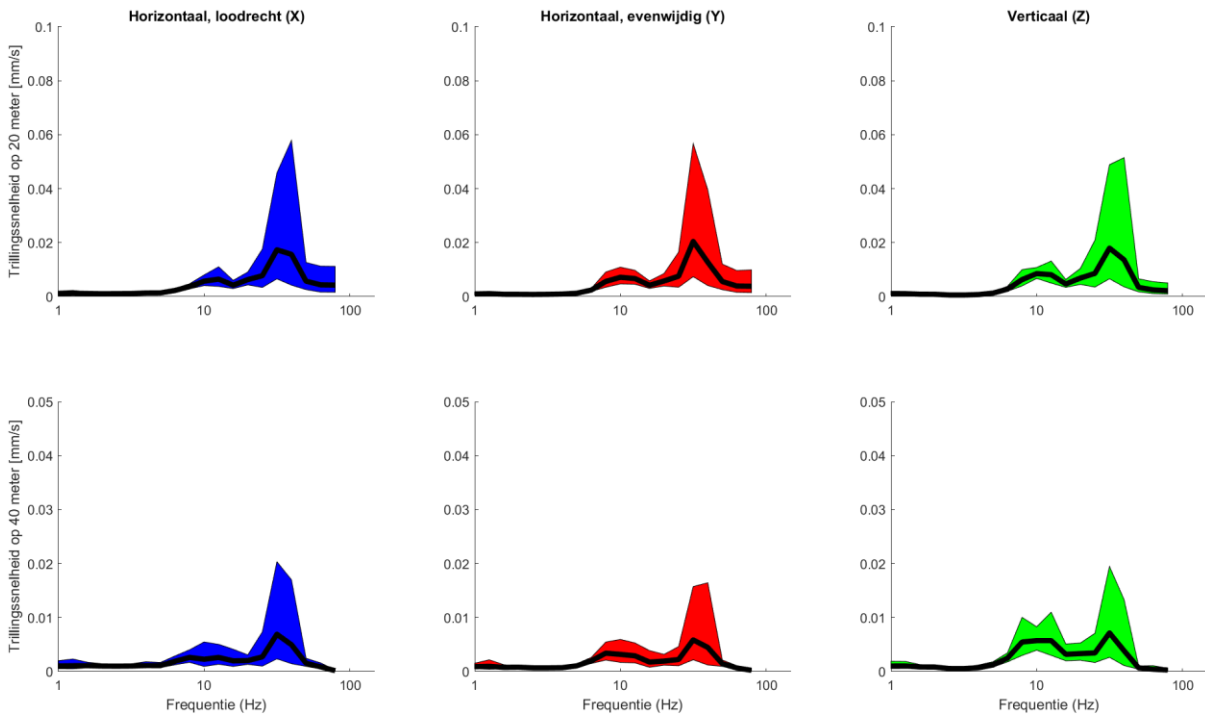
Figuur 27: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.3 Didam – Wilhelminastraat 118

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 28. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 29.



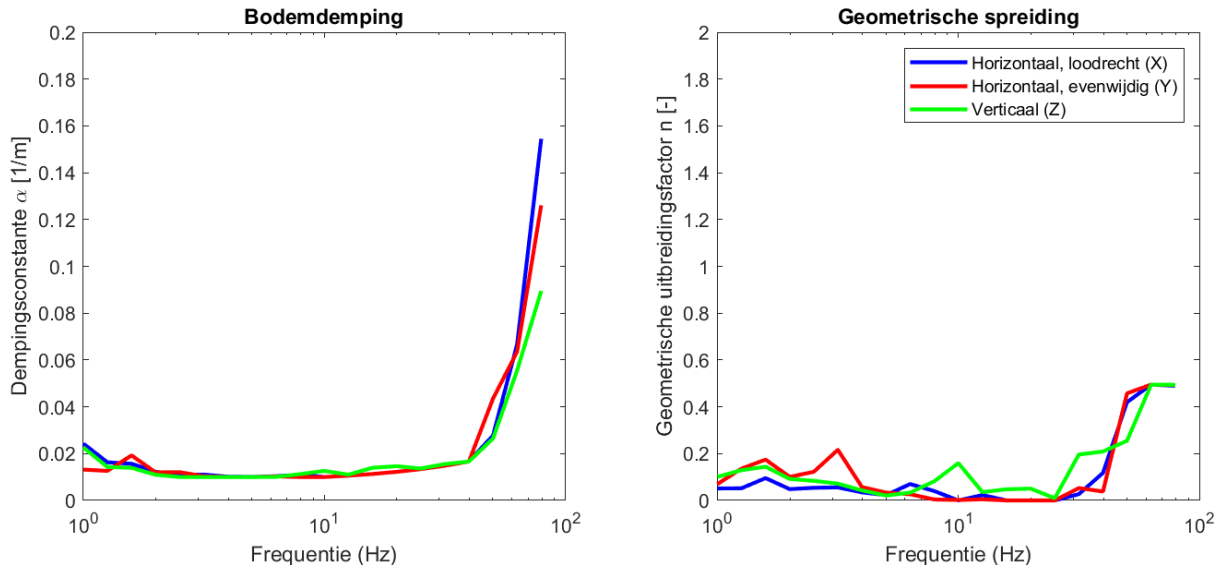
Figuur 28: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



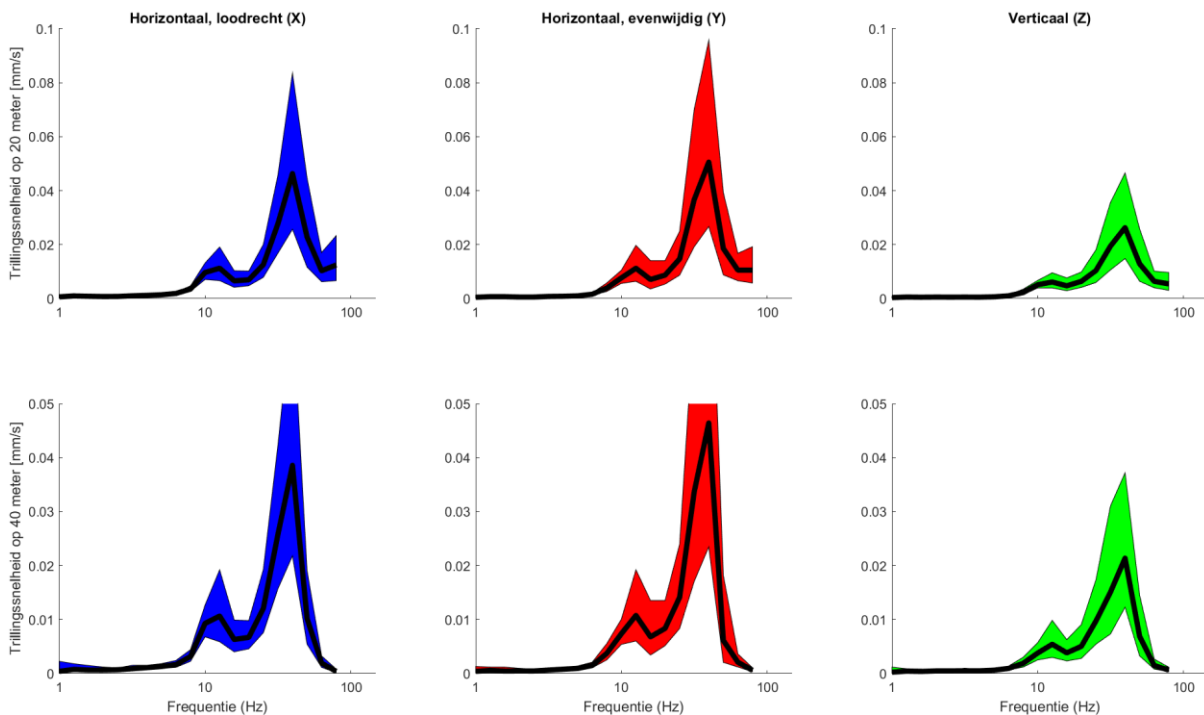
Figuur 29: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.4 Didam – Oude Beekseweg 47

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 30. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 31.



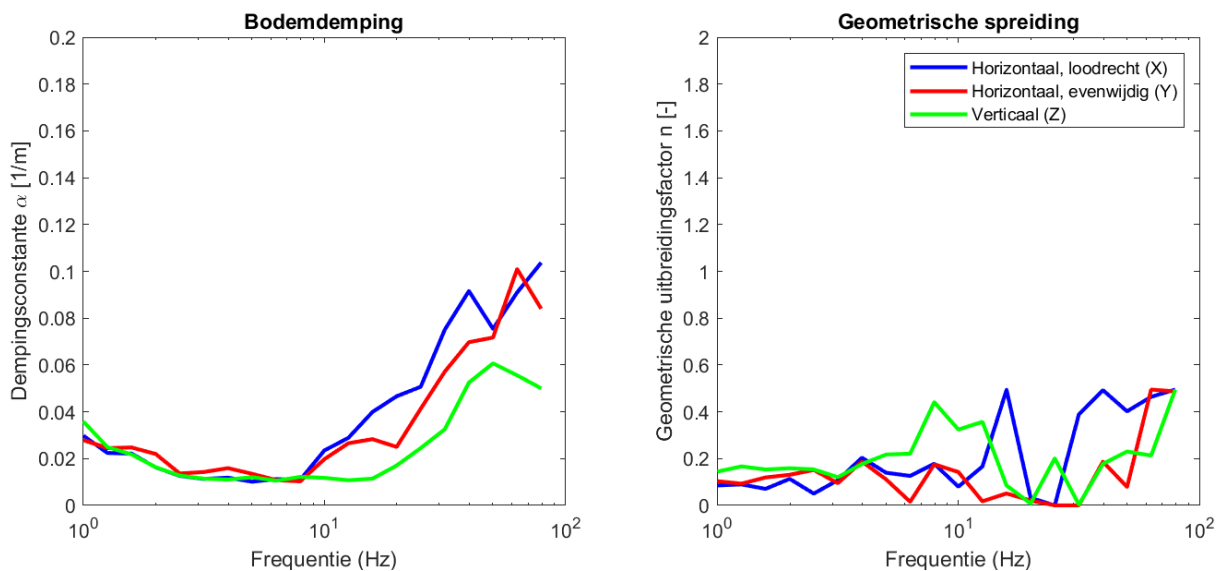
Figuur 30: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



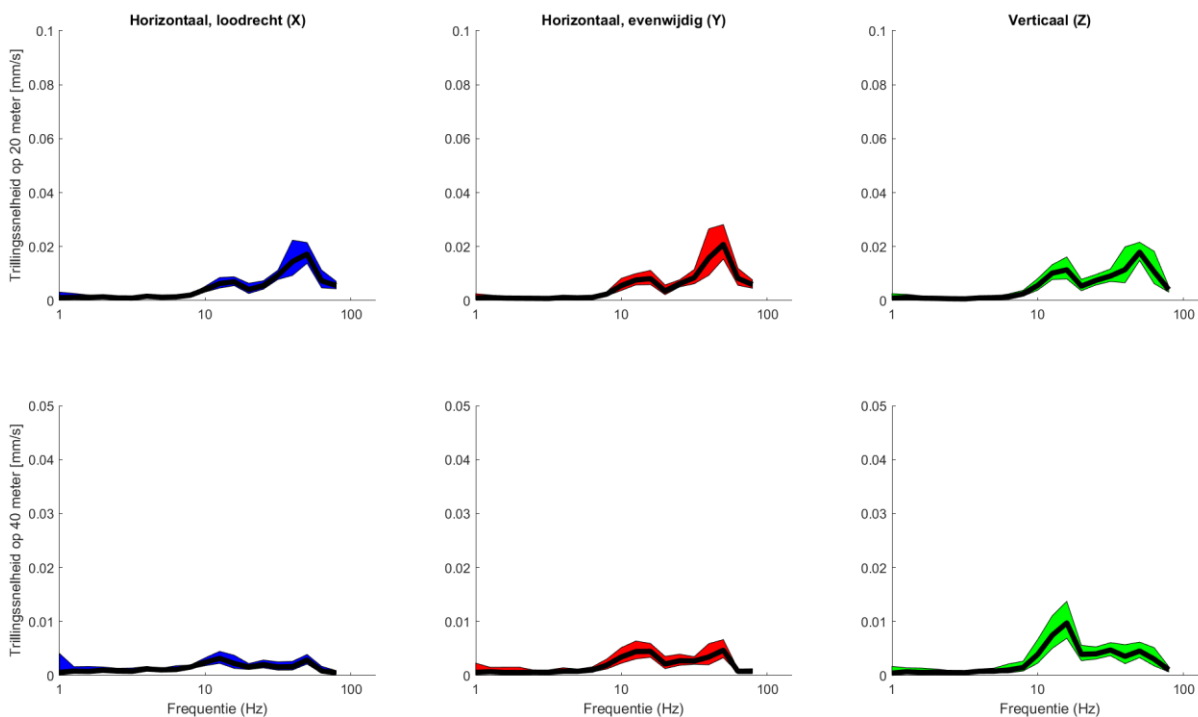
Figuur 31: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.5 Didam – Lange Klauwenhof 11

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 32. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 33.



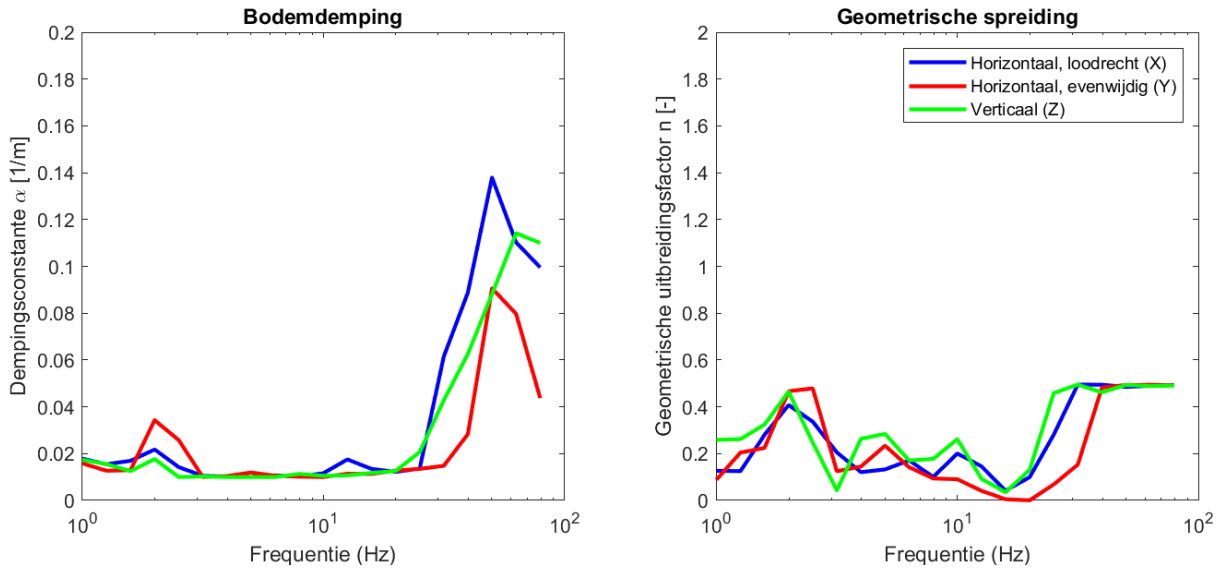
Figuur 32: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



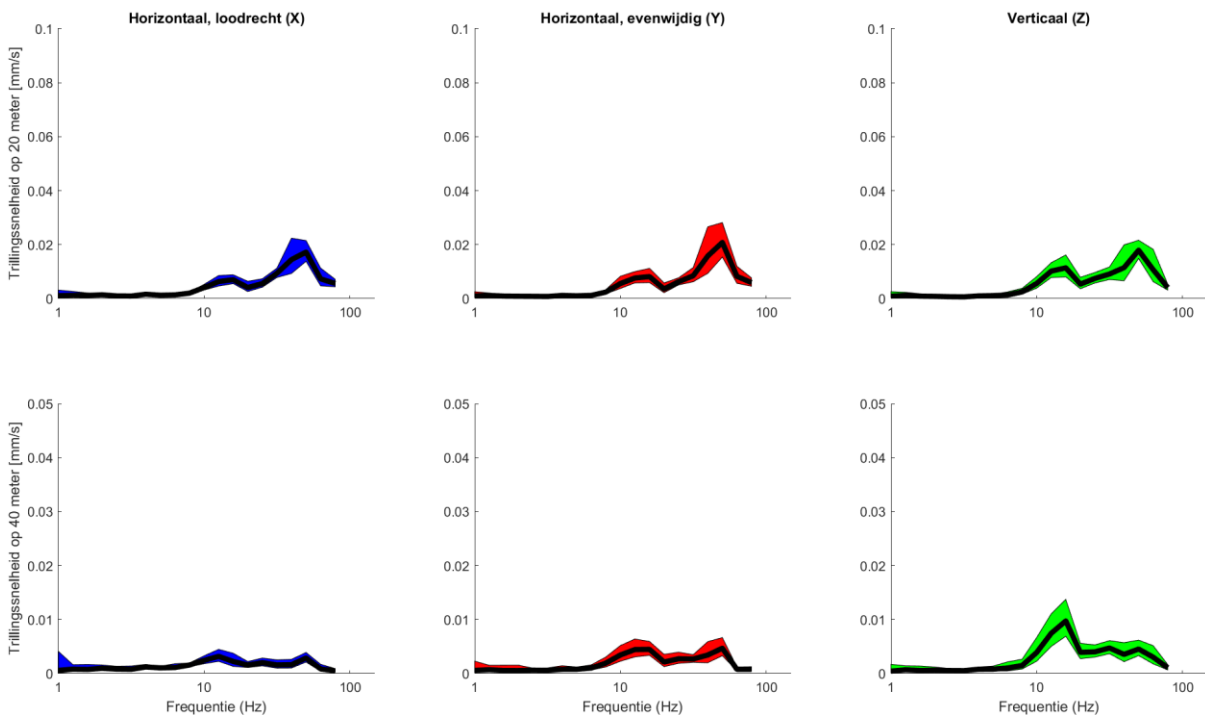
Figuur 33: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.6 Didam – Toppegaiweg 2

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 34. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 35.



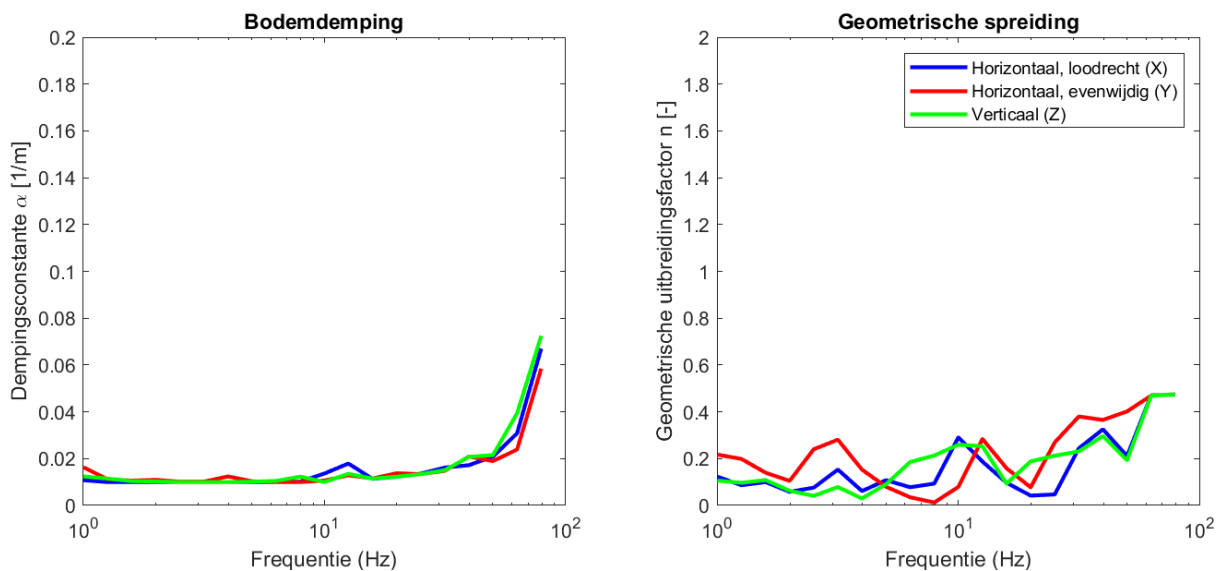
Figuur 34: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



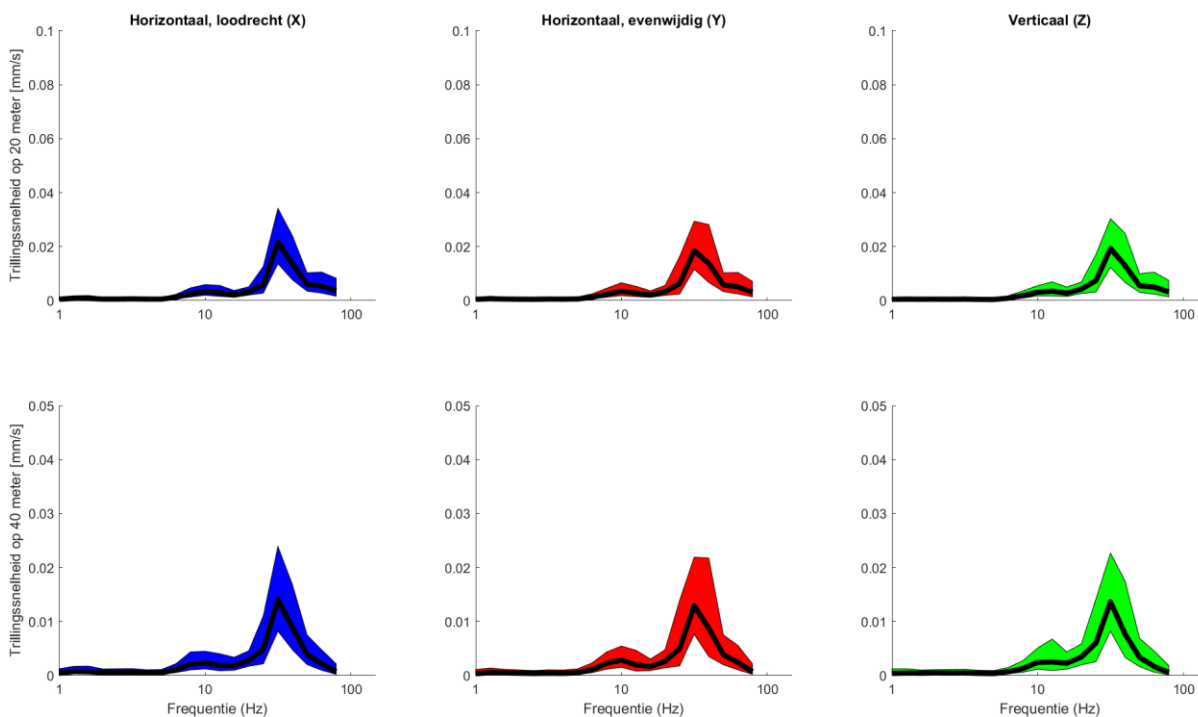
Figuur 35: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.7 Wehl – Schopperdenscheweg 91

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 36. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 37.



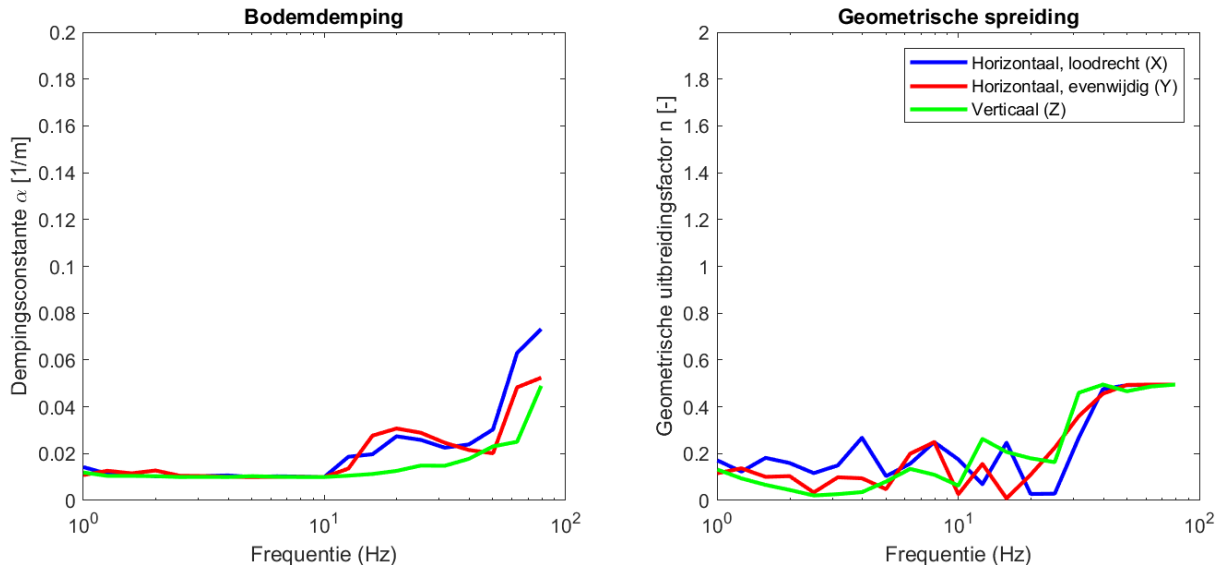
Figuur 36: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



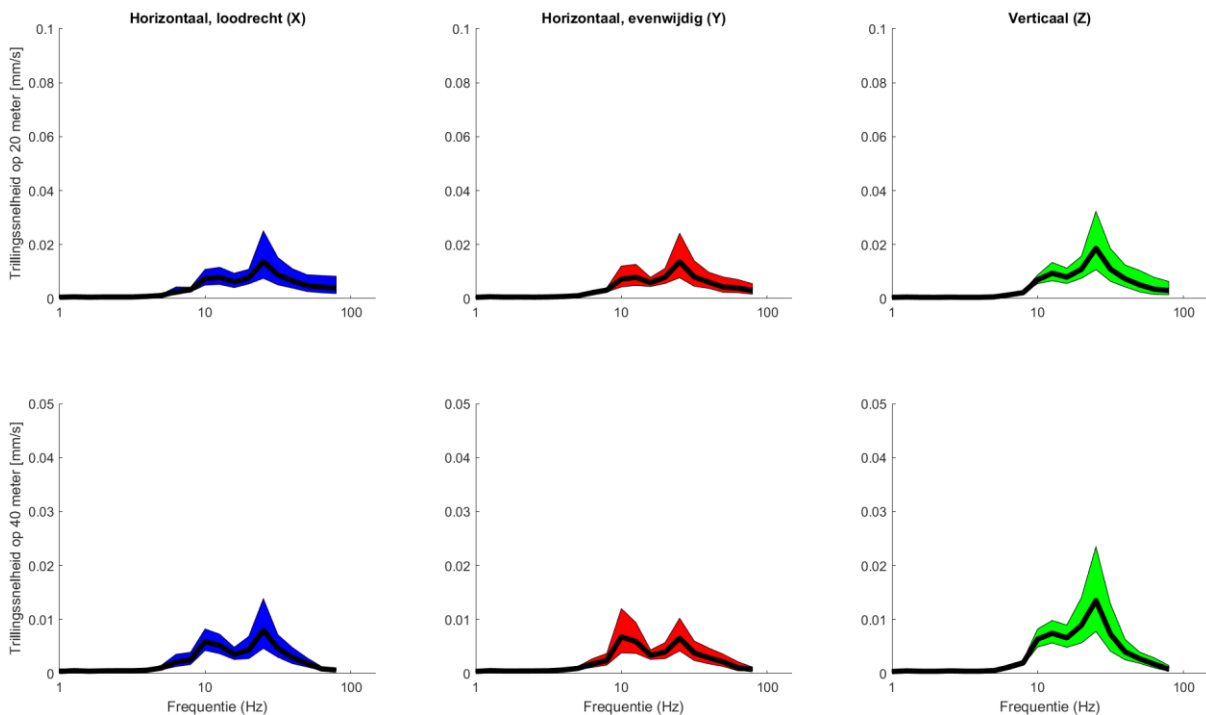
Figuur 37: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.8 Wehl – Beste Vaderskamp 19

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 38. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 39.



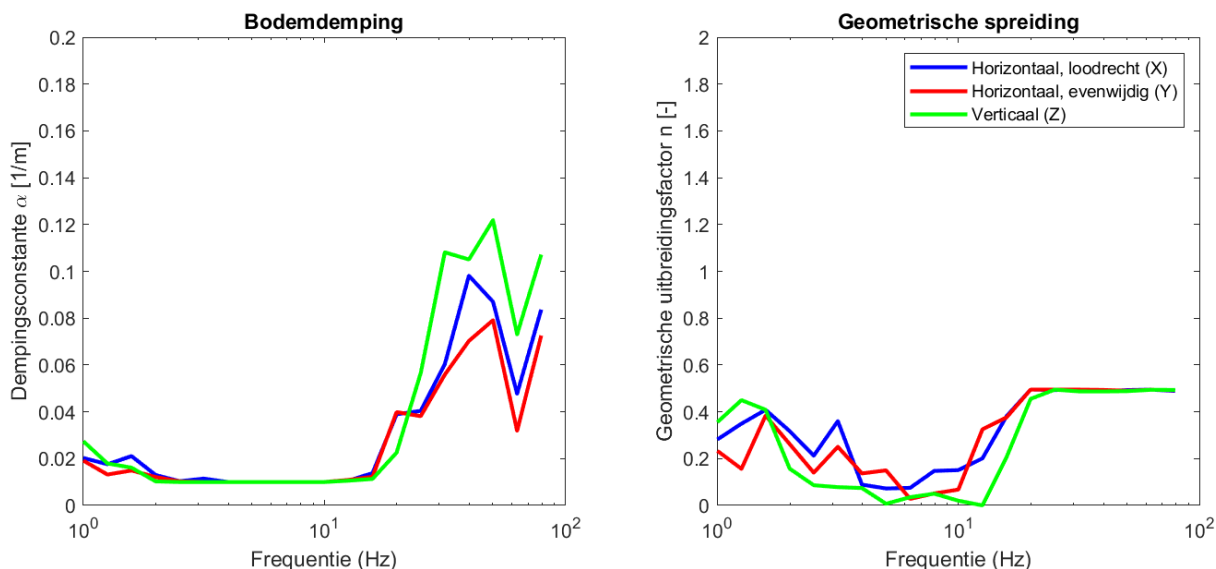
Figuur 38: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



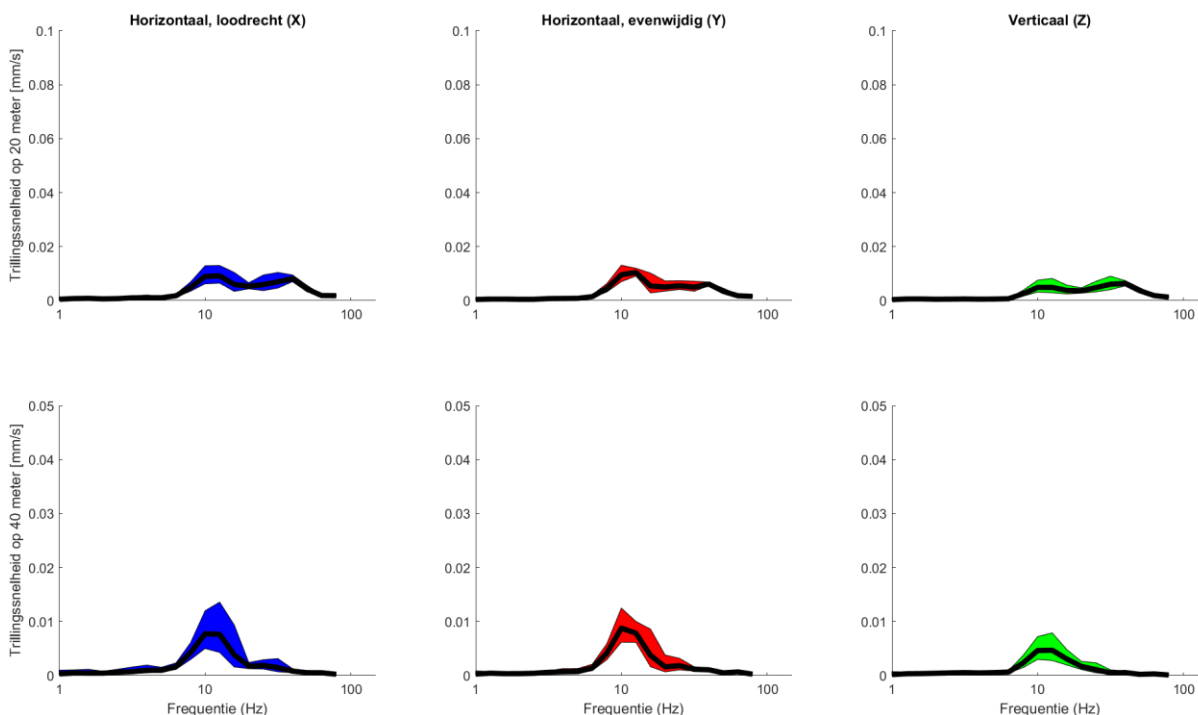
Figuur 39: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.9 Doetinchem – Gentiaanveld 21

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 40. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 41.



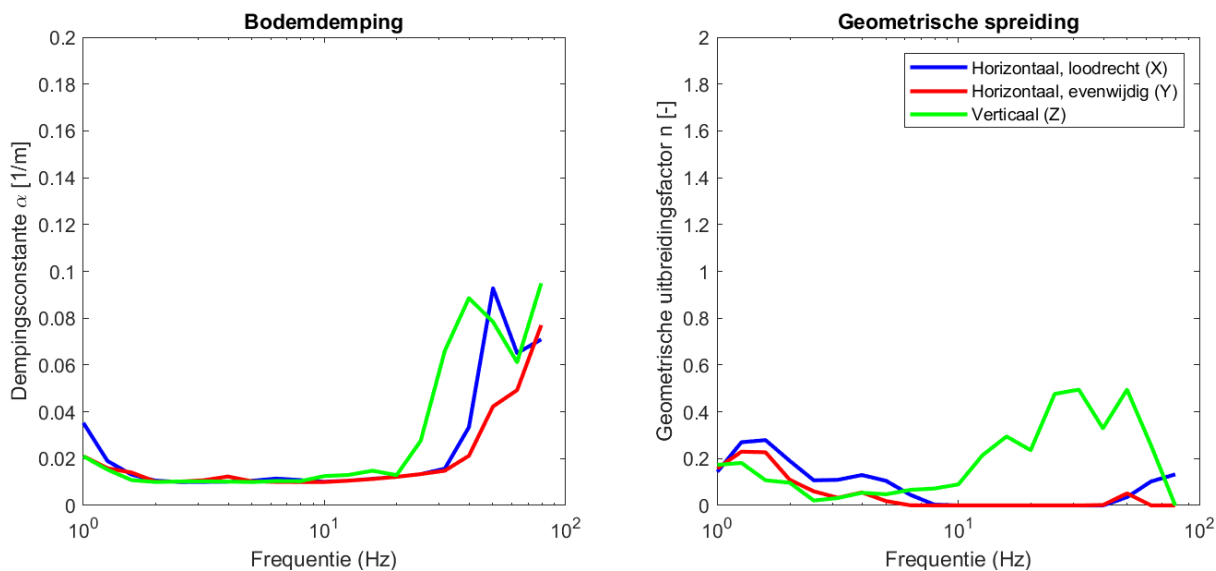
Figuur 40: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



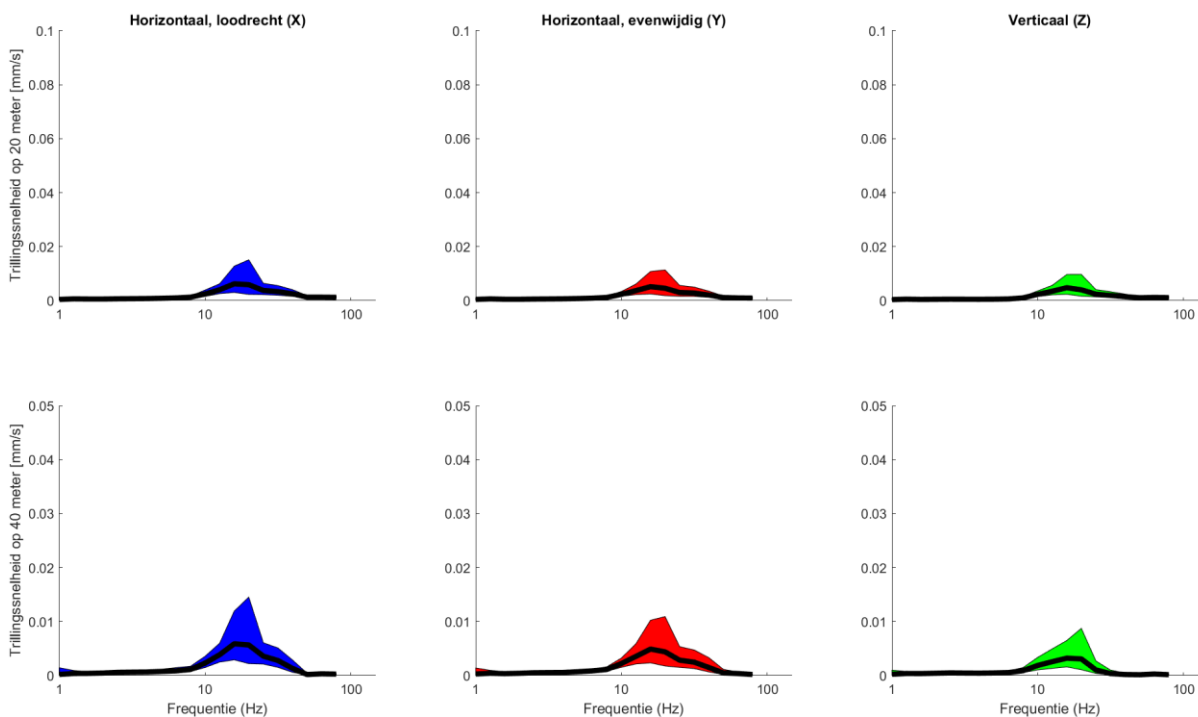
Figuur 41: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.10 Doetinchem – Hof van Edinburgh 51

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 42. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 43.



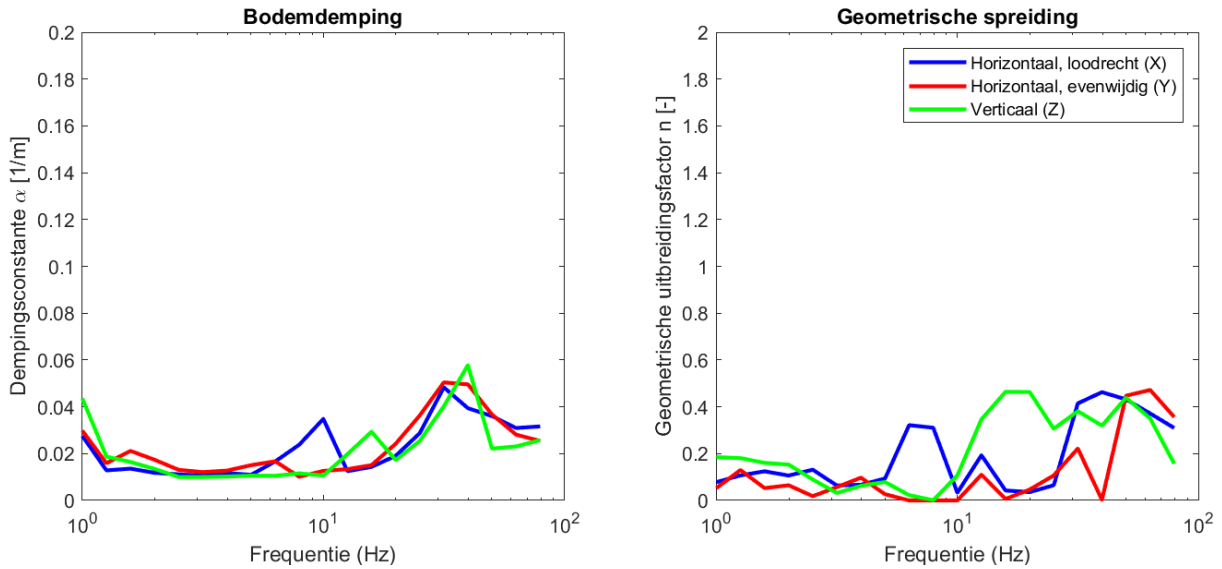
Figuur 42: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



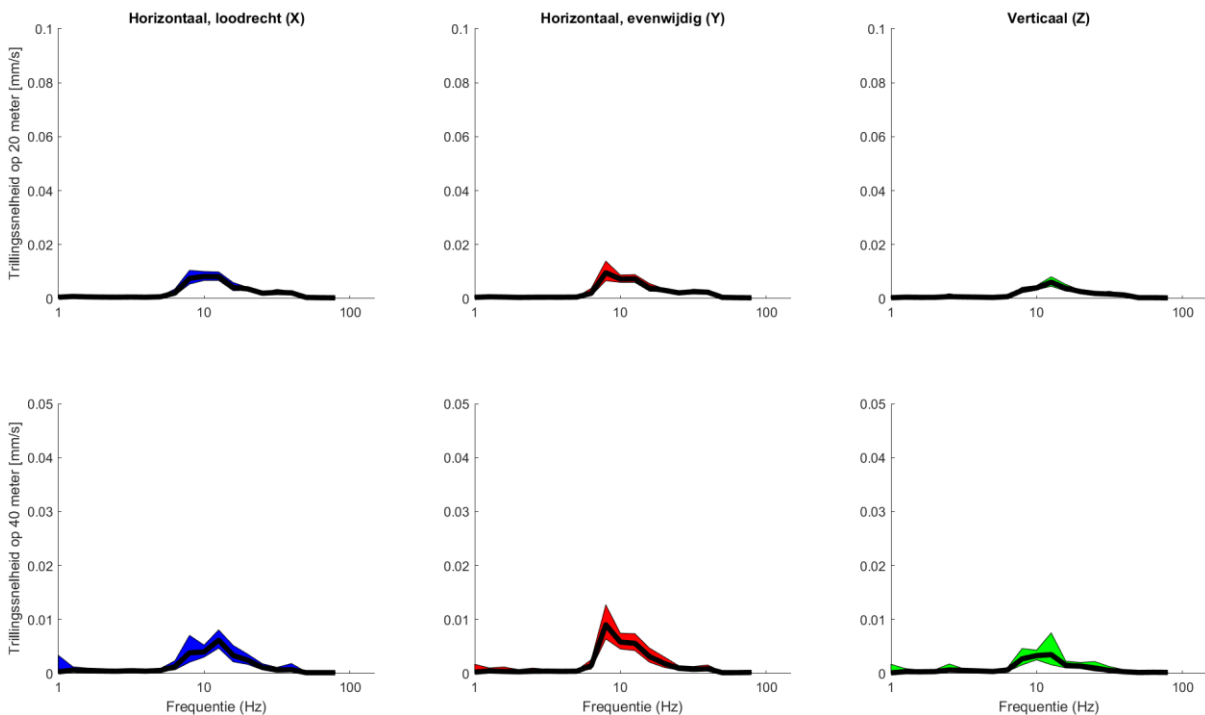
Figuur 43: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.11 Doetinchem – Uijlenbroeklaan 61

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 44. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 45.



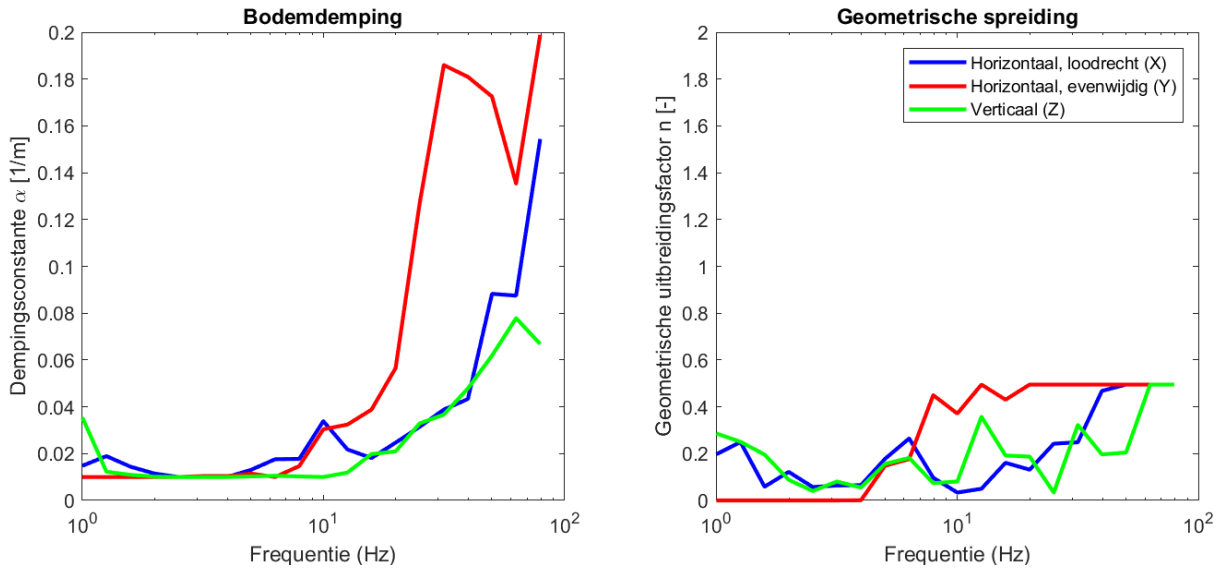
Figuur 44: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



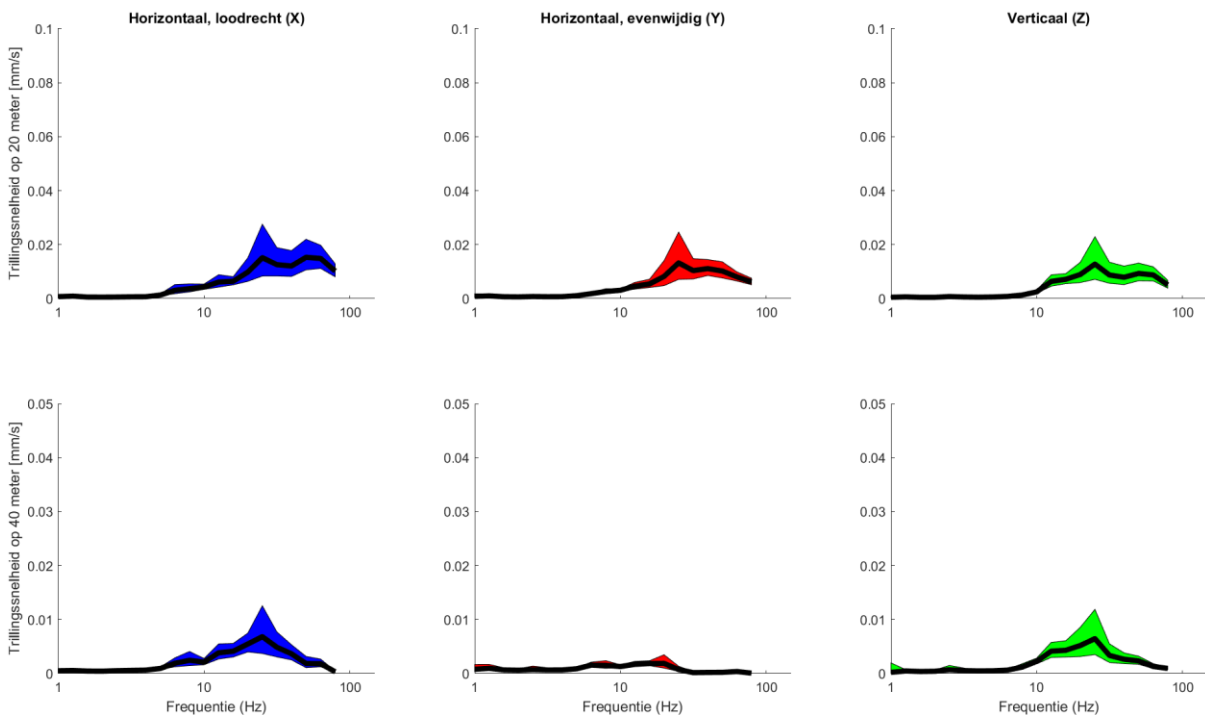
Figuur 45: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.12 Doetinchem – Spoorstraat 1

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 46. De trillingspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 47.



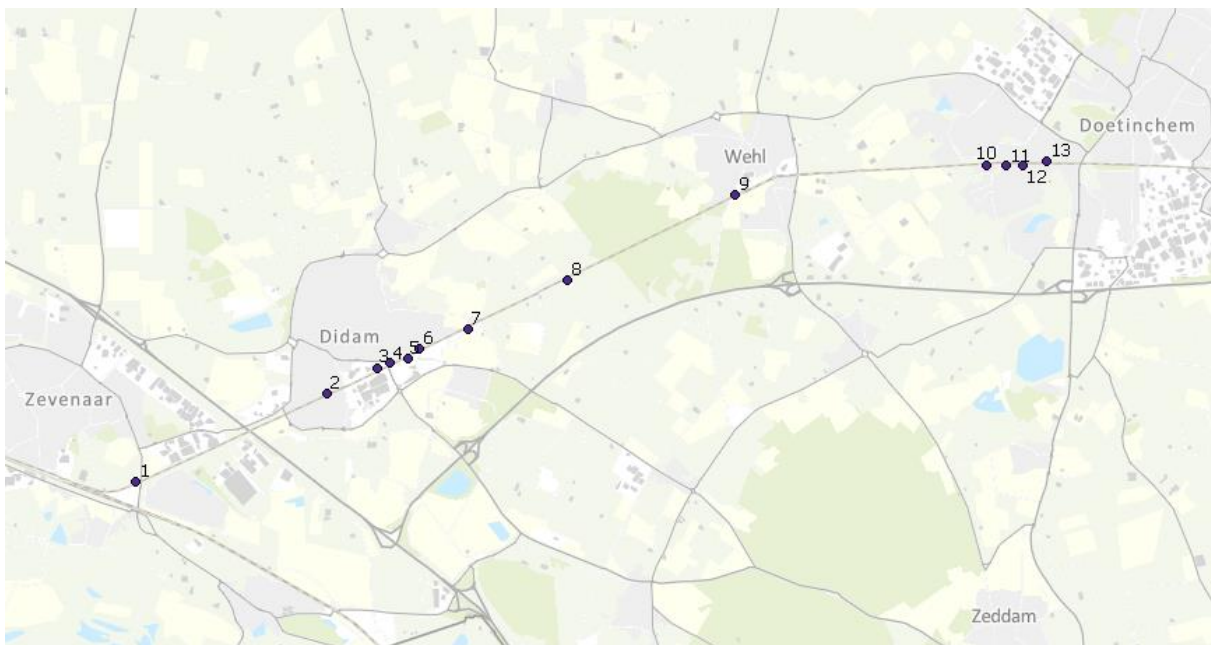
Figuur 46: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



Figuur 47: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

Bijlage VI. Resultaten metingen woningen (t.b.v. stap 2)

In de tweede stap van het trillingonderzoek zijn trillingmetingen uitgevoerd in 13 gebouwen waar op basis van VibraDyna-berekeningen uit stap 1 van het onderzoek (mogelijk) niet wordt voldaan aan de Bts of een groot toename van het trillingniveau in de plansituatie heeft (groter dan 1.3). De locaties zijn gekozen op basis van onder meer variaties in gebouwtype, bodemopbouw, type constructie en verwachte trillingniveaus. De locaties van de metingen zijn weergegeven in Figuur 48, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in Bijlage VII.



Figuur 48 Uitgevoerde metingen in gebouwen, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in Bijlage VII

VI.1 Onderzoeksaanpak

In dit onderzoek is de volgende onderzoeksaanpak gehanteerd:

1. Er is een trillingmeting uitgevoerd in gebouwen op representatieve locaties in de omgeving van gebouwen waar op basis van de VibraDyna-berekening een overschrijding van het beoordelingskader wordt verwacht, en waar bewoners wilden meewerken aan het onderzoek. De meetlocaties zijn geselecteerd op basis van ligging ten opzichte van het spoor, gebouwkenmerken en de afstand tot wissels en andere trillingbronnen in de spoorbaan. De metingen hebben een meetduur van bij voorkeur een week, om voldoende trillingen van treinen te registreren. Van elke meetlocatie zijn alle meetwaarden (zowel treinen als andere trillingbronnen) geregistreerd.
2. Voor alle locaties is een berekening voor de referentiesituatie 2015, de huidige situatie en de plansituatie gemaakt aan de hand van de resultaten van de meting. Per trein is een berekening gemaakt van de trillingsterkte in de referentiesituatie 2015, de huidige situatie en de plansituatie, aan de hand van de sporenlay-out, de treinsnelheden, de taludgeometrie en de baanopbouw in de verschillende situaties. Alle factoren met frequentieafhankelijkheid worden hierin frequentieafhankelijk verrekend.
3. De resultaten van de prognose worden beoordeeld op de streef- en grenswaarden, die volgen uit de referentiesituatie 2015 (conform de Bts).

Het prognosemodel is beschreven in de volgende paragraaf.

VI.2 Prognosemodel

De trillingsterkte op een bepaalde positie wordt bepaald door een groot aantal factoren. In het rekenmodel worden de volgende parameters onderscheiden:

- De treinsnelheid. De trillingsterkte schaalt als een machtsfunctie met de treinsnelheid.
- Invloed van wissels en overwegen. Deze invloed neemt af met de afstand tot de wissel of overweg.
- Wijzigingen in spoorligging (sporen komen verder weg of dichterbij te liggen).

Overige factoren, zoals onderbouw, kunstwerken, aslast, afvering, wielonrondheid en overdracht in de woning tussen fundering en vloerniveau wijzigen niet bij dit project. De invloed hiervan is daarom niet meegenomen.

In het prognosemodel worden alle wijzigingen relatief (d.w.z. ten opzichte van de metingen) beschouwd, hierdoor is de betrouwbaarheid van de berekeningen groot. Alle wijzigingen worden als toeslagfactor ten opzichte van de gemeten waarde toegepast.

De invloed van de wijzigingen is onderzocht met behulp van metingen en modellen. Toeslagfactoren voor de uitdamping van de bodem, de geometriewijziging en een eventuele wijziging in baanopbouw zijn locatiespecifiek (zie Bijlage V), alle overige factoren zijn universeel toepasbaar. In de volgende subparagrafen wordt de invloed van de factoren nader toegelicht.

VI.2.1 Invloed snelheidswijziging

Door wijzigingen in seinplaatsing en posities van wissels veranderen de snelheidsprofielen van de doorgaande treinen (RegioExpres). Om de invloed van de snelheid op de trillingsterkte vast te stellen is gebruik gemaakt van metingen op meerdere locaties in Nederland. De relatie tussen snelheid en trillingsterkte kent een machtsverband tot snelheden rond de kritische treinsnelheid. De kritische treinsnelheid is afhankelijk van de bodem, maar ligt in het studiegebied ruim boven de rijsnelheden van de treinen.

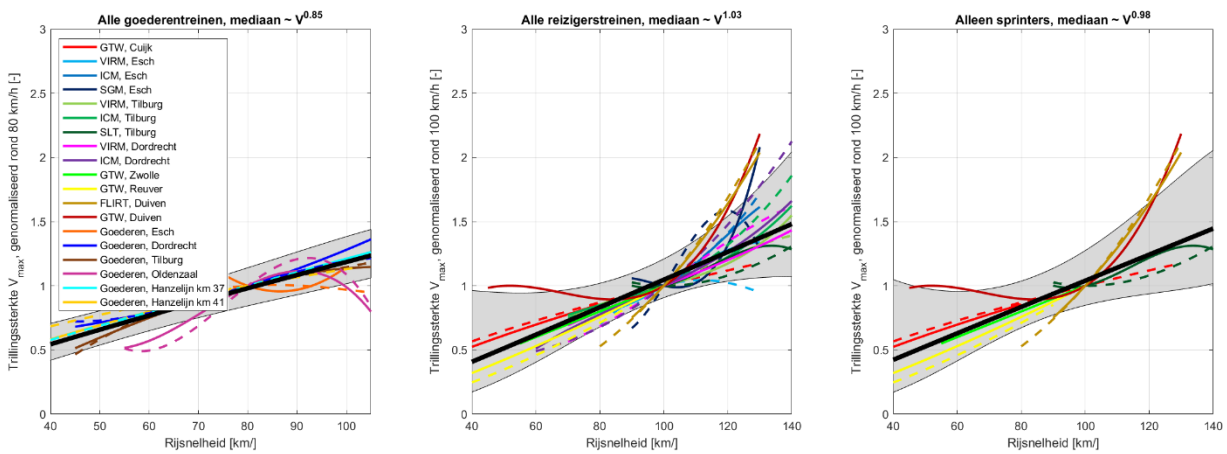
Om een betrouwbare snelheidsrelatie vast te stellen is een aantal onderzoeken geraadpleegd waarbij metingen zijn verricht aan treinen met voldoende spreiding in de rijsnelheid. De volgende onderzoeken zijn bruikbaar om een snelheidsrelatie vast te stellen voor een aantal treintypes:

- [1] *Landelijk onderzoek gedifferentieerd rijden (TN 105394), Onderzoek effect rijsnelheid goederentreinen op trillingopwekking in de bodem*, DGMR, 15 december 2017
- [2] *Trillingonderzoek OTB Zwolle-Herfte*, Movares, 4 december 2015
- [3] *Metingen langs de Maaslijn in Cuijk en in Reuver*, DPA, 2016
- [4] *Metingen langs de Hanzelijn*, Movares, mei en juni 2012
- [5] *Metingen in Duiven*, Movares, augustus 2020

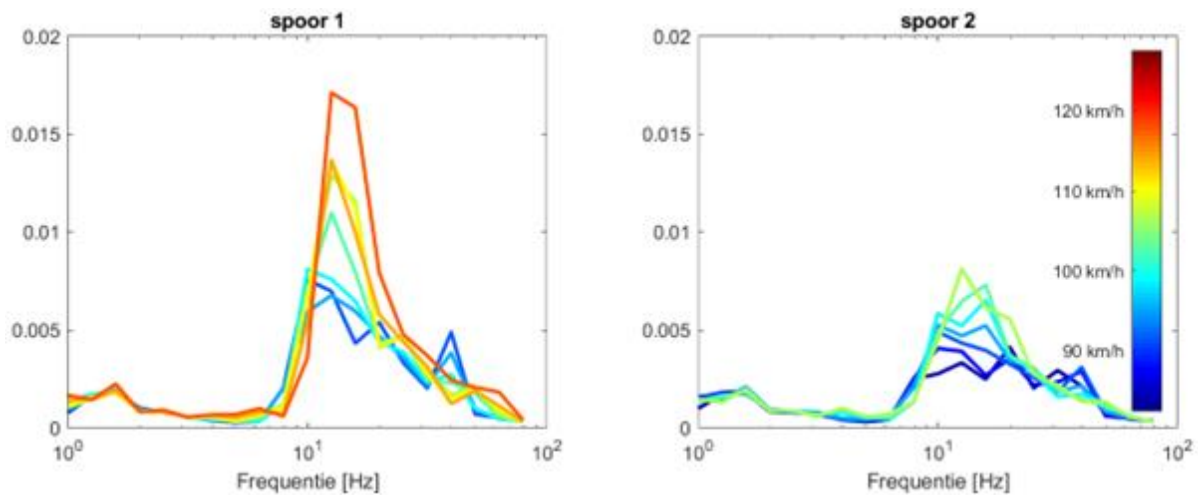
De in de onderzoeken gebruikte snelheidsrelaties zijn weergegeven in Figuur 49, waarbij deze voor goederentreinen zijn genormaliseerd rond 80 km/h (rond die snelheid is de betrouwbaarheid van de data het grootst), en voor de overige treinen rond 100 km/h. Vervolgens is een machtsfunctie door de resultaten gefit, deze is voor alle treintypes ongeveer recht evenredig ($\sim V^1$) met de rijsnelheid in km/h. De in Figuur 49 weergegeven snelheidsrelaties zijn gebruikt in dit onderzoek.

Tenslotte is bij meting [5] ook gekeken naar de invloed van de snelheid op de trillingfrequenties. Hiervoor zijn de treinen in snelheidsklassen ingedeeld voor beide sporen, zie Figuur 50. In deze figuur is voor de GTW's op spoor 1 zichtbaar dat bij toenemende rijsnelheid de piek van het trillingspectrum wat naar hogere frequenties verschuift, en dat de piek daarnaast toeneemt. Doordat er slechts beperkt sprake is

van verschuiving van de frequenties, is een scalaire snelheidsrelatie (zoals in Figuur 49), een voldoende betrouwbare methode om de invloed van een snelheidsverhoging vast te stellen.



Figuur 49: Snelheidsrelaties



Figuur 50: Trillingspectrum en rijsnelheid in Duiven (meting [5])

VI.2.2 Invloed wissels

De invloed van wissels is in kaart gebracht door op een groot aantal locaties waar wissels in de nabijheid liggen, de gemeten resultaten van sporen zonder wissels te vergelijken met de resultaten van sporen met wissels. Zodoende kan de invloed van wissels worden gemodelleerd als toeslag op het trillingsignaal van een doorgaande trein. Voor overwegen is een identieke aanpak gebruikt, hiervoor is ook gebruik gemaakt van een aantal maaiveldmetingen die in het kader van dit project zijn uitgevoerd in de nabijheid van overwegen. Met name bij hogere frequenties zorgen wissels en overwegen voor een toename van de trillingen.

VI.2.3 Invloed spoorafstand

De overdracht van trillingen door de bodem kan worden beschreven met behulp van de Barkanvergelijking. De Barkanvergelijking wordt in het prognosemodel gebruikt om relatieve veranderingen van sporen en wissels te beschrijven. Omdat het op de meeste locaties om kleine veranderingen gaat, heeft de Barkanvergelijking en de nauwkeurigheid van de parameters daarin slechts een beperkte invloed op het eindresultaat. De parameters in de Barkanvergelijking zijn bepaald uit valproeven en metingen aan treinpassages op maaiveldniveau. Meer gedetailleerde informatie over de gebruikte bodemparameters is opgenomen in Bijlage V.

VI.2.4 Invloed wijziging in treinintensiteit

In het prognosemodel wordt voor elke trein de trillingsterkte in de plansituatie bepaald op basis van het trillingsignaal uit de metingen. Als gevolg van deze aanpak wordt er gecorrigeerd voor aanpassingen in het aantal passerende treinen. De berekende waarde van V_{per} uit de prognose dient daarom nog te worden gecorrigeerd voor wijzigingen in treinintensiteit. Een verhoging van de treinintensiteit leidt tot een hogere waarde van de gemiddelde trillingsterkte V_{per} . De nieuwe waarde van V_{per} kan worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$V_{per,nieuw} = V_{per,nieuw,ongecorrigeerd} \cdot \sqrt{\frac{n_{nieuw}}{n_{oud}}}$$

Hierbij is n de treinintensiteit in treinen per periode (dag, avond, nacht). $V_{per,nieuw,ongecorrigeerd}$ is de gemiddelde trillingsterkte zoals deze volgt uit de prognoses, deze waarde is wel gecorrigeerd voor wijzigingen in aantal treinen.

VI.2.5 Bepaling gewijzigde trillingsterkte

Met behulp van de verschillende toeslagfactoren is de trillingsterkte per trein in de verschillende situaties bepaald vanuit de metingen.

VI.3 Resultaten

De resultaten van de metingen, inclusief berekeningen voor de plansituatie, zijn weergegeven in Tabel 21. De verwerkingsprocedure van de metingen is opgenomen in Bijlage IV. De berekeningen hebben plaatsgevonden vanuit de metingen die zijn uitgevoerd in 2023, zie Bijlage VII voor meer details. Per meetlocatie zijn achtereenvolgens weergegeven:

- de berekende trillingsterkte V_{max} in de referentiesituatie 2015 (Ref), dit is de V_{max} voor de stoptreinen in de situatie voor de spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam, eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R^{17} .
- de gemeten trillingsterkte V_{max} in de huidige situatie (Huidig), dit is de V_{max} voor de stoptreinen in de huidige situatie, eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R .
- de berekende trillingsterkte V_{max} voor de plansituatie (Plan), dit is de V_{max} voor het maatgevende treintype in de plansituatie (er is onderscheid gemaakt tussen de stoptreinen en de RegioExpres), eventueel gecorrigeerd voor een hoge onzekerheidswaarde R .
- de verhouding Q tussen de trillingsterkte V_{max} in de plansituatie en de referentiesituatie 2015, eventueel gecorrigeerd voor onzekerheid R in de trillingsterkte, zie Bijlage IV voor een nadere toelichting op hoe deze factor is bepaald.
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de referentiesituatie 2015
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de huidige situatie.
- de maximale waarde van de trillingintensiteit V_{per} in de plansituatie.

Zowel voor V_{max} als voor V_{per} is de maximale waarde over alle sensoren weergegeven.

Overschrijdingen van de Bts zijn **oranje** gearceerd. Op enkele locaties is de trillingsterkte van treinen zo laag dat deze conform de Bts niet kan worden vastgesteld.

¹⁷ Deze reproduceerbaarheidswaarde (in procenten) geeft aan of de datasets van de metingen en prognoses voor de verschillende situaties voldoende reproduceerbaar zijn. Conform het memo van Level Acoustics¹⁷ wordt gestreefd naar een R -waarde die niet groter is dan 10 procent. Bij de grenswaarde $A2$ in de Bts van 0.4 is de onzekerheid dan in de orde van de afrondingsfout. Voor het, door middel van een voor- en nameting, toetsen of er sprake is van een toename van meer dan 30 procent, is het ook van belang dat de onzekerheid in beide metingen niet te groot is. Door het grote aantal treinen is de R -waarde bij dit project in alle gevallen kleiner dan 10.

Tabel 21: Resultaten metingen en predicties in gebouwen. Overschrijdingen van Bts streefwaarden zijn oranje gearceerd

Meetlocatie	Trillingsterkte V_{max}				Gemiddelde trillingsterkte V_{per}		
	Ref	Huidig	Plan	Q	Ref	Huidig	Plan
Hengelder 2, Zevenaar	0.15	0.15	0.18	1.1	0.01	0.01	0.01
Turnstraat 7, Didam	0.06	0.06	0.10	1.7	<0.01	<0.01	<0.01
Parallelweg 21, Didam	0.18	0.33	0.50	2.7	0.03	0.04	0.05
Wilhelminastraat 118, Didam	0.13	0.18	0.24	1.9	<0.01	0.01	0.02
Oude Beekseweg 47, Didam	0.08	0.11	0.12	1.4	<0.01	<0.01	<0.01
Zandweg 11, Didam	0.22	0.28	0.27	1.2	0.02	0.02	0.03
Lange Klauwenhof 13, Didam	0.36	0.42	0.44	1.2	0.04	0.04	0.05
Toppegaiweg 4, Didam	0.23	0.28	0.32	1.4	0.02	0.03	0.04
Beekseweg 39, Wehl	0.23	0.27	0.25	1.1	0.02	0.03	0.03
Hof v Cambridge 42, Doetinchem	<0.05	<0.05	<0.05	n.v.t.	<0.01	<0.01	<0.01
Hof v Edinburgh 59, Doetinchem	0.07	0.07	0.13	1.7	0.01	0.01	0.01
Hof v Edinburgh 15, Doetinchem	<0.05	<0.05	<0.05	n.v.t.	<0.01	<0.01	<0.01
Uijenbroeklaan 61, Doetinchem	0.08	0.08	0.09	1.1	<0.01	<0.01	<0.01

VI.4 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van de prognoses in dit onderzoek is afhankelijk van een aantal aspecten:

- De betrouwbaarheid van de meting. Alleen bij het meten van voldoende treinpassages is de meting, en daarmee ook de prognose, voldoende betrouwbaar. De betrouwbaarheid van de meting wordt in dit onderzoek aangegeven middels een zogenaamde *R*- of reproduceerbaarheidswaarde. Een *R*-waarde van kleiner dan 10 procent impliceert een goed reproduceerbare meting, de resultaten van een tweede meting zullen maximaal 10 procent afwijken van de gepresenteerde meetresultaten. De betrouwbaarheid van de meting wordt meegenomen in de beoordeling;
- De betrouwbaarheid van de diverse toeslagfactoren voor de wijzigingen ten gevolge van het project. De belangrijkste wijzigingen zijn:
 - Snelheidsverandering, met name rond stations. Op basis van metingen op andere locaties in Nederland is een zo betrouwbaar mogelijke snelheidsrelatie gehanteerd voor dit onderzoek. De beschikbare metingen laten zien dat er voor treinen van het type GTW relatief weinig variatie is in deze snelheidsrelatie, zodat de kans op een onderschatting van het snelheidseffect klein is.
 - Invloed afstandswijziging. De invloed van de afstandswijziging is meegenomen met de Barkanvergelijking, op basis van de locatiespecifieke maaiveldmetingen (zie Bijlage V). Verder geldt dat de invloed van deze toeslagfactor doorgaans gering is (in het project vinden vrijwel geen afstandswijzigingen plaats). Uit ervaringen met eerdere projecten blijkt dat er slechts een beperkte onzekerheid is op de invloed van de afstandswijziging, bij dit project is de invloed klein doordat de afstandsverandering vaak beperkt is tot enkele meters.

- Invloed correctie wissels en overwegen. De invloed van wissels en overwegen hangt sterk af van de conditie van de wissel resp. de spoorligging rond de overweg. In dit onderzoek is deze invloed conservatief meegenomen.

Zoals gebruikelijk wordt de beoordeling van de trillingen uitgevoerd op de verwachtingswaarde van de trillingen, met inachtneming van bovenstaande conservatieve inschattingen. Uit ervaringen met eerdere projecten blijkt dat dit de meest betrouwbare beoordelingsmethodiek is, waarbij factoren met een sterke mate van onzekerheid worst-case worden meegenomen, zodat niet onterecht bepaalde locaties over het hoofd worden gezien bij een maatregelenafweging.

VI.5 Verschillen tussen modelberekeningen en woningmetingen

Verschillen tussen de modelberekeningen en predicties op basis van woningmetingen kunnen worden veroorzaakt door (een combinatie van) de volgende aspecten:

1. Het model van stap 2 is nauwkeuriger dan het model van stap 1, omdat in stap 2 alleen gerekend wordt met toeslagfactoren voor de wijzigingen in bijvoorbeeld treinsnelheid en de ligging van sporen en wissels. Hoe geringer deze wijzigingen zijn, hoe meer de plansituatie overeenkomt met de gemeten referentiesituatie, en hoe betrouwbaarder de berekeningen dus zijn;
2. In stap 2 wordt in gebouwen gemeten, hierdoor worden de specifieke gebouweigenschappen nauwkeuriger meegenomen dan in stap 1. Elk gebouw heeft een specifieke overdracht tussen fundering en midden vloerveld. Hierdoor is het ene gebouw gevoeliger voor een toename van de trillingsterkte in het laagfrequente gebied dan een ander gebouw. Verschillen tussen stap 1 en stap 2 worden meestal veroorzaakt door verschillen in gebouweigenschappen. Dit is vooral te zien bij meetlocatie Lange Klauwenhof.

Bijlage VII. Achtergrondinformatie woningmetingen

Deze bijlage bevat een overzicht en schets van de meetopstelling, de resultaten van de metingen en de berekening voor de bestaande situatie en de plansituatie voor alle meetlocaties. In bijlage IV is meer informatie gegeven over hoe de verschillende parameters zijn bepaald.

VII.1 Hengelder 2 - Zevenaar

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een kaart van de locatie van het gebouw is weergegeven in Figuur 51.



Figuur 51: Locatie gebouw

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

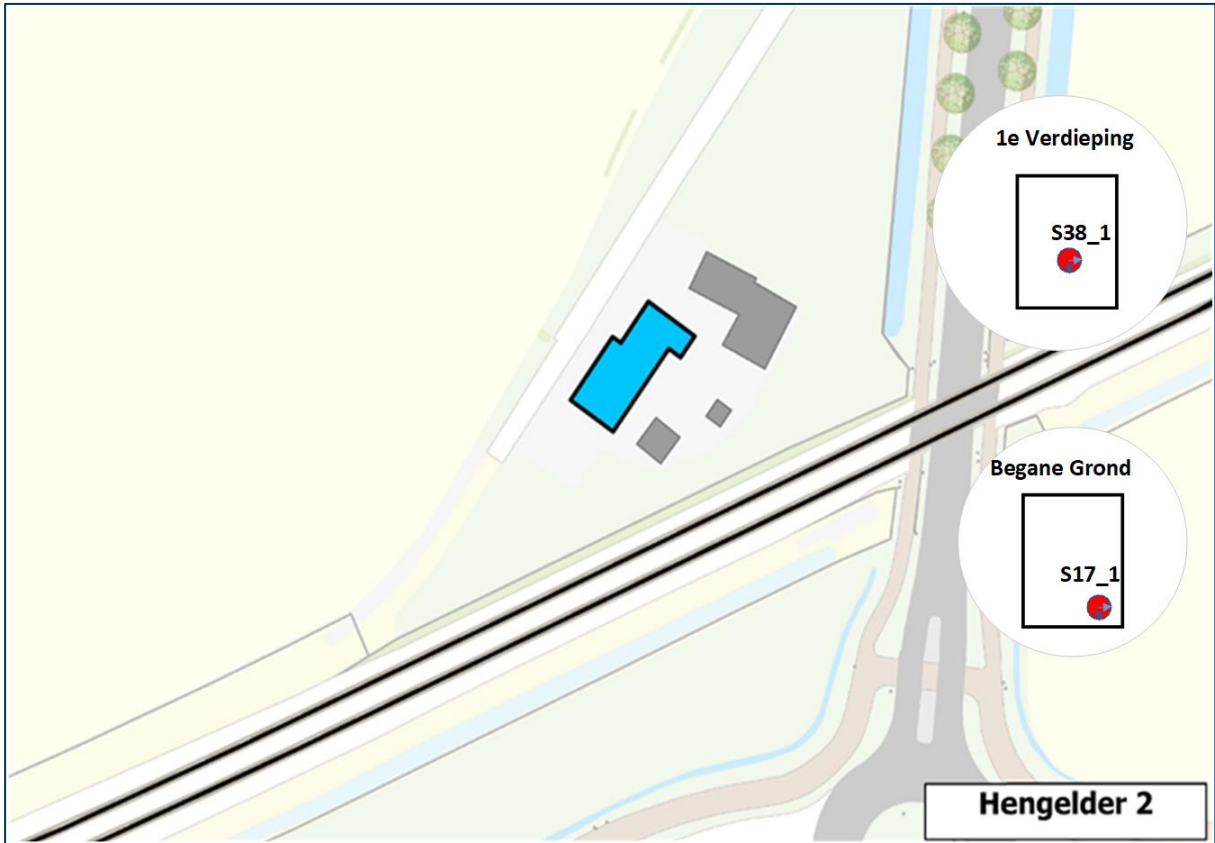
- Een driedimensionale trillingsensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (38_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 22.

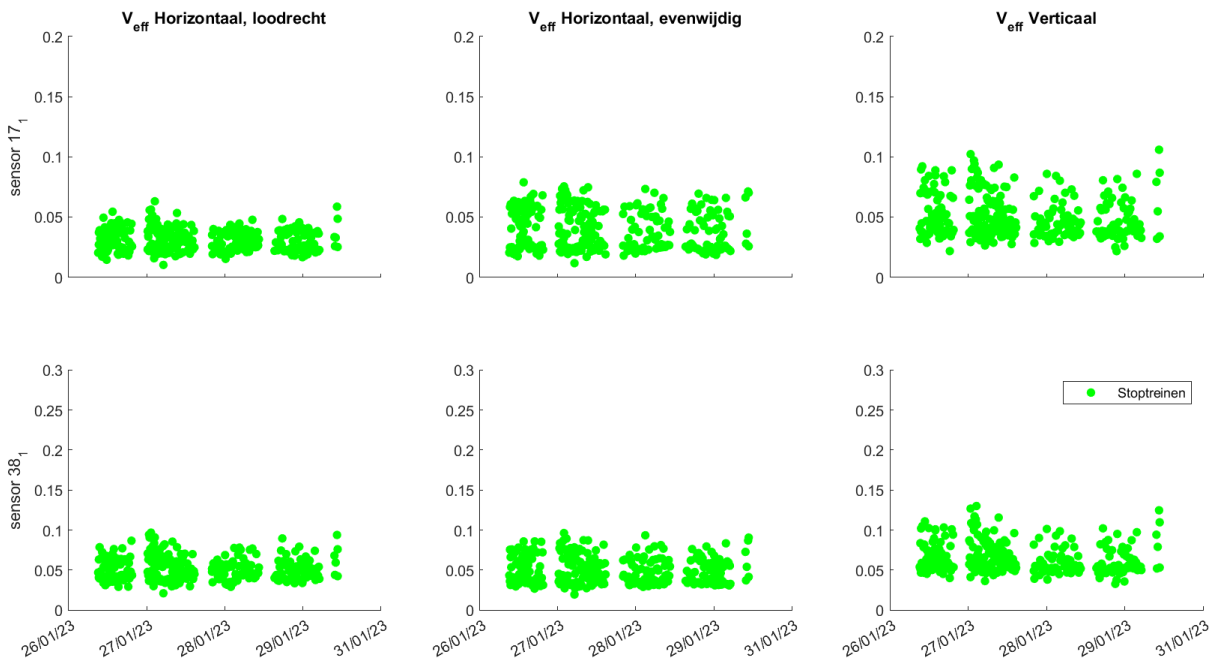
Tabel 22: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdperiode meting	<i>26 januari 2023 tot 01 februari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 52</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 52</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 17_1 en 38_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D02 en D34) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 53</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

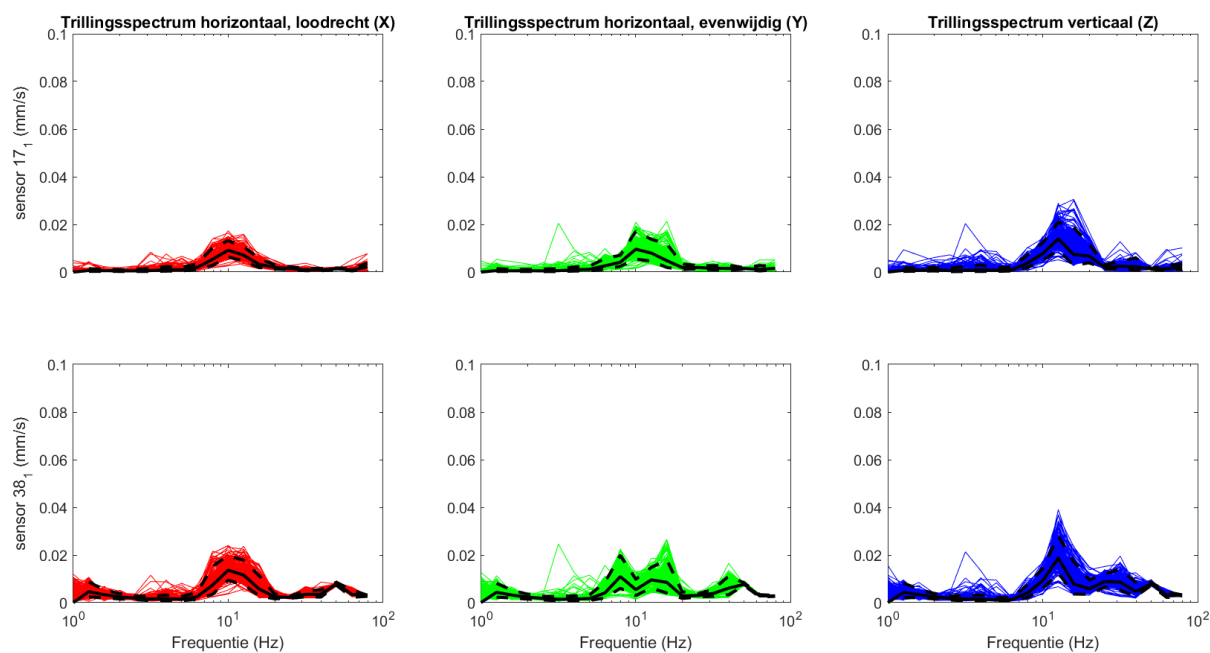
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 52, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 53 en Figuur 54. Het spoor is in het verleden hier verdubbeld.



Figuur 52: Opstelling sensoren



Figuur 53: Meetresultaten



Figuur 54: Trillingspectra meting

VII.1.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 23. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 23: Resultaten huidige situatie

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.07	0.09	0.12	0.12	0.11	0.15
R	3	3	3	3	3	3

Op deze locatie zijn 326 reizigerstreinen gemeten.

VII.1.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie 2015 op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 24.

Tabel 24: Resultaten referentiesituatie 2015

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.07	0.08	0.11	0.11	0.11	0.15
R	4	4	4	4	4	4

De trillingsterkte is licht toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de lichte toename van de treinsnelheid. Doordat een deel van de treinen verder weg gaat rijden, is de toename beperkt.

VII.1.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 25.

Tabel 25: Resultaten plansituatie

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.07	0.09	0.12	0.12	0.11	0.15
R	3	3	3	3	3	3

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingsterkte neemt toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015, vooral doordat de treinen sneller rijden.

VII.1.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en huidige situatie, maar de toename is lager dan 1.3. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.2 Turnstraat 7, Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 55.



Figuur 55: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingsensor (38_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (17_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 26.

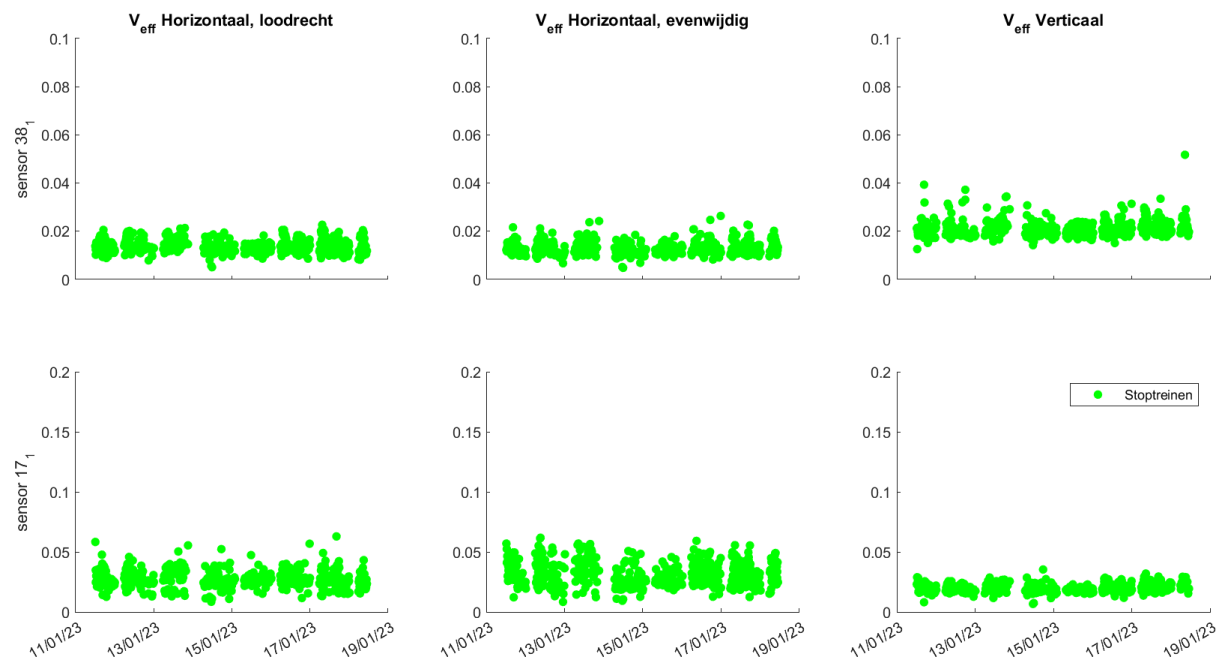
Tabel 26: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl
3	Tijdsperiode meting	11 januari 2023 tot 18 januari 2023
4	Type trillingbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 56
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 56
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons, 38_1 en 17_1
	Gebruikte registratieapparatuur	2 D-meetcomputers (D34 en D02) met 1 aangesloten kanaal
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 57
11	Motivatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	-

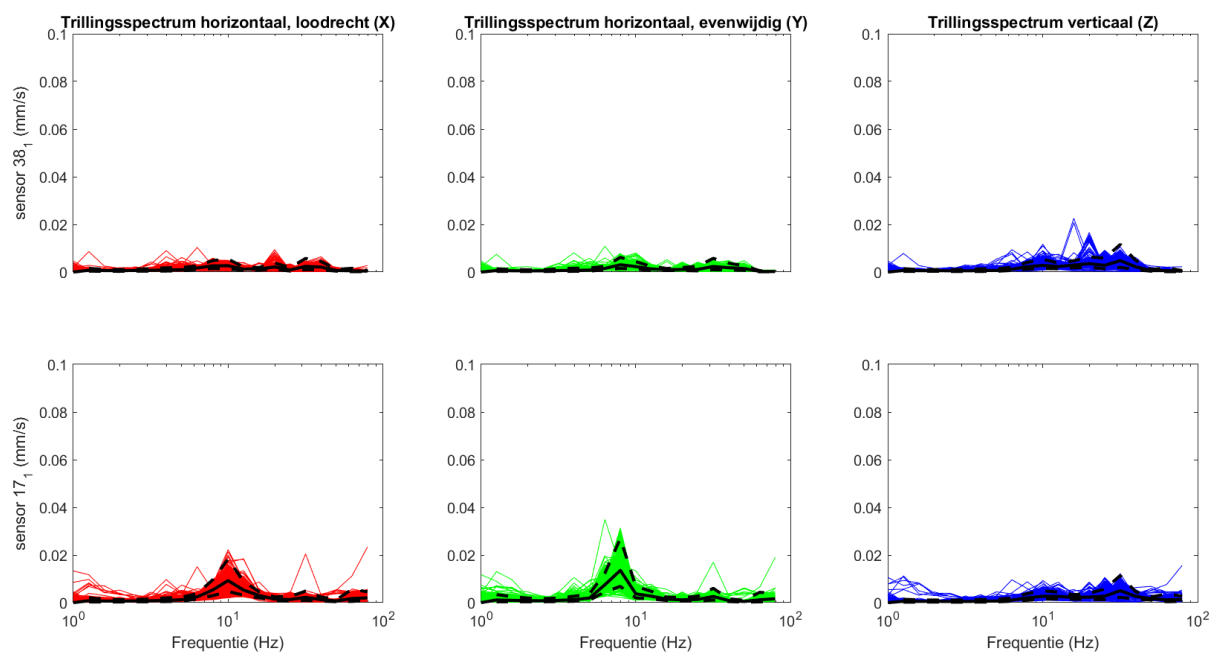
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 56, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 57 en Figuur 58. De sporenlay-out wijzigt hier niet.



Figuur 56: Opstelling sensoren



Figuur 57: Meetresultaten



Figuur 58: Trillingspectra meting

VII.2.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 27. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 27: Resultaten huidige situatie

	38_1, stijf punt			17_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04
R	8	8	8	8	8	8

Op deze locatie zijn 532 reizigerstreinen gemeten.

VII.2.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 28.

Tabel 28: Resultaten referentiesituatie 2015

	38_1, stijf punt			17_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06	0.04
R	13	13	13	13	13	13

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de treinsnelheid.

VII.2.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29: Resultaten plansituatie

	38_1, stijf punt			17_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.04	0.04	0.07	0.09	0.10	0.06
R	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.7. De trillingsterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015.

VII.2.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en de huidige situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde. Ook de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid omdat de trillingsterkte lager is dan de streefwaarde.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.3 Parallelweg 21, Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 59.



Figuur 59: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

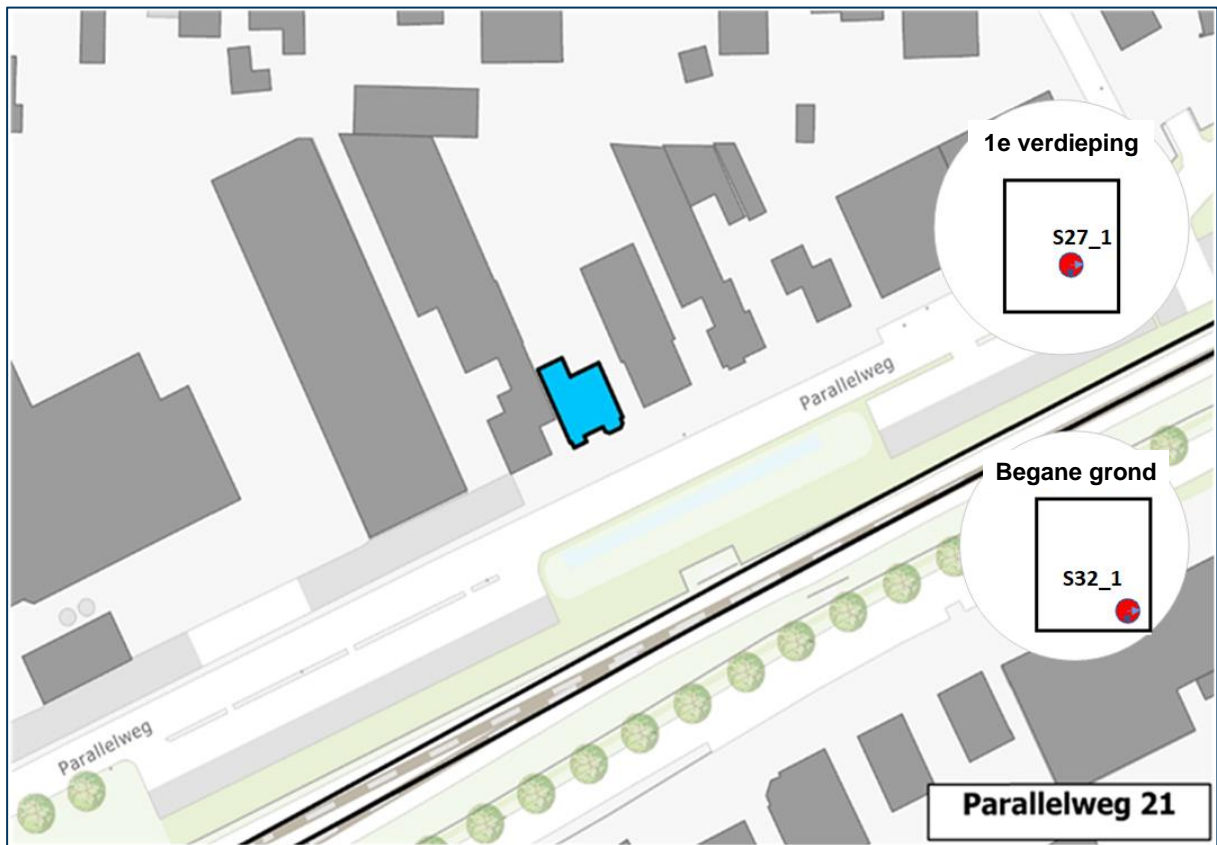
- Een driedimensionale trillingsensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (38_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 30.

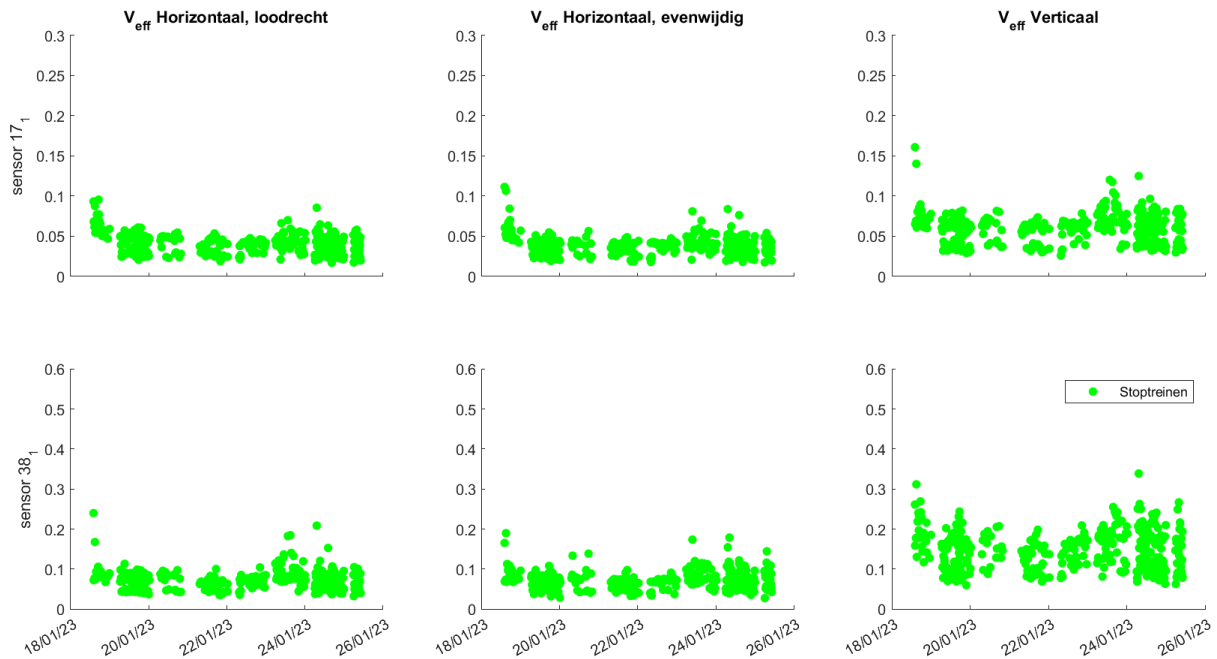
Tabel 30: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdperiode meting	<i>18 januari 2023 tot 25 januari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 60</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 60</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 17_1 en 38_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D02 en D34) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 61</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

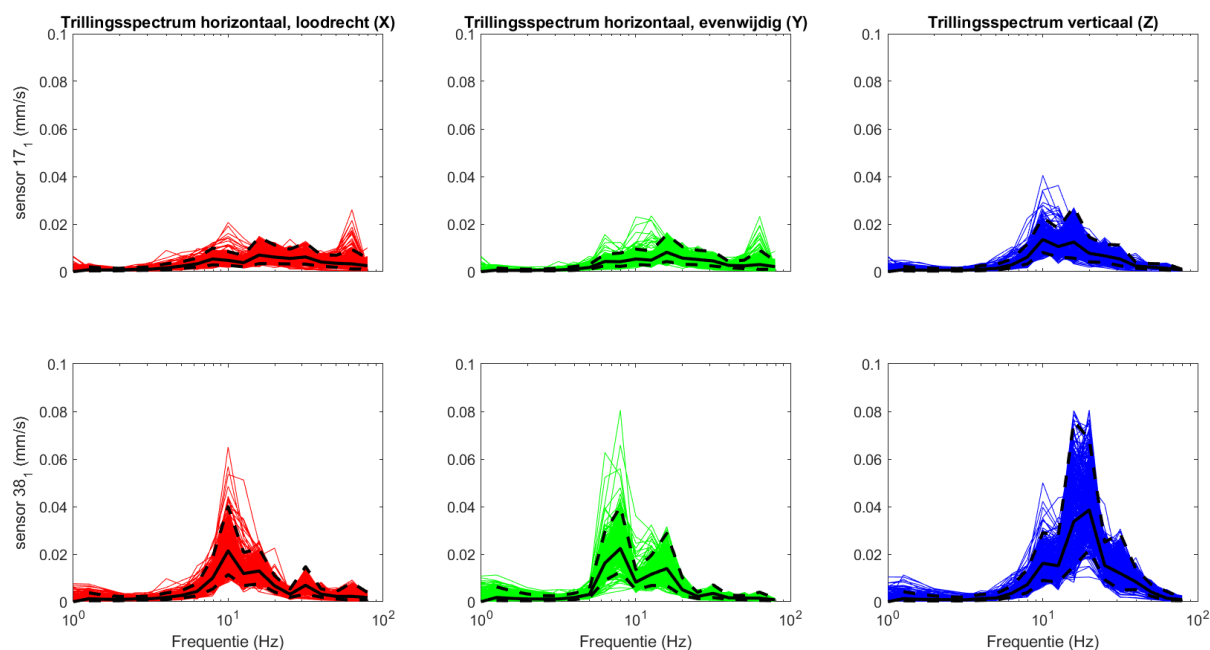
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 60, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 61 en Figuur 62. Het bestaande wissel wordt hier verwijderd en aan de noordzijde wordt een extra spoor gerealiseerd.



Figuur 60: Opstelling sensoren



Figuur 61: Meetresultaten



Figuur 62: Trillingspectra meting

VII.3.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 31. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 31: Resultaten huidige situatie

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Vmax, Bts	0.09	0.09	0.13	0.16	0.16	0.33
R	3	3	3	3	3	3

Op deze locatie zijn 383 reizigerstreinen gemeten.

VII.3.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32: Resultaten referentiesituatie 2015

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.05	0.05	0.07	0.09	0.09	0.18
R	3	3	3	3	3	3

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de treinsnelheid.

VII.3.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 33.

Tabel 33: Resultaten plansituatie

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
V _{max} , Bts	0.14	0.14	0.20	0.24	0.25	0.50
R	8	8	8	8	8	8

De Q-waarde bedraagt 2.7. Het verwijderen van het wissel heeft een positief effect op de trillingen, maar toch neemt de trillingsterkte toe, doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015.

VII.3.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en huidige situatie. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid om de toename van de trillingsterkte te beperken tot 1.3.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.4 Wilhelminastraat 118, Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 63: Gevel.



Figuur 63: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingsensor (32_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (27_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 34.

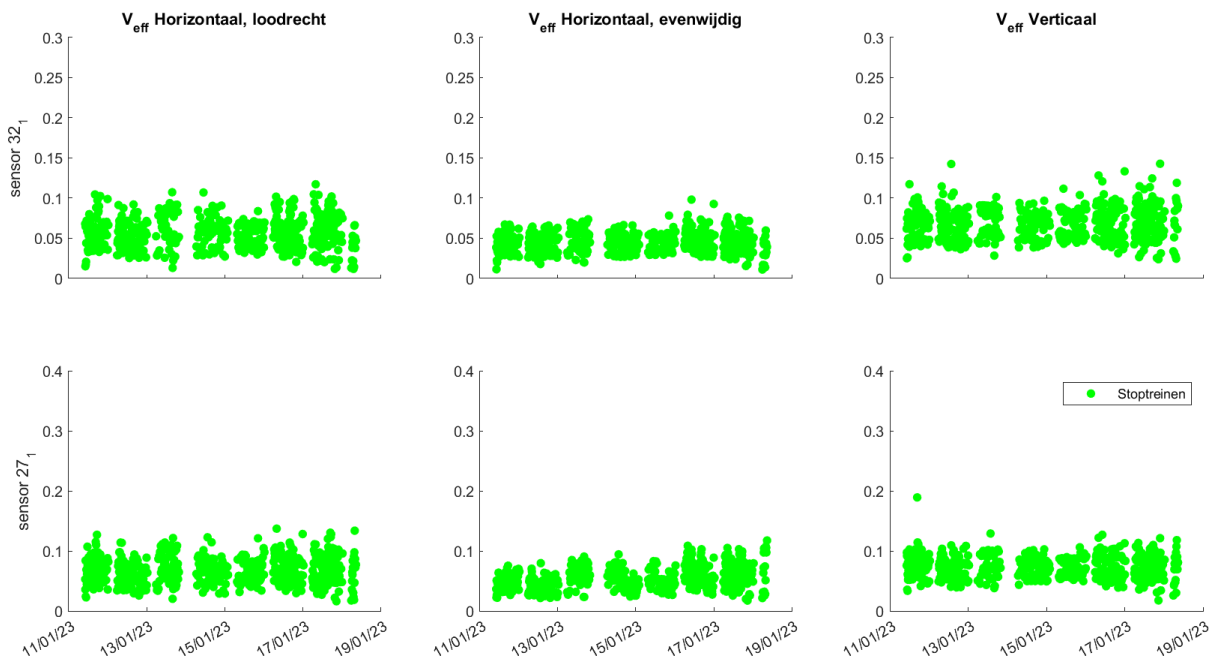
Tabel 34: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl
3	Tijdperiode meting	11 januari 2023 tot 18 januari 2023
4	Type trillingbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 64
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 64
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons, 32_1 en 27_1
	Gebruikte registratieapparatuur	2 D-meetcomputers met 1 aangesloten kanaal
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 65
11	Motivatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	-

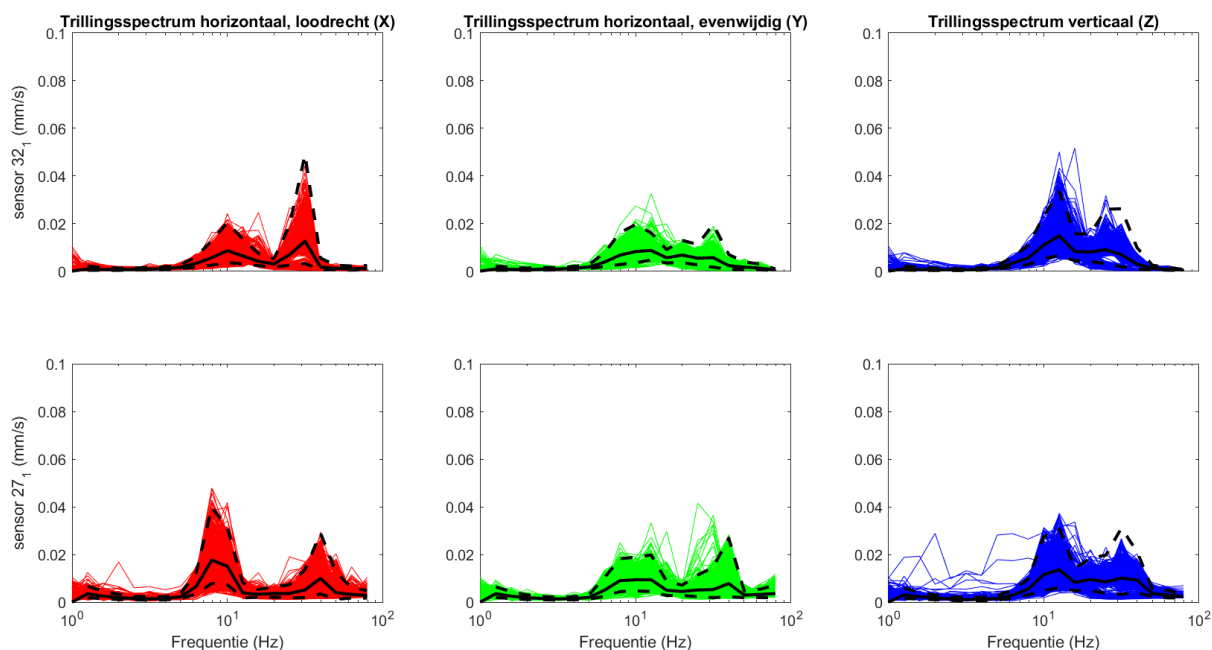
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 64, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 65 en Figuur 66. Aan de noordzijde komt er een extra spoor bij.



Figuur 64: Opstelling sensoren



Figuur 65: Meetresultaten



Figuur 66: Gemeten trillingspectra

VII.4.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 35. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 35: Resultaten huidige situatie

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.13	0.11	0.16	0.16	0.12	0.18
R	2	2	2	2	2	2

Op deze locatie zijn 611 reizigerstreinen gemeten.

VII.4.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie 2015 op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 36.

Tabel 36: Resultaten referentiesituatie 2015

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.10	0.08	0.12	0.12	0.09	0.13
R	2	2	2	2	2	2

De trillingsterkte is toegenomen in de huidige situatie t.o.v. de referentiesituatie uit 2015. Dit komt vooral door de toename van de treinsnelheid.

VII.4.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 37.

Tabel 37: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
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} , Bts	0.18	0.15	0.22	0.22	0.18	0.24
R	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.9. De trillingsterkte neemt toe, vooral door het dichterbij komen van de sporen en doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015.

VII.4.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en de huidige situatie. De trillingsterkte V_{max} is echter niet groter dan de streefwaarde A1 en de gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie ook lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.5 Oude Beekseweg 47 - Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 67.



Figuur 67: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingsensor (22_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (27_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 38.

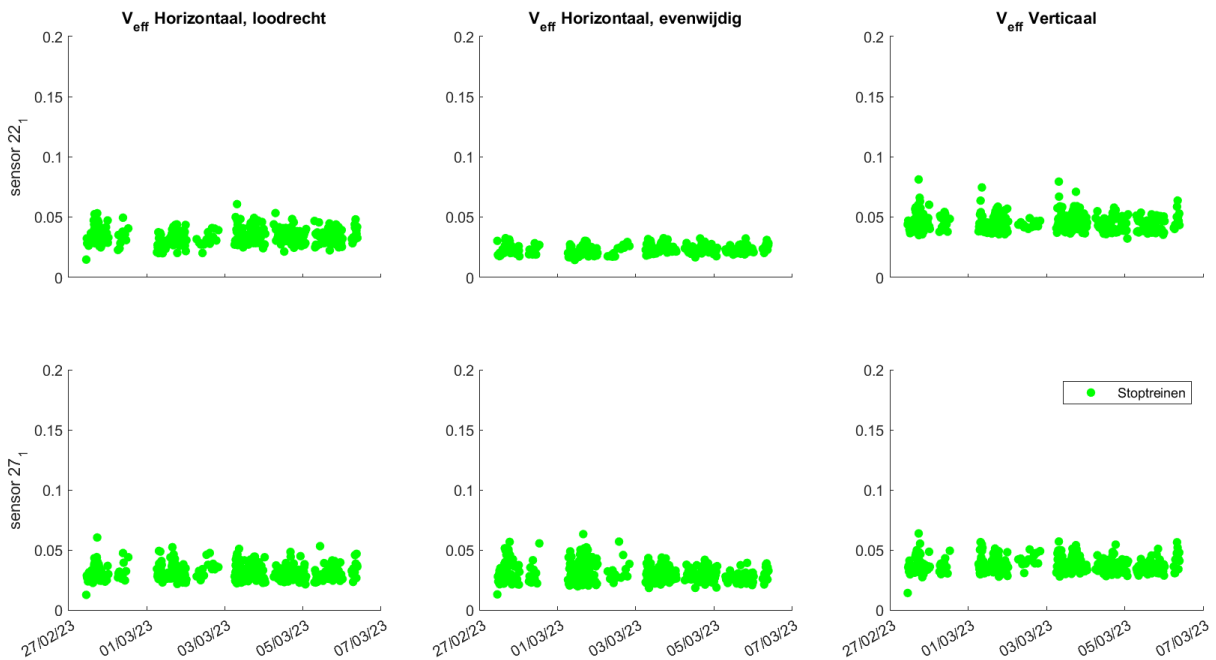
Tabel 38 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl
3	Tijdsperiode meting	27 februari 2023 tot 06 maart 2023
4	Type trillingbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 68
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 68
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons, 22_1 en 27_1
	Gebruikte registratieapparatuur	2 D-meetcomputers (D34 en D37) met 1 aangesloten kanaal
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 69
11	Motivatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	-

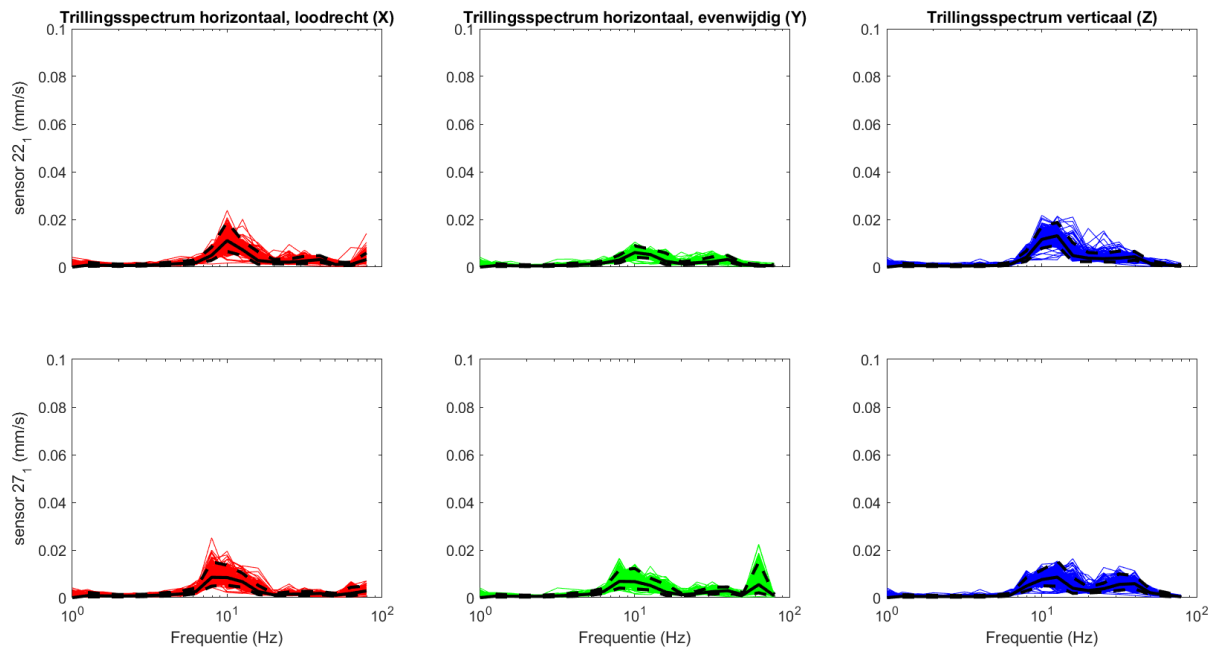
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 68, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 69 en Figuur 70. Het spoor wordt hier verdubbeld, en verschuift deels richting de woning.



Figuur 68: Opstelling sensoren



Figuur 69: Meetresultaten



Figuur 70: Trillingspectra meting

VII.5.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 39. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 39: Resultaten huidige situatie

	22_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.08	0.05	0.11	0.07	0.07	0.09
R	3	3	3	3	3	3

Op deze locatie zijn 407 reizigerstreinen gemeten.

VII.5.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 40.

Tabel 40: Resultaten referentiesituatie 2015

	22_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.06	0.04	0.08	0.06	0.06	0.07
R	3	3	3	3	3	3

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de treinsnelheid.

VII.5.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 41.

Tabel 41: Resultaten plansituatie

	22_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.09	0.06	0.12	0.08	0.08	0.10
R	7	7	7	7	7	7

De Q-waarde bedraagt 1.4. De trillingsterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015.

VII.5.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en huidige situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie ook lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen omdat de trillingsterkte lager is dan de streefwaarde.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.6 Zandweg 11 - Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 71.



Figuur 71: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

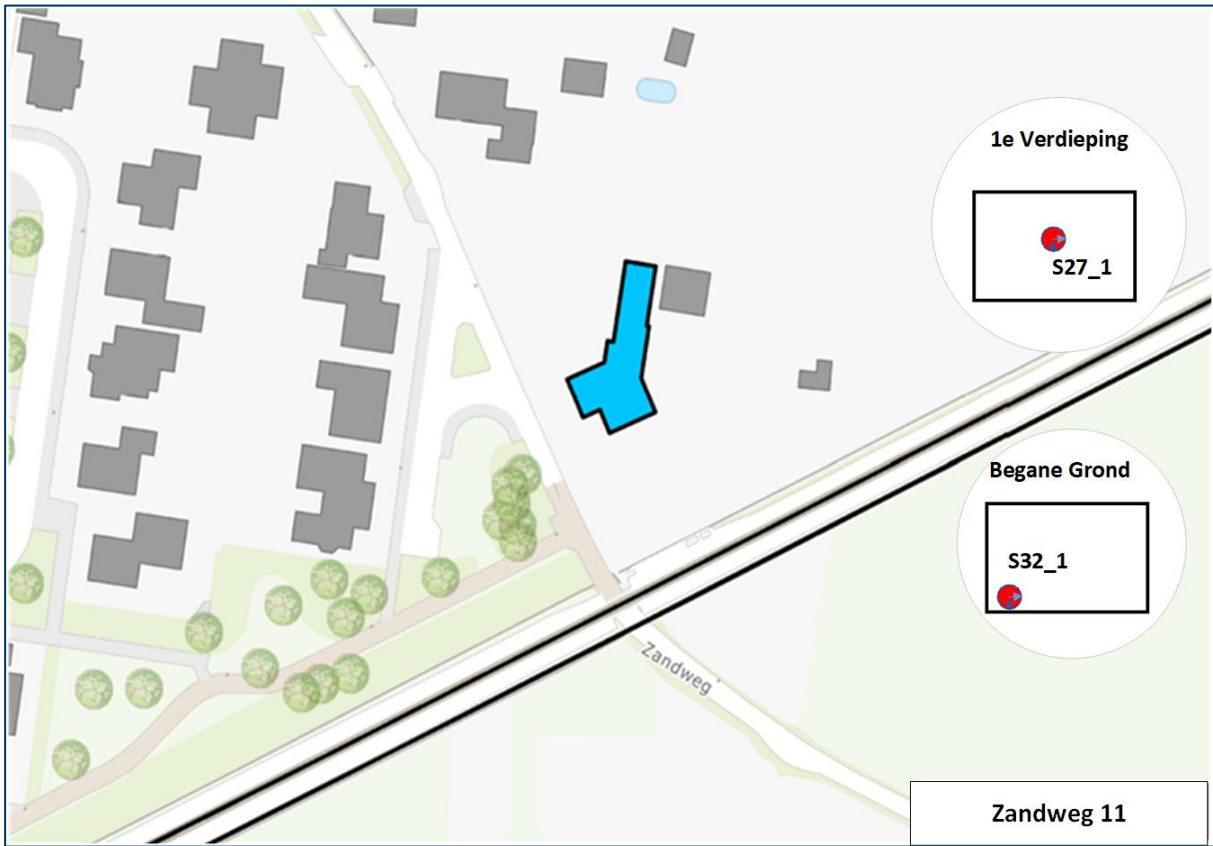
- Een driedimensionale trillingsensor (32_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (27_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 42.

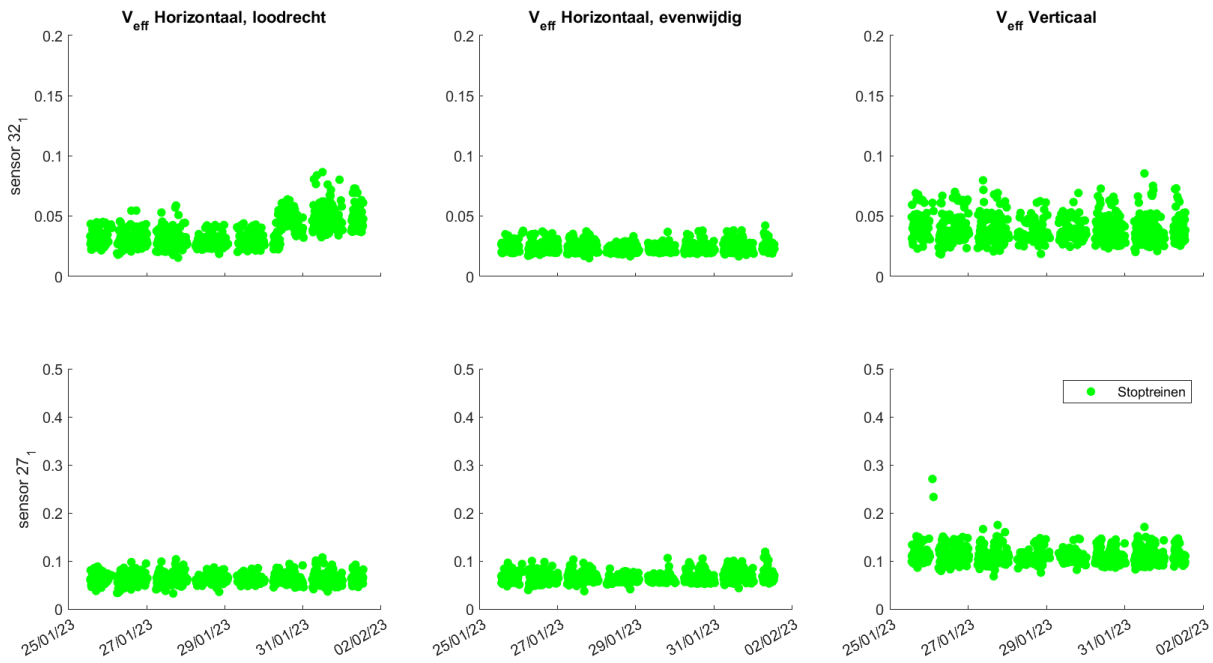
Tabel 42: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>25 januari 2023 tot 01 februari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 72</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 72</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons, 32_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D35 en D03) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 73</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

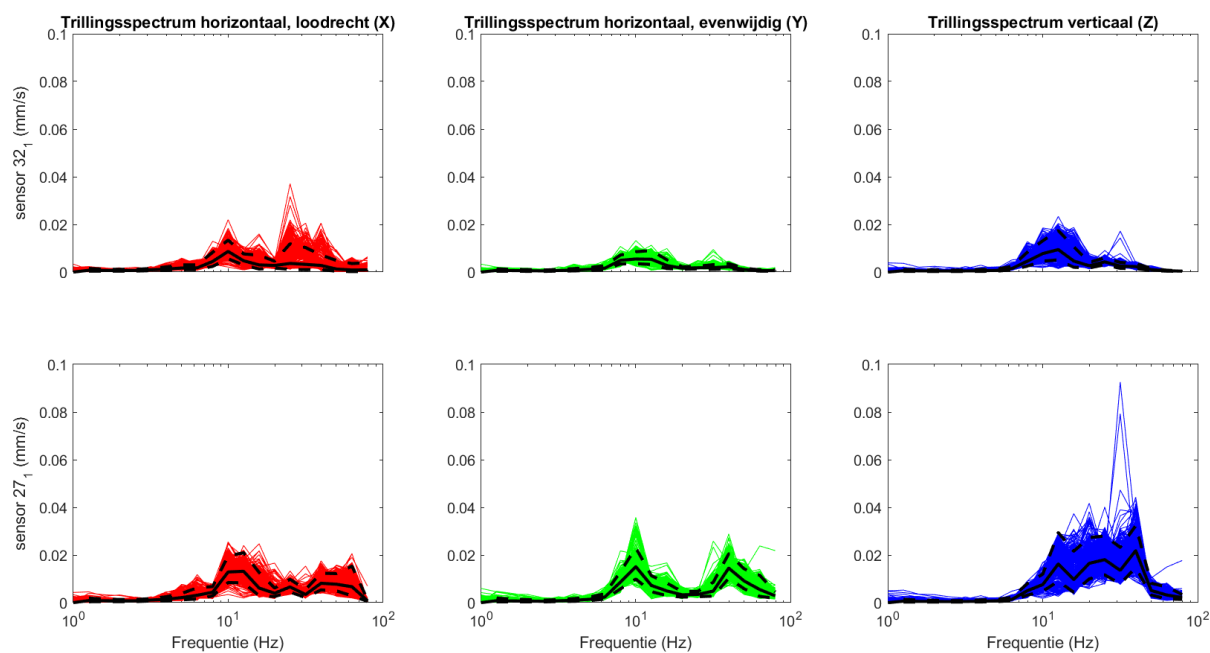
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 72, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 73 en Figuur 74. Het spoor wordt hier verdubbeld, aan de zuidzijde komt er een spoor bij.



Figuur 72: Opstelling sensoren



Figuur 73: Meetresultaten



Figuur 74: Trillingspectra meting

VII.6.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 43. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 43: Resultaten huidige situatie

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Vmax, Bts	0.09	0.06	0.09	0.16	0.16	0.28
R	2	2	2	2	2	2

Op deze locatie zijn 751 reizigerstreinen gemeten.

VII.6.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 44.

Tabel 44: Resultaten referentiesituatie 2015

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.07	0.05	0.08	0.13	0.13	0.22
R	2	2	2	2	2	2

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de rijsnelheid.

VII.6.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 45.

Tabel 45: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , Bts	0.08	0.06	0.09	0.15	0.16	0.27
R	5	5	5	5	5	5

De Q-waarde bedraagt 1.2. De trillingsterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015.

VII.6.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015, maar de toename is lager dan de toegestane toename. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.7 Lange Klauwenhof 13 - Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 75.



Figuur 75: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

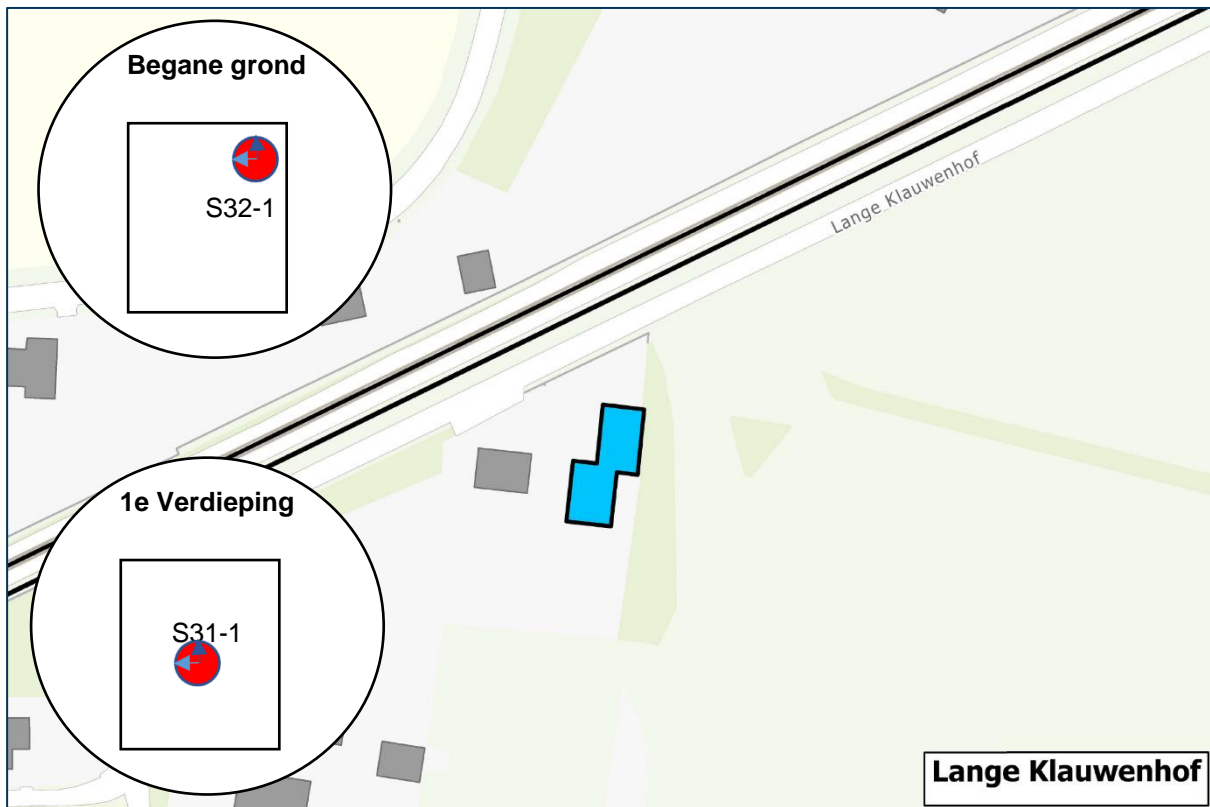
- Een driedimensionale trillingsensor (32_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (31_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 46.

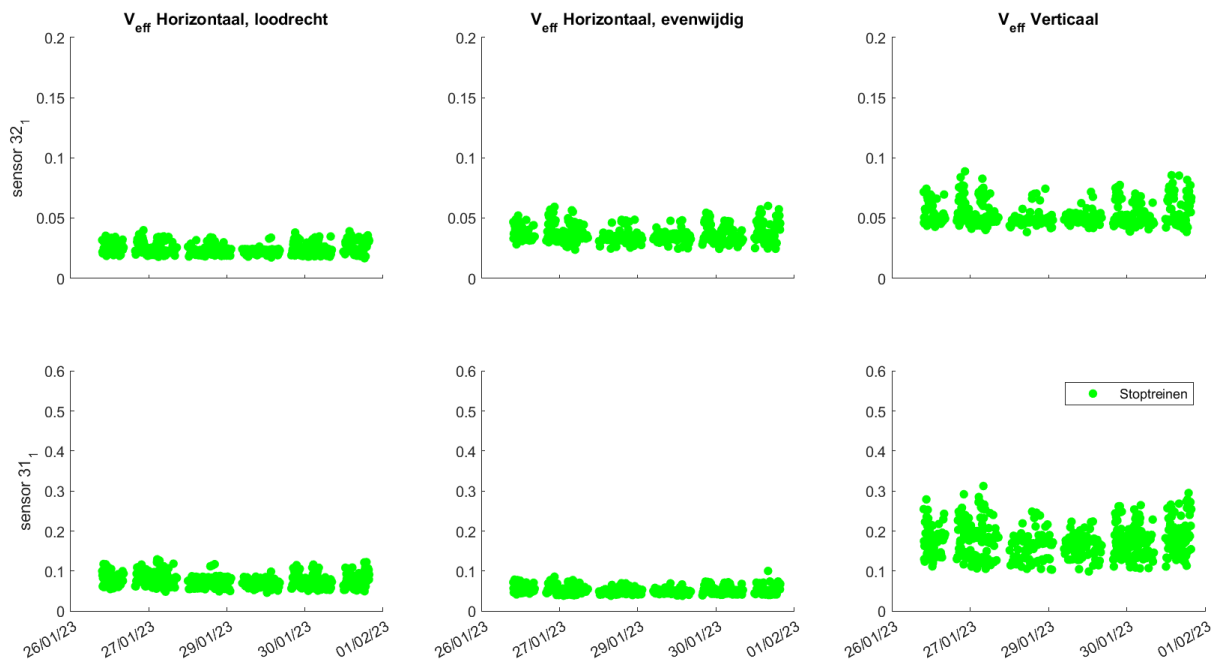
Tabel 46: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdperiode meting	<i>26 januari 2023 tot 02 februari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 76</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 76</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 32_1 en 31_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D37 en D09) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 77</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

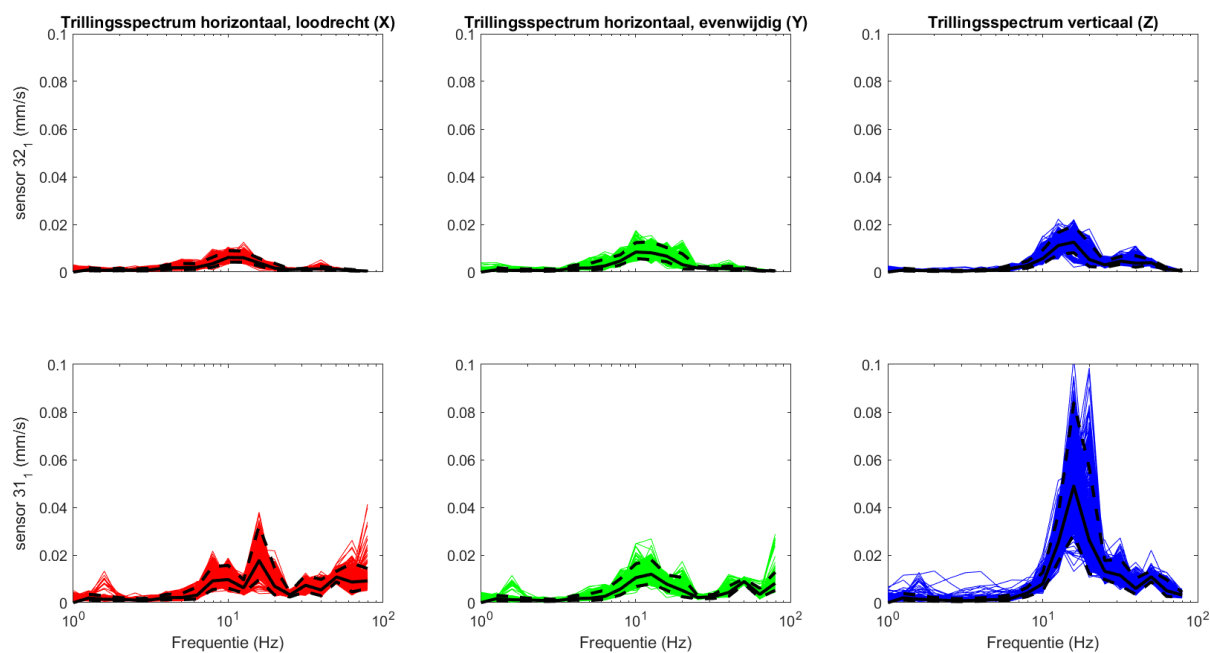
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 76, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 77 en Figuur 78. Er komt een extra spoor bij, aan de zuidzijde van de sporenbundel.



Figuur 76: Opstelling sensoren



Figuur 77: Meetresultaten



Figuur 78: Trillingspectra meting

VII.7.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 47. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 47: Resultaten huidige situatie

	32_1, stijf punt			31_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.04
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Vmax, Bts	0.06	0.09	0.13	0.19	0.13	0.42
R	3	3	3	3	3	3

Op deze locatie zijn 542 reizigerstreinen gemeten.

VI.7.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 48.

Tabel 48: Resultaten referentiesituatie 2015

	32_1, stijf punt			31_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.04
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
V _{max} , Bts	0.05	0.08	0.11	0.16	0.11	0.36
R	3	3	3	3	3	3

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de rijsnelheid.

VII.7.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 49.

Tabel 49: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			31_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.05
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.04
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02
V _{max} , Bts	0.07	0.10	0.14	0.22	0.14	0.44
R	3	3	3	3	3	3

De Q-waarde bedraagt 1.2. De trillingsterkte neemt toe doordat de sporen dichterbij deze woning komen te liggen.

VII.7.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en huidige situatie, maar de toename blijft lager dan de toegestane toename. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.8 Toppegaiweg 4, Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een kaart van deze locatie is weergegeven in Figuur 79.



Figuur 79: Locatie gebouw

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

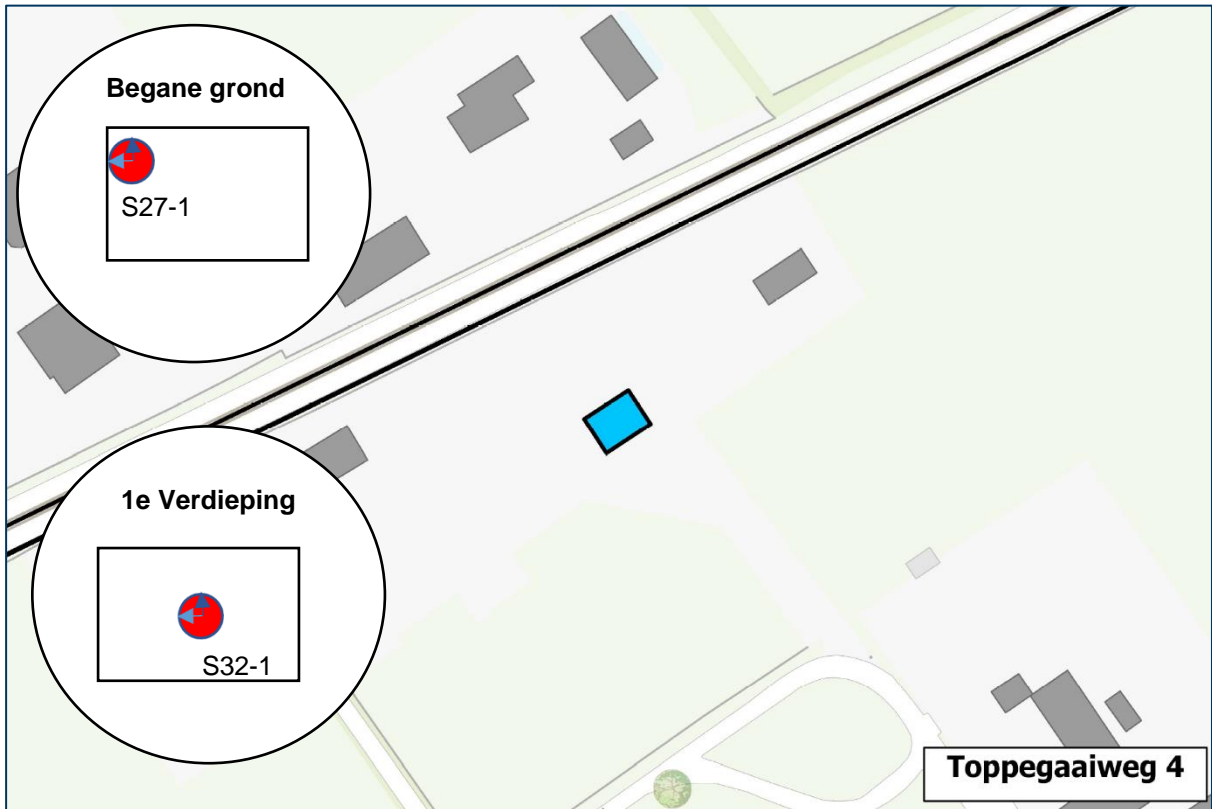
- Een driedimensionale trillingsensor (27_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (32_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 50.

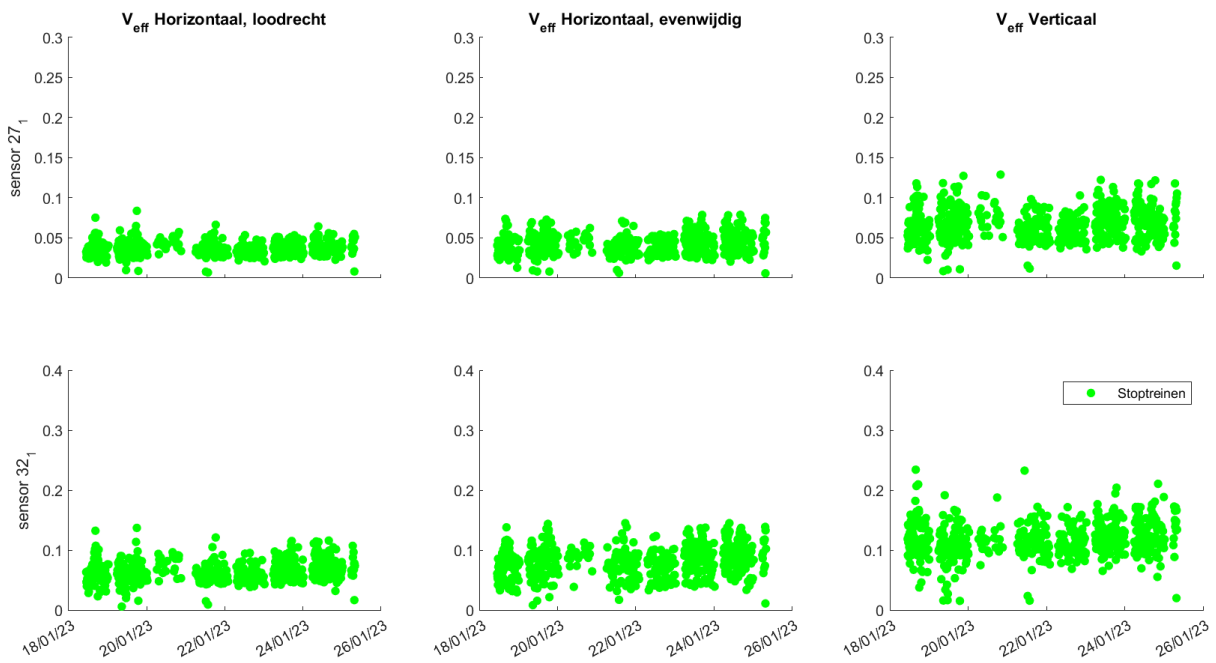
Tabel 50: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>18 januari 2023 tot 25 januari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 80</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 80</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 32_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D03 en D35) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 81</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

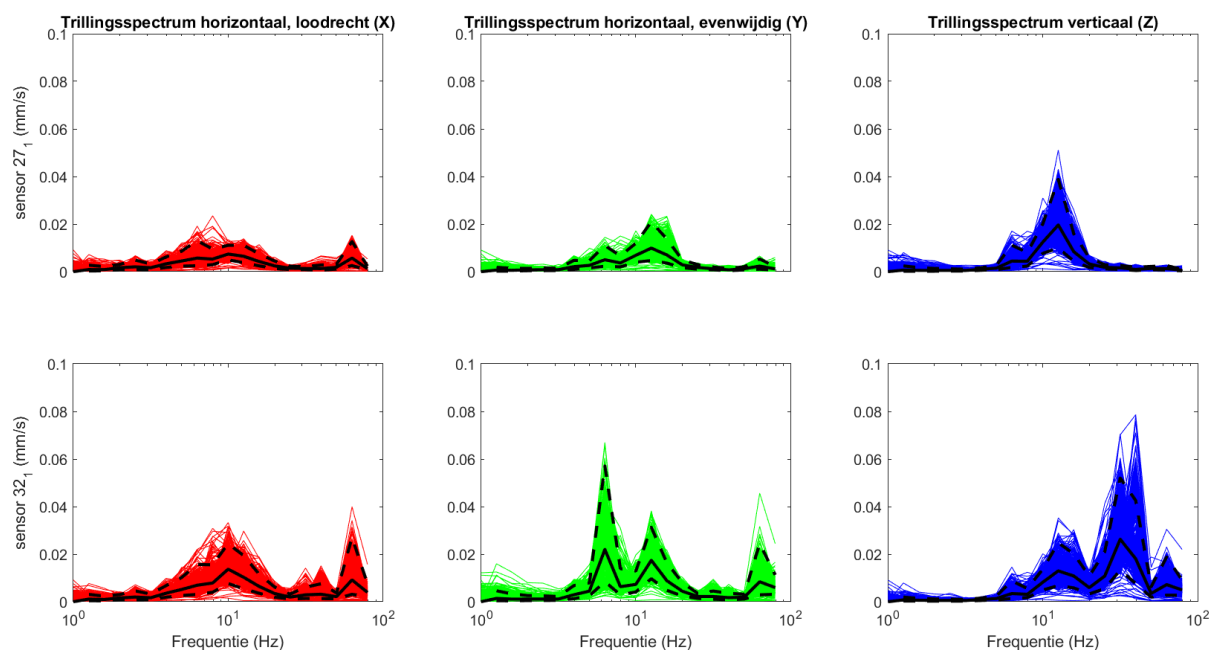
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 80, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 81 en Figuur 82. Er komt een extra spoor bij, aan de zuidzijde van de sporenbundel.



Figuur 80: Opstelling sensoren



Figuur 81: Meetresultaten



Figuur 82: Trillingspectra meting

VII.8.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 51. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 51: Resultaten huidige situatie

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01
Vmax, Bts	0.09	0.10	0.16	0.15	0.19	0.28
R	2	2	2	2	2	2

Op deze locatie zijn 601 reizigerstreinen gemeten.

VII.8.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 52.

Tabel 52: Resultaten referentiesituatie 2015

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02
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} , Bts	0.07	0.08	0.13	0.13	0.16	0.23
R	2	2	2	2	2	2

De trillingsterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015, vooral door de toename van de treinsnelheid.

VII.8.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 53.

Tabel 53: Resultaten plansituatie

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02
V _{max} , Bts	0.10	0.10	0.16	0.17	0.21	0.32
R	2	2	2	2	2	2

De Q-waarde bedraagt 1.4. De trillingsterkte neemt toe door het dichterbij komen van de sporen en de toename van de rijsnelheid.

VII.8.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en de huidige situatie. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie moeten maatregelen worden afgewogen op doelmatigheid om de toename van de trillingsterkte te beperken tot 1.3 of de trillingsterkte onder de streefwaarde A1 te brengen.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.9 Beekseweg 39 - Wehl

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 83.



Figuur 83: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

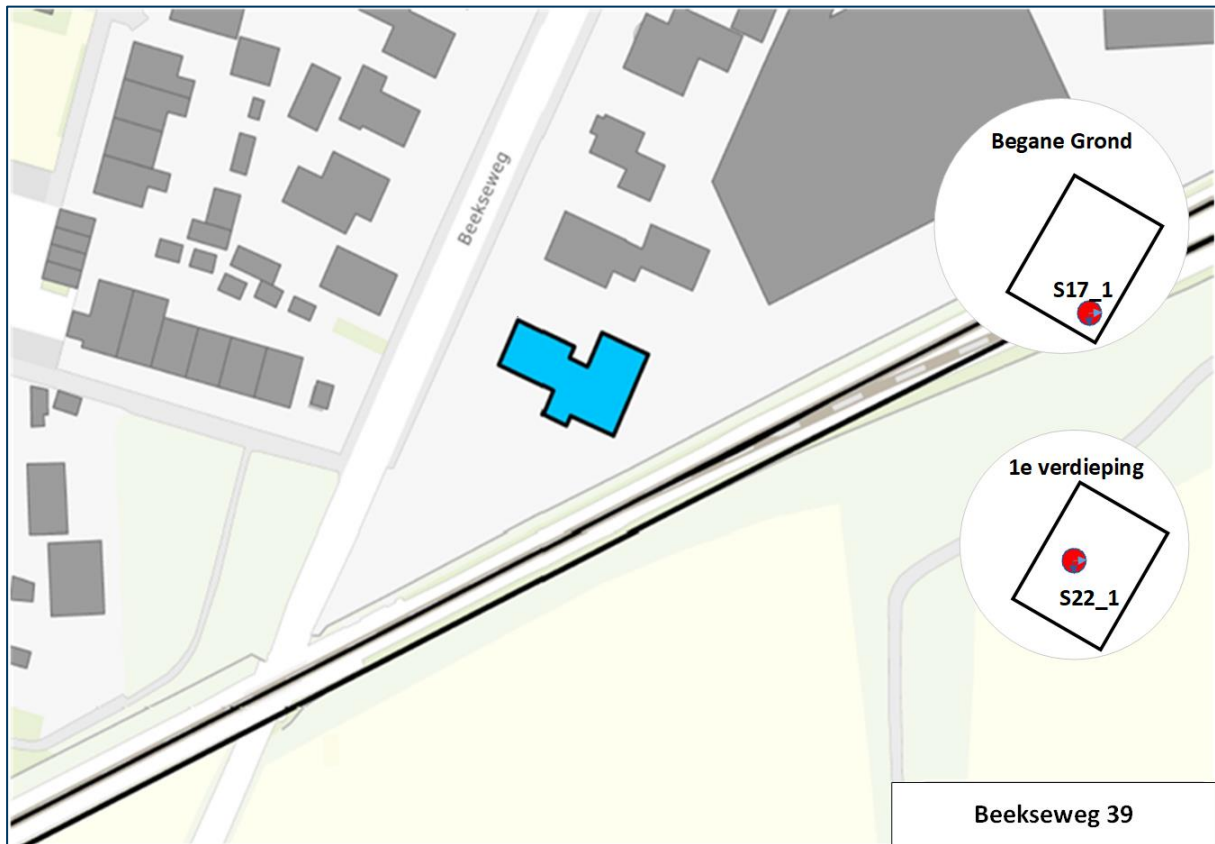
- Een driedimensionale trillingsensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (22_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 54.

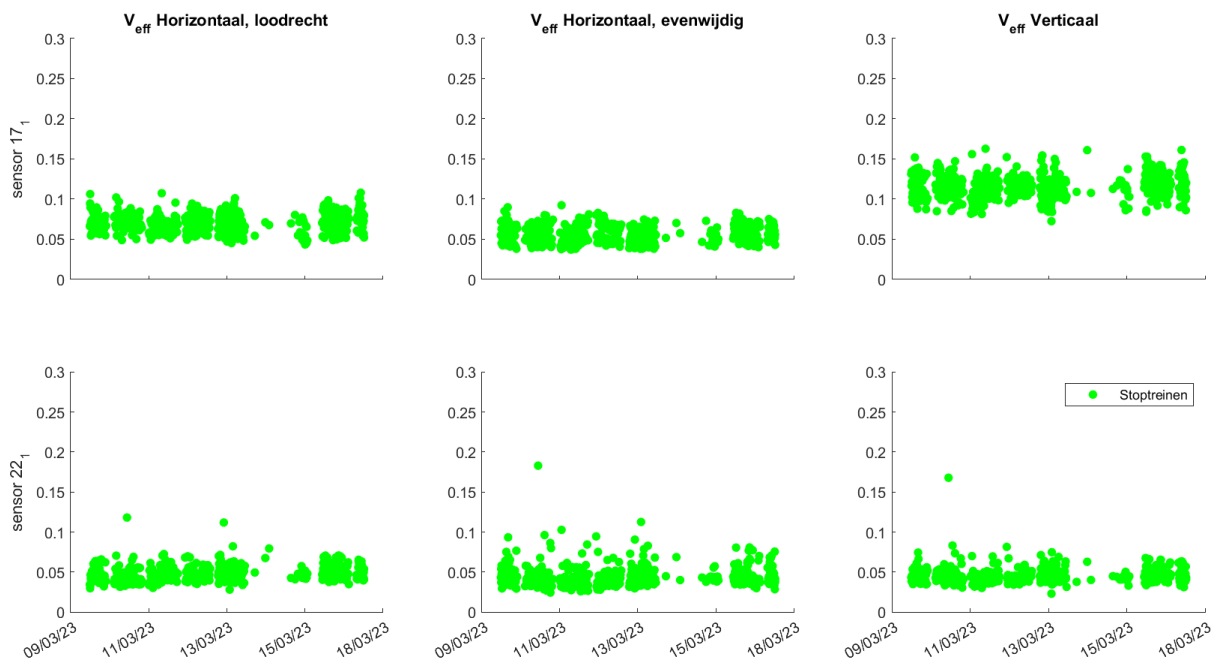
Tabel 54 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdperiode meting	<i>09 maart 2023 tot 17 maart 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 84</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 84</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 17_1 en 22_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D34 en D37) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 86</i>
11	Motivatief classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

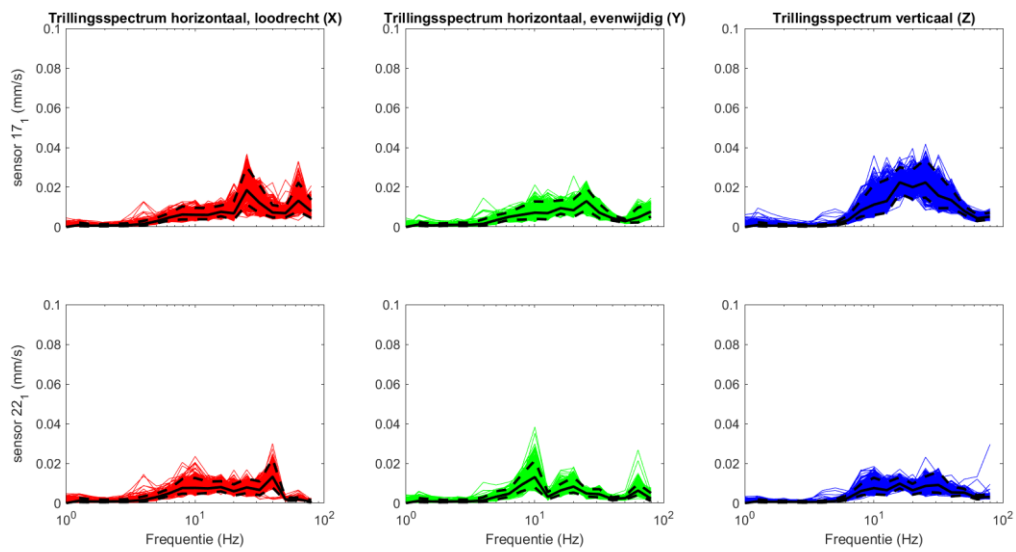
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 84, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 85 en Figuur 86. Het spoor wordt hier verdubbeld, het bestaande wissel verdwijnt.



Figuur 84: Opstelling sensoren



Figuur 85: Meetresultaten



Figuur 86: Trillingspectra meting

VII.9.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 55. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 55: Resultaten huidige situatie

	17_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.17	0.13	0.27	0.11	0.10	0.11
R	2	2	2	2	2	2

Op deze locatie zijn 601 reizigerstreinen gemeten.

VII.9.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 56.

Tabel 56: Resultaten referentiesituatie 2015

	17_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	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	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{max} , Bts	0.16	0.12	0.23	0.11	0.10	0.10
R	2	2	2	2	2	2

De trillingsterkte is licht toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2015. In dit gebied is er een beperkte toename van de treinsnelheid, omdat treinen moeten afremmen voor de boog ten oosten van station Wehl.

VII.9.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 57.

Tabel 57: Resultaten plansituatie

	17_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	<0.01	<0.01	0.03	<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} , Bts	0.16	0.12	0.25	0.11	0.10	0.11
R	3	3	3	3	3	3

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingsterkte neemt licht toe door de toename van de rijnsnelheid. Het verwijderen van het wissel zorgt ervoor dat de toename beperkt blijft. Het verwijderen van het wissel zorgt ervoor dat de trillingen afnemen ten opzichte van de huidige situatie.

VII.9.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015, maar de toename is beperkt. De trillingsterkte V_{max} is in de plansituatie niet hoger dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.10 Hof van Cambridge 42 - Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 87.



Figuur 87: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

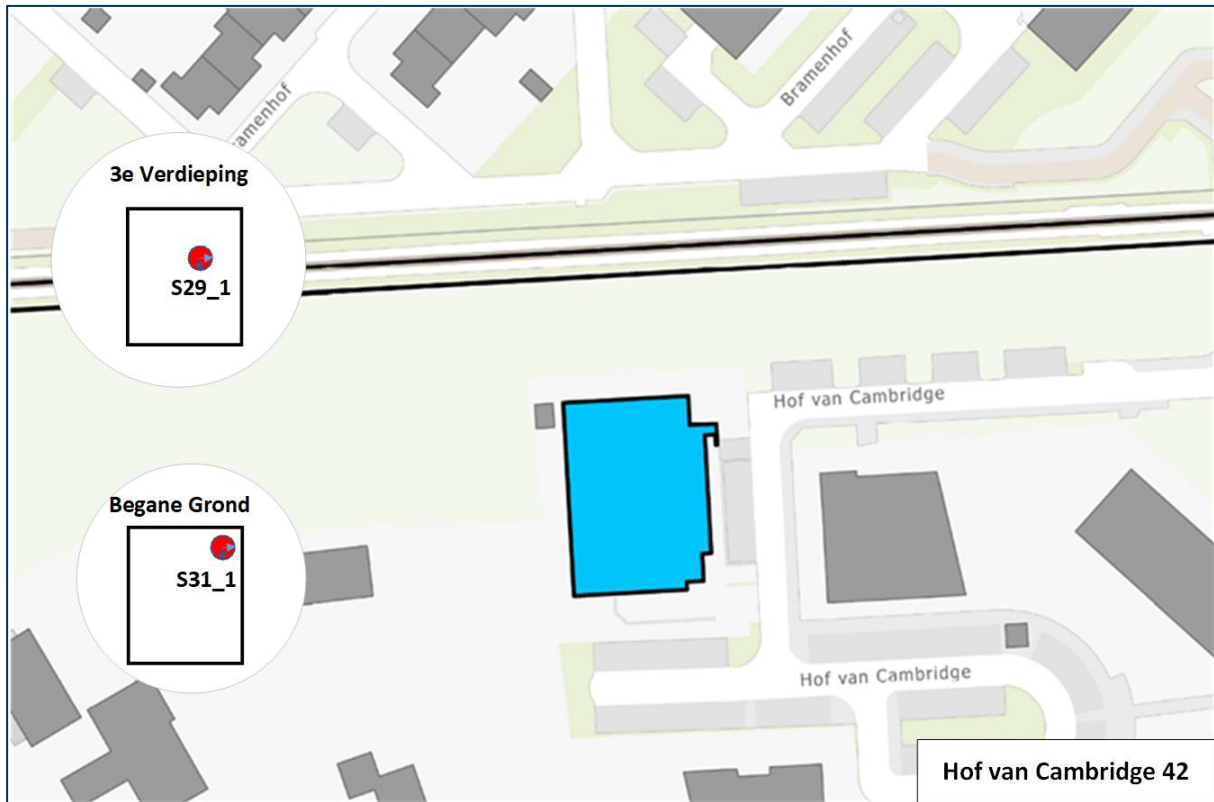
- Een driedimensionale trillingsensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (29_1) in het midden van de vloer op de 3^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 58.

Tabel 58 Gegevens meting

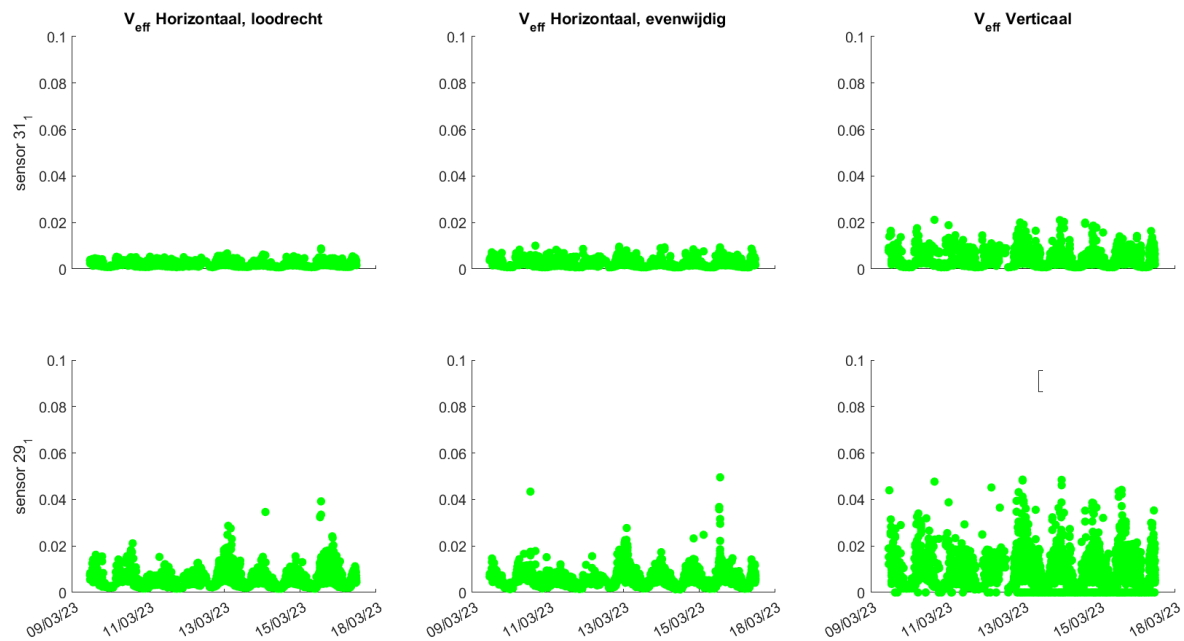
1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdspanne meting	<i>9 maart 2023 tot 17 maart 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Vierlaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 88</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 88</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 31_1 en 29_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D09 en D03) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 89</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 88, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 89. In de plansituatie komt er aan de zuidzijde een spoor bij.



Figuur 88: Opstelling sensoren

Er is een week gemeten in het gebouw. Op de vloer zijn diverse trillingen gemeten waaronder ook van treinen. Het hoogste trillingniveau ($V_{\text{eff,max}}$) door treinen is lager dan 0.05, waardoor er geen V_{max} kan worden vastgesteld volgens document LA.131001aM04.42. Ook in de toekomst, na de spoorverdubbeling, is V_{max} lager dan de streefwaarde A1, en wordt dus voldaan aan het beoordelingskader voor trillinghinder en -schade. De hier gemeten trillingen zijn vooral afkomstig van trillingen in het gebouw (lopen, gebruik van lift, etc.), zie Figuur 89.



Figuur 89: Meetresultaten

VII.11 Hof van Edinburgh 59 - Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 90.



Figuur 90: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

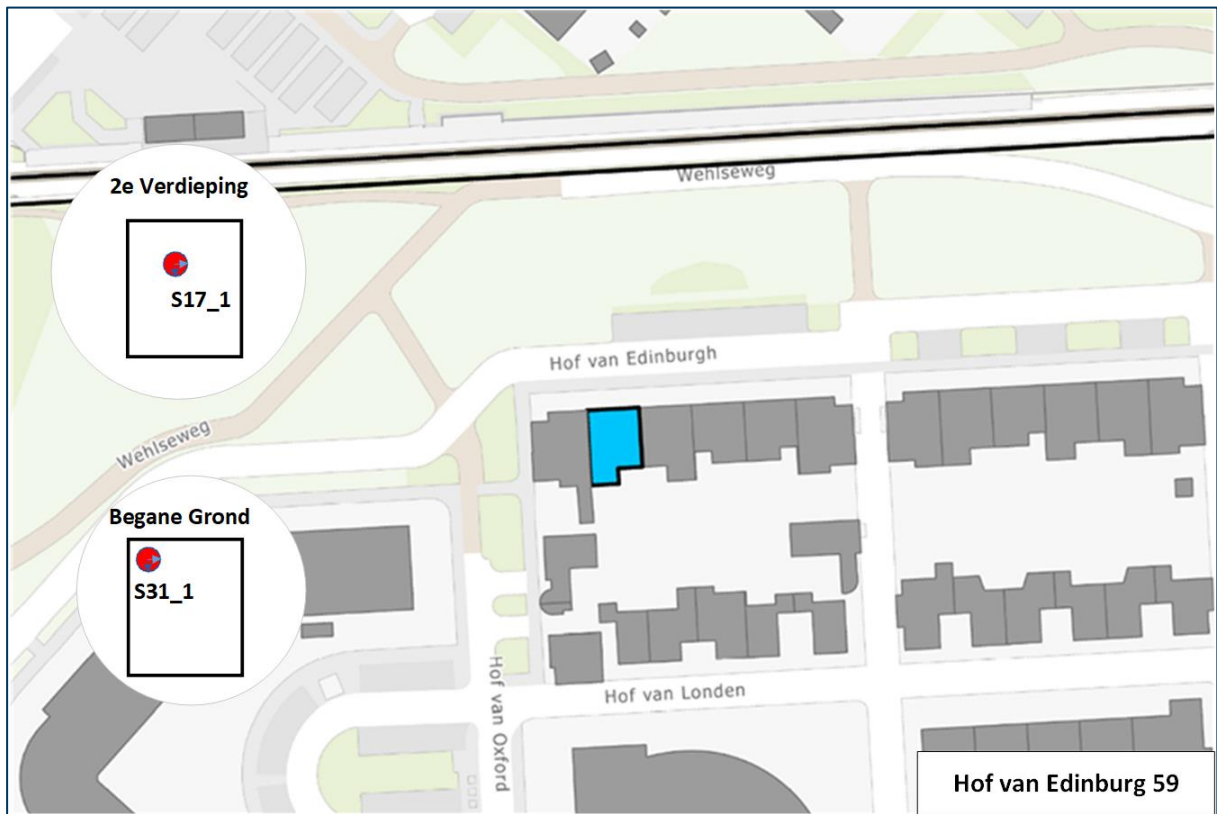
- Een driedimensionale trillingsensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (17_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 59.

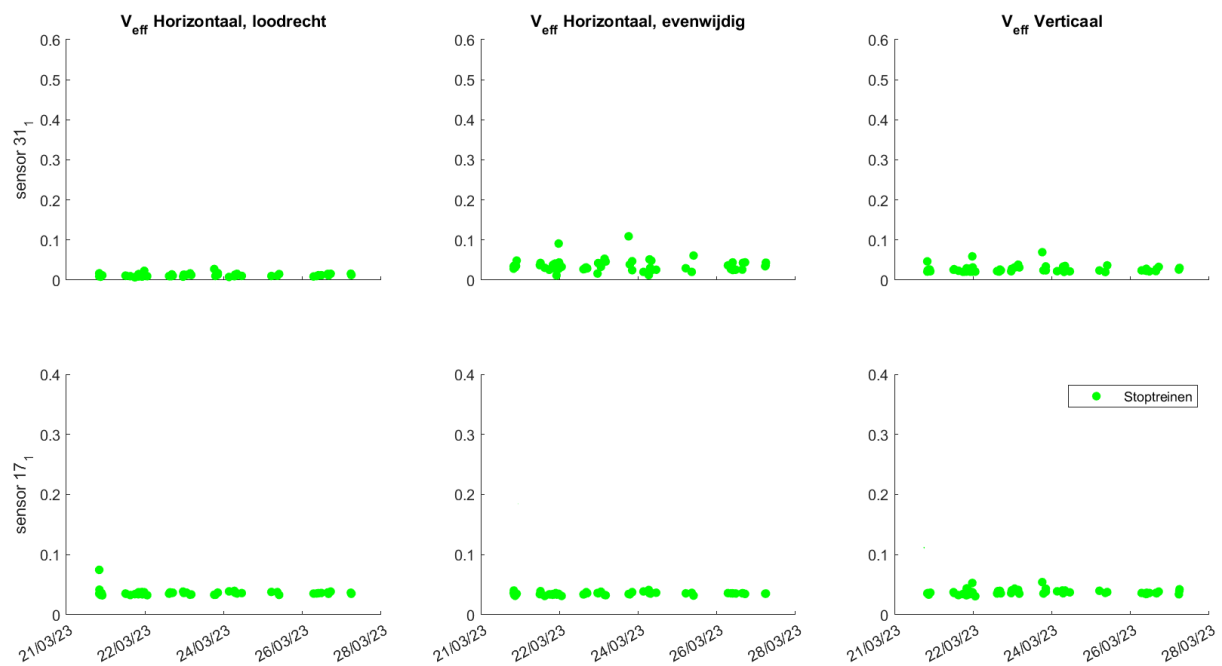
Tabel 59 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>21 maart 2023 tot 29 maart 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 91</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 91</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 31_1 en 17_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D34 en D37) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 92</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>-</i>

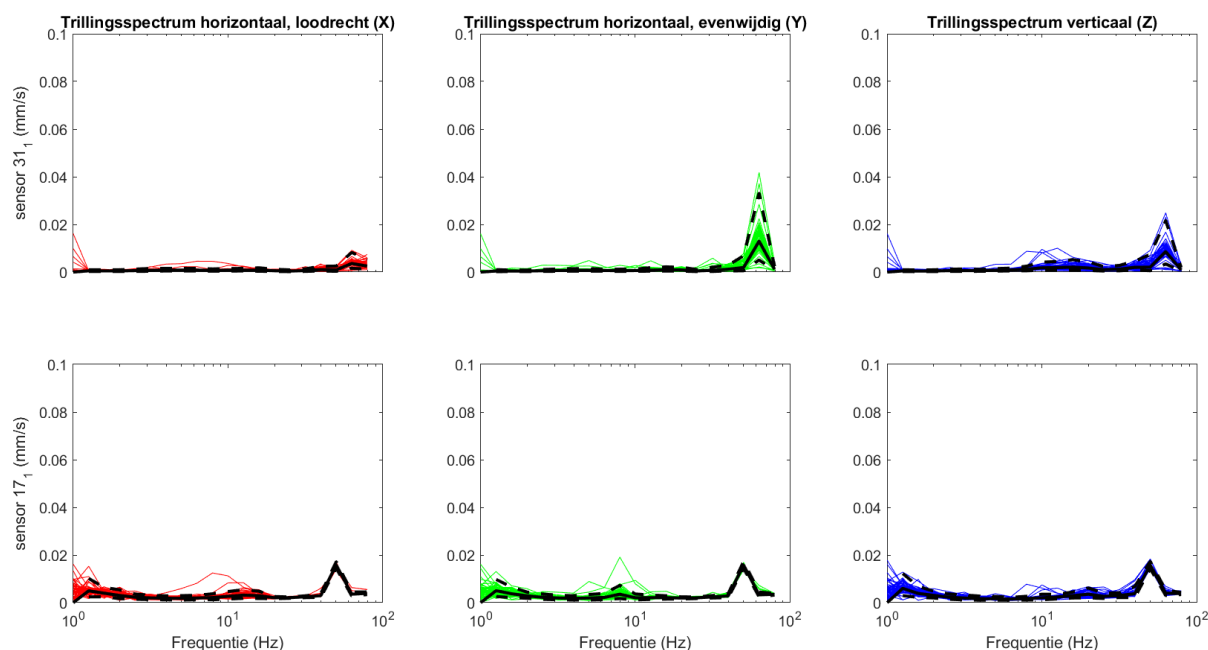
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 91, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 92 en Figuur 93. In de plansituatie komt er aan de zuidzijde een spoor bij.



Figuur 91: Opstelling sensoren



Figuur 92: Meetresultaten



Figuur 93: Trillingspectra meting

VII.11.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 60. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 60: Resultaten huidige situatie

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.02	0.07	0.05	0.07	0.07	0.07
R	8	8	8	8	8	8

Op deze locatie zijn 59 reizigerstreinen gemeten.

VII.11.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 61.

Tabel 61: Resultaten referentiesituatie 2015

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
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} , Bts	0.02	0.07	0.05	0.07	0.07	0.07
R	8	8	8	8	8	8

De trillingsterkte is niet veranderd t.o.v. de referentiesituatie uit 2015.

VII.11.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 53.

Tabel 62: Resultaten plansituatie

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.04	0.11	0.09	0.12	0.12	0.13
R	7	7	7	7	7	7

De Q-waarde bedraagt 1.7. De trillingsterkte neemt toe door het dichterbij komen van de sporen en de toename van de rijsnelheid.

VII.11.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2015 en de huidige situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde A3. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.12 Hof van Edinburgh 15 - Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 94.



Figuur 94: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

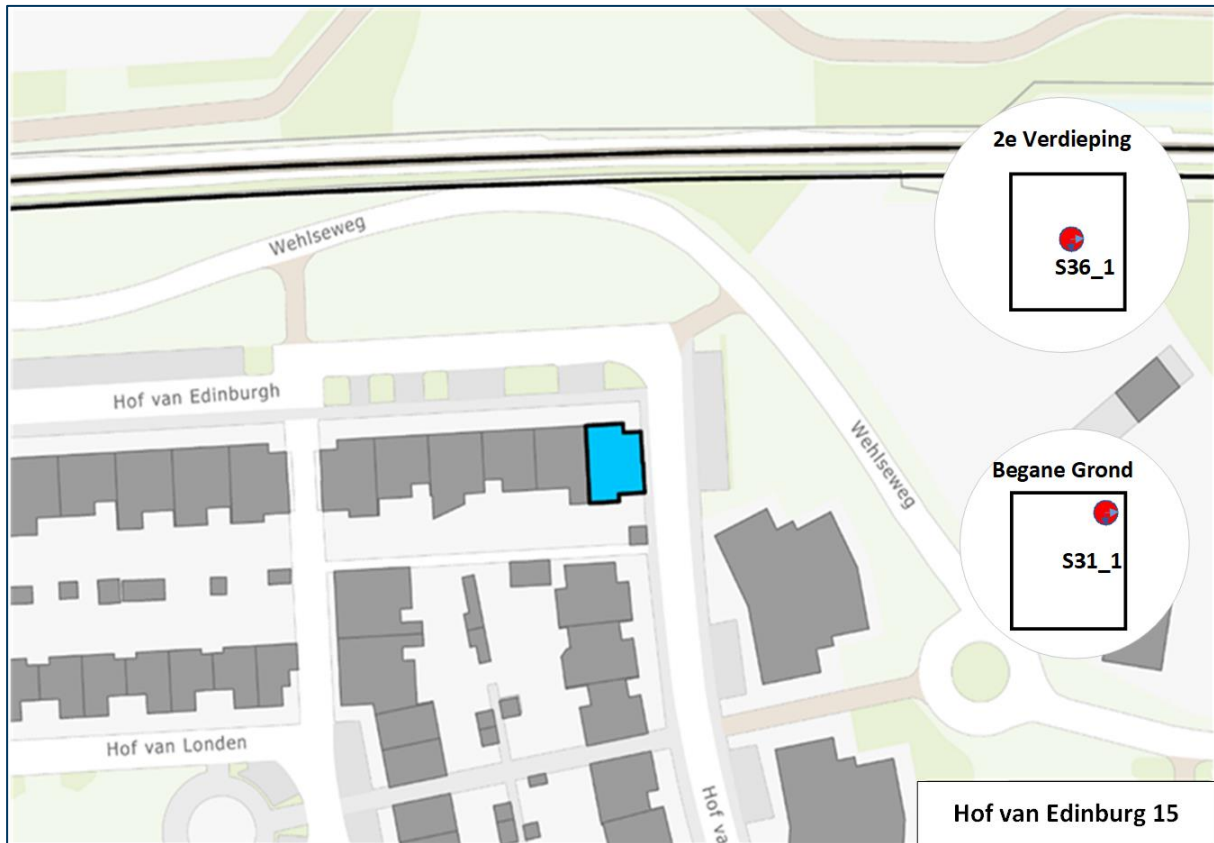
- Een driedimensionale trillingsensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (36_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 63.

Tabel 63 Gegevens meting

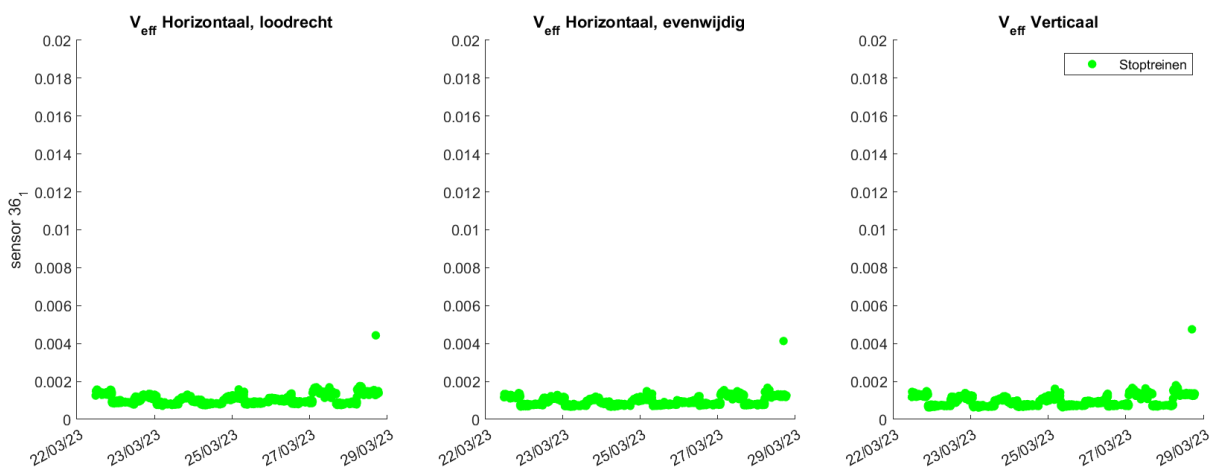
1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdperiode meting	<i>21 maart 2023 tot 30 maart 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	Zie Figuur 95
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 95
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons, 31_1 en 36_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D09 en D03) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 96
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 95, de resultaten van de metingen zijn weergegeven in Figuur 96 en Figuur 97. In de plansituatie komt er aan de zuidzijde een spoor bij.

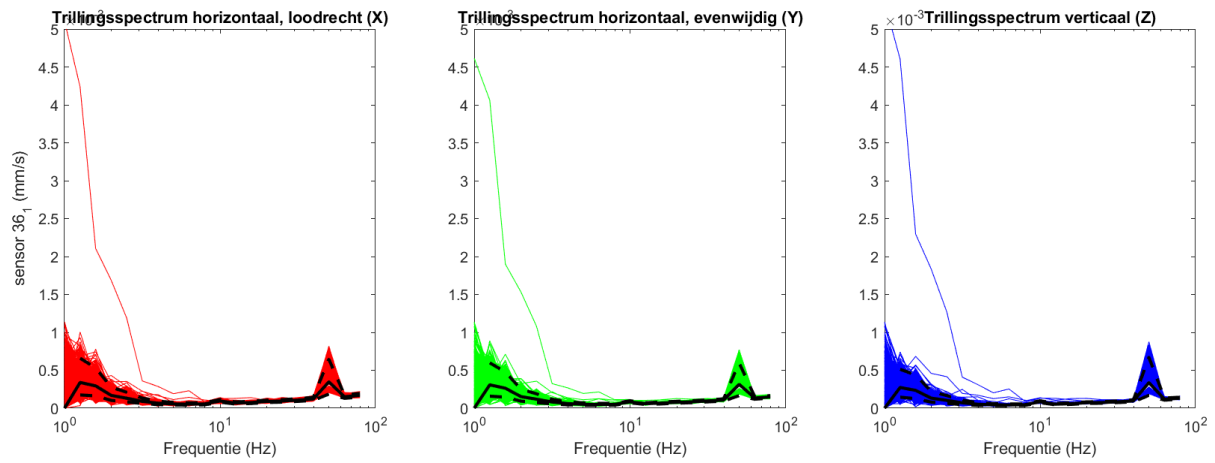


Figuur 95: Opstelling sensoren

Er is een week gemeten in het gebouw. Het hoogste trillingniveau ($V_{\text{eff,max}}$) door treinen is lager dan 0.05 (zie Figuur 96 (alleen voor maatgevende meetpunt op verdieping, meetpunt op fundering heeft geen bruikbare resultaten door lage trillingniveaus)), waardoor er geen V_{max} kan worden vastgesteld volgens document LA.131001aM04.42. Ook in de toekomst, na de spoorverdubbeling, is V_{max} lager dan de streefwaarde A1, en wordt dus voldaan aan het beoordelingskader voor trillinghinder en -schade.



Figuur 96: Meetresultaten



Figuur 97: Trillingspectra

VII.13 Uijenbroeklaan 61 Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 98.



Figuur 98: Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

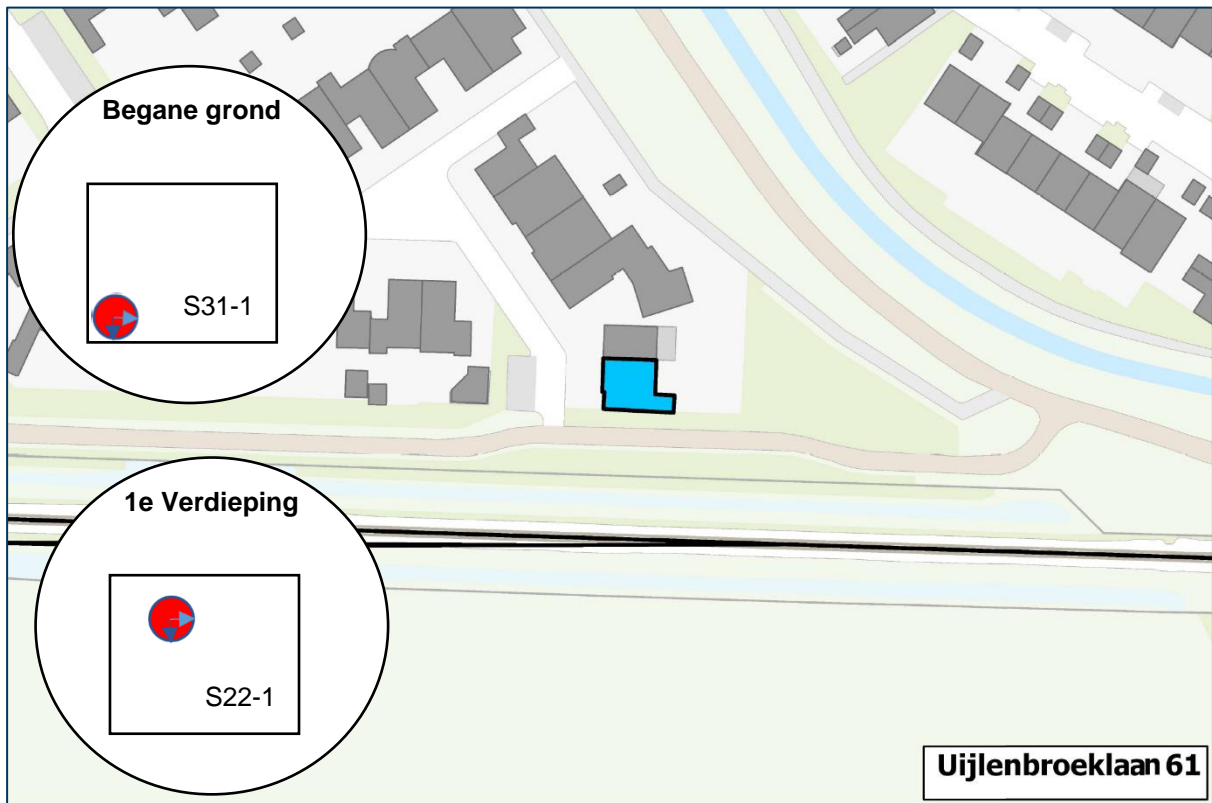
- Een driedimensionale trillingsensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingsensor (22_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 64.

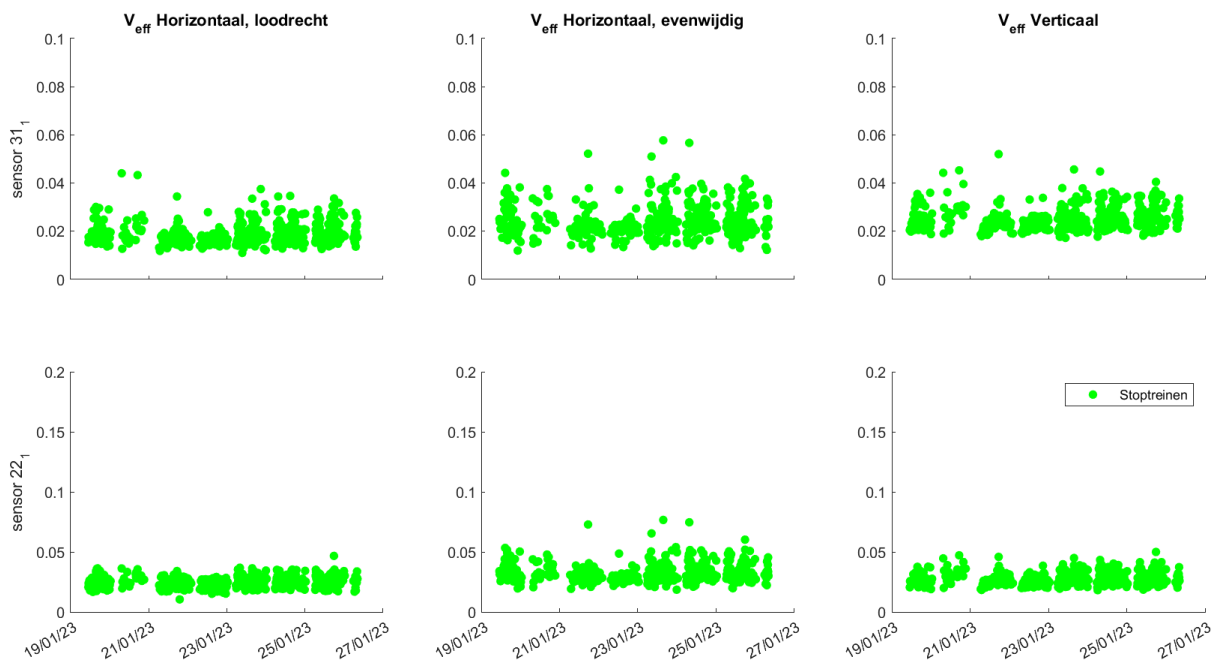
Tabel 64: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. K. Gasparotto, kareen.gasparotto@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>André Fredriksz, andre.fredriksz@movares.nl</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>19 januari 2023 tot 25 januari 2023</i>
4	Type trillingbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 99</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 99</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 31_1 en 22_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputers (D37 en D07) met 1 aangesloten kanaal</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 100</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

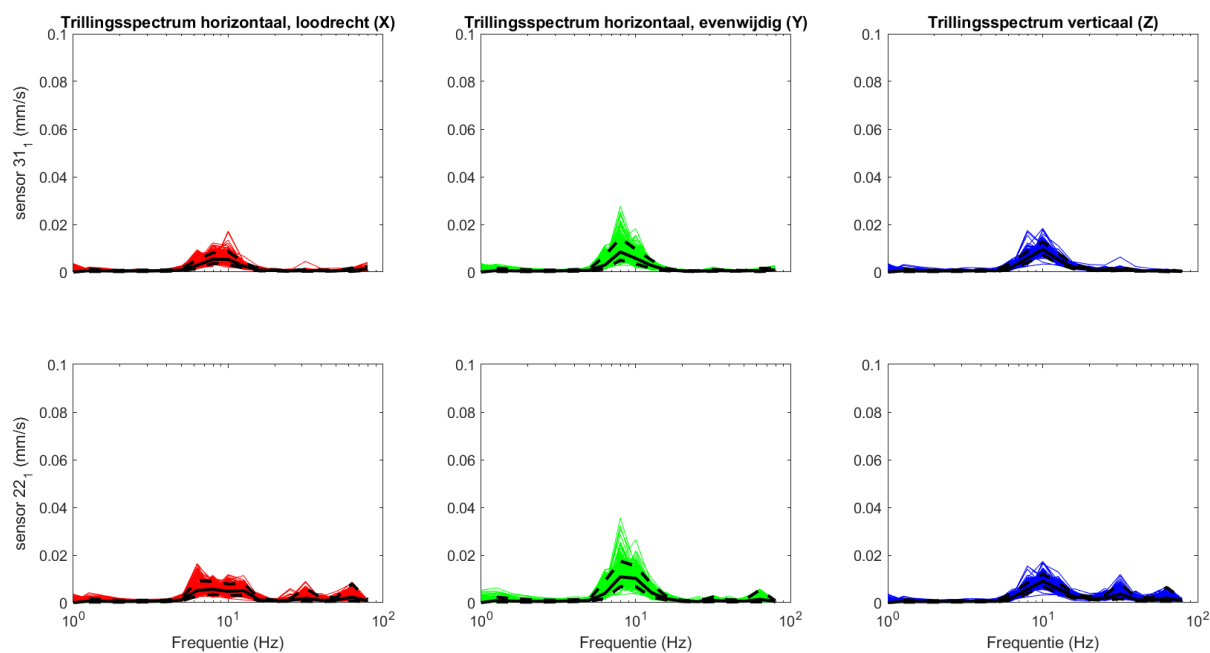
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 99, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 100 en Figuur 101. Voor deze woning komt een wissel in het spoor, ten westen daarvan wordt het spoor aan de zuidzijde verdubbeld.



Figuur 99: Opstelling sensoren



Figuur 100: Meetresultaten



Figuur 101: Trillingspectra meting

VII.13.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 65. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 65: Resultaten huidige situatie

	31_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vmax, Bts	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07
R	4	4	4	4	4	4

Op deze locatie zijn 545 reizigerstreinen gemeten.

VII.13.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2015

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2015 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 66.

Tabel 66: Resultaten referentiesituatie 2015

	31_1, stijf punt			21_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07
R	4	4	4	4	4	4

De trillingsterkte is niet veranderd ten opzichte van de referentiesituatie 2015.

VII.13.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 67.

Tabel 67: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	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} , Bts	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.08
R	7	7	7	7	7	7

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingsterkte neemt licht toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2015 en doordat er een wissel wordt geplaatst.

VII.13.4 Conclusies

De trillingsterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentie en huidige situatie, maar de toename is beperkt. Bovendien blijft de trillingsterkte lager dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingsnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

Bijlage VIII. Resultaten modelberekeningen

Deze bijlage bevat de resultaten van de modelberekeningen. De berekeningen zijn uitgevoerd met VibraDyna (zie Bijlage I), waarbij gebruikt is gemaakt van maaiveldmetingen (Bijlage V) om het model te verfijnen en woningmetingen (Bijlage VI en Bijlage VII) om de resultaten uit de modelberekeningen te kalibreren met in woningen gemeten resultaten.

Voor alle woningen waarin de trillingsterkte V_{max} in de plansituatie hoger is dan de streefwaarde A1, zijn de resultaten voor de referentiesituatie 2015 en de plansituatie hieronder weergegeven in Tabel 68, meetlocaties zijn blauw gearceerd.

Tabel 68: Resultaten modelberekeningen

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Poelwijkerlaan 12	6901JX	Zevenaar	0.1	0.2	1.5	0.00	0.01
Poelwijkerlaan 10	6901JX	Zevenaar	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Ringbaan-Zuid 1	6905DB	Zevenaar	0.1	0.2	2.3	0.00	0.00
Hengelder 2	6901PA	Zevenaar	0.2	0.2	1.1	0.01	0.01
Hengelder 2A	6901PA	Zevenaar	0.2	0.2	1.1	0.01	0.01
Stationsplein 4	6901BE	Zevenaar	0.1	0.2	2.1	0.00	0.00
Stationsplein 8	6901BE	Zevenaar	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Stationsplein 9	6901BE	Zevenaar	0.1	0.2	2.4	0.00	0.01
Dijksestraat 12a	6942GC	Didam	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Dijksestraat 8	6942GC	Didam	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Dijksestraat 6	6942GC	Didam	0.1	0.2	3.7	0.00	0.00
Dijksestraat 7	6942GA	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Dijksestraat 4	6942GC	Didam	0.1	0.2	4.0	0.00	0.00
Turnstraat 1c	6942DX	Didam	0.1	0.2	2.5	0.00	0.00
Pittelderstraat 5	6942GJ	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Pittelderstraat 4	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Dijksestraat 2	6942GC	Didam	0.1	0.2	2.7	0.00	0.01
Pittelderstraat 1	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.6	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Bergvredestraat 3	6942GK	Didam	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Pittelderstraat 1A	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.6	0.00	0.00
Pittelderstraat 2	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.7	0.00	0.00
Pittelderstraat 3	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.9	0.00	0.00
Pittelderstraat 3A	6942GJ	Didam	0.1	0.2	4.8	0.00	0.00
Judostraat 15A	6942DZ	Didam	0.1	0.2	2.7	0.00	0.01
Bergvredestraat 1a	6942GK	Didam	0.1	0.2	4.3	0.00	0.00
Eekhegstraat 8	6942GB	Didam	0.1	0.2	4.5	0.00	0.00
Judostraat 21	6942DZ	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Judostraat 19	6942DZ	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Judostraat 17	6942DZ	Didam	0.1	0.2	3.7	0.00	0.00
Spoorstraat 38	6942EE	Didam	0.1	0.3	2.5	0.00	0.01
Pittelderstraat 5a		Didam	0.2	0.5	2.8	0.00	0.04
Judostraat 15	6942DZ	Didam	0.1	0.2	3.8	0.00	0.00
Bergvredestraat 1	6942GK	Didam	0.1	0.3	5.5	0.00	0.00
Spoorstraat 36	6942EE	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Spoorstraat 33	6942EB	Didam	0.1	0.2	4.7	0.00	0.00
Stationslaan 2	6942EG	Didam	0.2	0.4	2.3	0.01	0.03
Spoorstraat 34	6942EE	Didam	0.1	0.2	3.9	0.00	0.00
Spoorstraat 32	6942EE	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Pittelderstraat 6	6942GJ	Didam	0.1	0.4	3.4	0.00	0.01
Spoorstraat 31a	6942EB	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Willibrordusweg 2	6942EN	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Stationslaan 3	6942EG	Didam	0.1	0.2	4.7	0.00	0.00
Stationslaan 5	6942EG	Didam	0.1	0.3	5.2	0.00	0.00
Pittelderstraat 8	6942GJ	Didam	0.1	0.4	4.0	0.00	0.01
Willibrordusweg 1	6942EK	Didam	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Willibrordusweg 2A	6942EN	Didam	0.1	0.2	3.6	0.00	0.00
Pittelderstraat 10	6942GJ	Didam	0.1	0.3	5.9	0.00	0.00
Stationslaan 7	6942EG	Didam	0.1	0.3	6.2	0.00	0.00
Willibrordusweg 4	6942EN	Didam	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Pittelderstraat 20	6942GJ	Didam	0.1	0.3	5.6	0.00	0.00
Stationslaan 5a		Didam	0.1	0.2	4.8	0.00	0.00
Stationslaan 9	6942EG	Didam	0.1	0.3	6.4	0.00	0.00
Bentemmerstraat 5	6942EZ	Didam	0.1	0.2	4.2	0.00	0.00
Parallelweg 5	6942EJ	Didam	0.1	0.3	6.7	0.00	0.00
Pittelderstraat 22	6942GJ	Didam	0.2	0.5	2.6	0.00	0.01
Parallelweg 9	6942EJ	Didam	0.1	0.4	4.0	0.00	0.00
Bentemmerstraat 3	6942EZ	Didam	0.1	0.3	3.4	0.00	0.00
Bentemmerstraat 1	6942EZ	Didam	0.1	0.3	2.6	0.00	0.01
Parallelweg 7	6942EJ	Didam	0.1	0.3	5.0	0.00	0.00
Parallelweg 17	6942EJ	Didam	0.1	0.4	3.2	0.00	0.01
Parallelweg 19A	6942EJ	Didam	0.2	0.5	3.0	0.00	0.01
Parallelweg 19	6942EJ	Didam	0.1	0.4	7.4	0.00	0.00
Parallelweg 21	6942EJ	Didam	0.2	0.5	2.7	0.03	0.05
Parallelweg 23	6942EJ	Didam	0.2	0.5	2.8	0.00	0.01
Parallelweg 25	6942EJ	Didam	0.2	0.5	2.7	0.00	0.01
Parallelweg 25a	6942EJ	Didam	0.2	0.5	2.7	0.00	0.01
Parallelweg 25b	6942EJ	Didam	0.1	0.4	3.6	0.00	0.00
Parallelweg 27	6942EJ	Didam	0.2	0.4	2.7	0.00	0.01
Parallelweg 27a	6942EJ	Didam	0.1	0.4	2.8	0.00	0.01
Parallelweg 27b	6942EJ	Didam	0.1	0.4	2.7	0.00	0.01
Parallelweg 27c	6942EJ	Didam	0.1	0.4	2.7	0.00	0.01
Oude Beekseweg 48	6942JA	Didam	0.2	0.3	1.6	0.01	0.02

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Oude Beekseweg 48A	6942JA	Didam	0.2	0.3	1.7	0.01	0.02
Oude Beekseweg 50	6942JA	Didam	0.2	0.3	1.6	0.01	0.02
Oude Beekseweg 50A	6942JA	Didam	0.1	0.2	1.6	0.01	0.02
Oude Beekseweg 52	6942JA	Didam	0.1	0.2	1.6	0.01	0.01
Wilhelminastraat 102	6942ET	Didam	0.1	0.2	5.0	0.00	0.00
Parallelweg 29	6942EJ	Didam	0.1	0.3	3.0	0.00	0.00
Wilhelminastraat 116a	6942ET	Didam	0.1	0.2	4.9	0.00	0.00
Wilhelminastraat 116	6942ET	Didam	0.1	0.2	4.9	0.00	0.00
Wilhelminastraat 100	6942ET	Didam	0.1	0.2	4.2	0.00	0.00
Wilhelminastraat 104	6942ET	Didam	0.1	0.3	5.6	0.00	0.00
Oude Beekseweg 54	6942JA	Didam	0.1	0.2	1.5	0.01	0.02
Wilhelminastraat 96	6942ET	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Wilhelminastraat 110	6942ET	Didam	0.1	0.3	5.7	0.00	0.00
Wilhelminastraat 118	6942ET	Didam	0.1	0.2	1.9	0.00	0.02
Wilhelminastraat 106	6942ET	Didam	0.1	0.3	5.6	0.00	0.00
Wilhelminastraat 108	6942ET	Didam	0.1	0.3	5.6	0.00	0.00
Wilhelminastraat 114	6942ET	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Wilhelminastraat 112	6942ET	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Wilhelminastraat 79	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Wilhelminastraat 105	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Wilhelminastraat 83	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Wilhelminastraat 85	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.6	0.00	0.00
Wilhelminastraat 107	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Wilhelminastraat 103	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Wilhelminastraat 87	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.7	0.00	0.00
Wilhelminastraat 89	6942ES	Didam	0.1	0.2	3.9	0.00	0.00
Wilhelminastraat 109	6942ES	Didam	0.1	0.2	2.4	0.00	0.00
Oude Beekseweg 45	6942JA	Didam	0.1	0.3	1.7	0.02	0.04
Wilhelminastraat 111	6942ES	Didam	0.1	0.2	2.0	0.00	0.00
Bascule 2	6942LT	Didam	0.1	0.2	1.8	0.00	0.01
Bascule 19	6942LT	Didam	0.1	0.2	1.7	0.00	0.01
Bascule 17	6942LT	Didam	0.1	0.2	1.7	0.00	0.01
Eg 10	6942LV	Didam	0.1	0.2	1.7	0.01	0.02
Eg 3	6942LV	Didam	0.1	0.2	1.6	0.01	0.02
Hoefijzer 23	6942LW	Didam	0.2	0.3	1.4	0.02	0.03
Hoefijzer 21	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.4	0.02	0.03
Hoefijzer 19	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.4	0.02	0.03
Hoefijzer 17	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.4	0.02	0.03
Hoefijzer 15	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.4	0.02	0.03
Hoefijzer 13	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.4	0.02	0.02
Hoefijzer 11	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.02	0.02
Hoefijzer 9	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.01	0.02
Hoefijzer 7	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.02	0.02

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Hoefijzer 5	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.01	0.02
Hoefijzer 3	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.01	0.02
Hoefijzer 1	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.01	0.02
Hoefijzer 25	6942LW	Didam	0.2	0.2	1.3	0.01	0.02
Zandweg 14	6942JE	Didam	0.2	0.3	1.3	0.01	0.02
Hoefijzer 24	6942LX	Didam	0.1	0.2	1.3	0.01	0.01
Hoefijzer 27	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.3	0.01	0.01
Zandweg 12	6942JE	Didam	0.2	0.2	1.3	0.01	0.02
Zandweg 11	6942JE	Didam	0.2	0.3	1.2	0.02	0.03
Hoefijzer 29	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.3	0.00	0.01
Zandweg 10	6942JE	Didam	0.2	0.2	1.2	0.00	0.01
Lange Klauwenhof 2	6942HZ	Didam	0.1	0.2	4.0	0.00	0.00
Hoefijzer 31	6942LW	Didam	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Zandweg 8	6942JE	Didam	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Zandweg 9	6942JE	Didam	0.1	0.2	1.9	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 10	6942HZ	Didam	0.1	0.3	5.4	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 7	6942HZ	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 8	6942HZ	Didam	0.1	0.2	4.8	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 80	6942JK	Didam	0.1	0.2	1.8	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 82	6942JK	Didam	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 78	6942JK	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 12	6942HZ	Didam	0.3	0.3	1.3	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 12A	6942HZ	Didam	0.2	0.3	1.3	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 43B	6942JJ	Didam	0.1	0.2	4.0	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 57	6942JJ	Didam	0.3	0.3	1.2	0.00	0.01
Prinses Beatrixstraat 61	6942JJ	Didam	0.4	0.4	1.1	0.01	0.01
Prinses Beatrixstraat 55	6942JJ	Didam	0.2	0.3	1.2	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Prinses Beatrixstraat 59	6942JJ	Didam	0.3	0.4	1.1	0.00	0.01
Prinses Beatrixstraat 43A	6942JJ	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 45	6942JJ	Didam	0.1	0.2	4.2	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 47	6942JJ	Didam	0.1	0.2	4.0	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 9	6942HZ	Didam	0.1	0.3	5.6	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 63	6942JJ	Didam	0.3	0.4	1.1	0.01	0.01
Lange Klauwenhof 11	6942HZ	Didam	0.2	0.3	1.5	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 69	6942JK	Didam	0.4	0.4	1.1	0.00	0.01
Lange Klauwenhof 14	6942HZ	Didam	0.4	0.5	1.2	0.01	0.01
Prinses Beatrixstraat 65	6942JK	Didam	0.1	0.2	4.9	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 67	6942JK	Didam	0.1	0.3	5.0	0.00	0.00
Lange Klauwenhof 13	6942HZ	Didam	0.4	0.4	1.2	0.04	0.05
Prinses Beatrixstraat 67a	6942JK	Didam	0.1	0.2	4.1	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 77	6942JK	Didam	0.3	0.3	1.3	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 73	6942JK	Didam	0.2	0.3	1.7	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 75	6942JK	Didam	0.2	0.3	1.5	0.00	0.00
Oldegoorweg 7a	6942PC	Didam	0.1	0.2	4.1	0.00	0.00
Oldegoorweg 7	6942PC	Didam	0.1	0.2	4.6	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 77A	6942JK	Didam	0.1	0.3	5.3	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 79	6942JK	Didam	0.4	0.4	1.1	0.00	0.01
Oldegoorweg 16	6942PC	Didam	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Prinses Beatrixstraat 81	6942JK	Didam	0.5	0.5	1.0	0.01	0.01
Heeghstraat 78a	6942PG	Didam	0.3	0.4	1.2	0.00	0.00
Geulecampweg 1	6942PB	Didam	0.3	0.4	1.3	0.00	0.00
Heeghstraat 80	6942PG	Didam	0.4	0.4	1.1	0.00	0.01
Heeghstraat 78b	6942PG	Didam	0.2	0.3	1.7	0.00	0.00
Heeghstraat 78	6942PG	Didam	0.3	0.4	1.2	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Oldegoorweg 18	6942PD	Didam	0.4	0.4	1.1	0.00	0.01
Geulecampweg 5	6942PB	Didam	0.1	0.2	4.9	0.00	0.00
Gravenpark 1	6942PR	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Gravenpark 3	6942PR	Didam	0.1	0.2	4.4	0.00	0.00
Frieslandweg 3	6942PT	Didam	0.1	0.2	4.5	0.00	0.00
van Rouwenoortweg 56a	6942PK	Didam	0.2	0.3	1.5	0.00	0.00
Frieslandweg 1	6942PT	Didam	0.2	0.3	1.3	0.00	0.00
Frieslandweg 1a	6942PT	Didam	0.2	0.3	1.4	0.00	0.00
van Rouwenoortweg 56	6942PK	Didam	0.1	0.2	3.7	0.00	0.00
van Rouwenoortweg 43	6942PK	Didam	0.2	0.3	1.6	0.00	0.00
van Rouwenoortweg 43a	6942PK	Didam	0.2	0.3	1.6	0.00	0.00
Toppegaiweg 1	6942PS	Didam	0.1	0.2	3.9	0.00	0.00
Holthuiserstraat 22	6942PM	Didam	0.1	0.2	4.6	0.00	0.00
Parkweg 2	6942PP	Didam	0.3	0.4	1.2	0.01	0.01
Holthuiserstraat 23	6942PM	Didam	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Toppegaiweg 2	6942PS	Didam	0.2	0.3	1.3	0.00	0.01
Toppegaiweg 2a	6942PS	Didam	0.2	0.3	1.3	0.00	0.01
Parkweg 1	6942PP	Didam	0.2	0.2	1.6	0.00	0.00
Toppegaiweg 4	6942PS	Didam	0.2	0.3	1.4	0.02	0.04
Toppegaiweg 5	6942PS	Didam	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Parkweg 4	6942PP	Didam	0.2	0.2	1.4	0.00	0.00
Parkweg 3	6942PP	Didam	0.1	0.2	3.9	0.00	0.00
Parkweg 6	6942PP	Didam	0.2	0.3	1.3	0.01	0.01
Parkweg 5	6942PP	Didam	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Parkweg 16	6942PP	Didam	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Schopperdenseweg 2	7031XG	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Beekseweg 39A	7031AV	Wehl	0.1	0.2	1.5	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Schopperdensedeweg 4	7031XG	Wehl	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Schopperdensedeweg 10	7031XG	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Schopperdensedeweg 8	7031XG	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Prins Mauritsstraat 91	7031XW	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Schopperdensedeweg 7	7031XG	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Schopperdensedeweg 5	7031XG	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Prins Mauritsstraat 50	7031XZ	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 16	7031XJ	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 18	7031XJ	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Beekseweg 50	7031AX	Wehl	0.3	0.3	1.1	0.01	0.01
Prins Pieterstraat 14	7031XJ	Wehl	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 20	7031XJ	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 23	7031XJ	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 21	7031XJ	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Prins Pieterstraat 19	7031XJ	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Leemkuilseweg 36	7031XN	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Leemkuilseweg 34	7031XN	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Leemkuilseweg 32	7031XN	Wehl	0.1	0.2	1.5	0.00	0.00
Leemkuilseweg 41	7031XL	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Leemkuilseweg 39	7031XL	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Leemkuilseweg 37	7031XL	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Leemkuilseweg 35	7031XL	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Leemkuilseweg 33	7031XL	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Beekseweg 39	7031AV	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.02	0.03
Leemkuilseweg 31	7031XL	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Veenweg 107	7031GJ	Wehl	0.1	0.2	3.7	0.00	0.00
Beekseweg 48	7031AX	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Leemkuilseweg 38X		Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Leemkuilseweg 38X		Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Leemkuilseweg 38X		Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Beekseweg 37	7031AV	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Leemkuilseweg 38X		Wehl	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Beekseweg 46	7031AX	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Leemkuilseweg 38	7031XN	Wehl	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Beekseweg 35	7031AV	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Beekseweg 44	7031AX	Wehl	0.1	0.2	3.6	0.00	0.00
Beekseweg 42	7031AX	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Beekseweg 33	7031AV	Wehl	0.1	0.2	1.6	0.00	0.00
Raphaëlstraat 5	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Veenweg 2	7031GJ	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Beekseweg 40	7031AX	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Raphaëlstraat 3	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.01
Raphaëlstraat 3B	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Raphaëlstraat 3A	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.01
Ripperbansveen 21	7031LV	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Ripperbansveen 19	7031LV	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Beekseweg 38	7031AX	Wehl	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Beekseweg 31	7031AV	Wehl	0.1	0.2	3.5	0.00	0.00
Veenweg 6	7031GJ	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.01
Veenmos 8	7031LW	Wehl	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Ripperbansveen 17	7031LV	Wehl	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Raphaëlstraat 1E	7031BA	Wehl	0.2	0.3	1.2	0.00	0.01
Raphaëlstraat 7	7031BA	Wehl	0.1	0.2	1.5	0.00	0.00
Veenweg 4	7031GJ	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.01

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Ripperbansveen 15	7031LV	Wehl	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Raphaëlstraat 9	7031BA	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Veenmos 6	7031LW	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Ripperbansveen 13	7031LV	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Raphaëlstraat 1D	7031BA	Wehl	0.2	0.3	1.2	0.00	0.01
Kleine Veenbes 8	7031LX	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Veenmos 5	7031LW	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Veenmos 7	7031LW	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Veenmos 4	7031LW	Wehl	0.1	0.2	1.6	0.00	0.00
Ripperbansveen 11	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Kleine Veenbes 6	7031LX	Wehl	0.1	0.2	1.7	0.00	0.00
Veenmos 2	7031LW	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Ripperbansveen 9	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Veenmos 3	7031LW	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 3	7031LA	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Kleine Veenbes 2	7031LX	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Kleine Veenbes 4	7031LX	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Veenmos 1	7031LW	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Raphaëlstraat 6	7031BA	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Ripperbansveen 1	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Ripperbansveen 5	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Ripperbansveen 7	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Ripperbansveen 3	7031LV	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Doetinchemseweg 5B	7031EP	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 5	7031LA	Wehl	0.1	0.2	1.8	0.00	0.00
Doetinchemseweg 5	7031EP	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Doetinchemseweg 5A	7031EP	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Raphaëlstraat 1C	7031BA	Wehl	0.2	0.3	1.2	0.00	0.01
Motketel 5	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 7	7031LA	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Motketel 6	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Motketel 12	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Raphaëlstraat 1	7031BA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Beste Vaderskamp 8	7031LA	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Motketel 10	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 9	7031LA	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Motketel 7	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.2	0.00	0.00
Motketel 8	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.2	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 11	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 10	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Motketel 9	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 13	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Raphaëlstraat 4	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Motketel 67	7031LB	Wehl	0.1	0.2	1.1	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 15	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Motketel 65	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 12	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 17	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Motketel 11	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Motketel 63	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 69	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Doetinchemseweg 2	7031ER	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Motketel 39	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 13	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Beste Vaderskamp 14	7031LA	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 31	7031BM	Wehl	0.3	0.3	1.1	0.02	0.02
Motketel 61	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Doetinchemseweg 1	7031EP	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Lambertusstraat 17	7031BB	Wehl	0.2	0.2	1.3	0.00	0.00
Motketel 71	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 37	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 15	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 41	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Raphaëlstraat 2	7031BA	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Motketel 59	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Doetinchemseweg 3	7031EP	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Motketel 35	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 17	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.01
Lambertusstraat 4	7031BB	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Motketel 57	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Motketel 73	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 27	7031LA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Motketel 43	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.01
Beste Vaderskamp 25	7031LA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Beste Vaderskamp 23	7031LA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Beste Vaderskamp 21	7031LA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Isidorusstraat 22	7031BG	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Beste Vaderskamp 19	7031LA	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Motketel 19	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Motketel 55	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Motketel 33	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Motketel 45	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Lambertusstraat 15	7031BB	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Motketel 21	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Motketel 53	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Motketel 31	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Stationsstraat 32	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Motketel 23	7031LB	Wehl	0.3	0.3	1.0	0.01	0.01
Motketel 51	7031LB	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Lambertusstraat 13	7031BB	Wehl	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Motketel 47	7031LB	Wehl	0.3	0.2	0.9	0.01	0.01
Motketel 25	7031LB	Wehl	0.3	0.3	1.0	0.01	0.01
Motketel 29	7031LB	Wehl	0.3	0.3	1.0	0.01	0.01
Motketel 49	7031LB	Wehl	0.3	0.3	0.9	0.01	0.01
Bleeksestraat 6	7031EL	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Stationsstraat 30A	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Stationsstraat 30B	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Motketel 27	7031LB	Wehl	0.3	0.3	1.0	0.01	0.01
Isidorusstraat 23	7031BG	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Isidorusstraat 20	7031BG	Wehl	0.1	0.2	3.3	0.00	0.00
Stationsstraat 30	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Bleeksestraat 4A	7031EL	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Bleeksestraat 4	7031EL	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.2	0.3	1.1	0.01	0.01
Isidorusstraat 21	7031BG	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Stationsstraat 26	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 26	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 27C	7031BN	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 26	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 27B	7031BN	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 27A	7031BN	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.01
Stationsstraat 28	7031BR	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Stationsstraat 26A	7031BR	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Stationsstraat 26	7031BR	Wehl	0.2	0.2	1.2	0.00	0.00
Nijverheidsweg 2	7031BV	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Nijverheidsweg 4	7031BV	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.01	0.01
Nijverheidsweg 4A	7031BV	Wehl	0.3	0.2	1.0	0.01	0.01
Nijverheidsweg 6	7031BV	Wehl	0.3	0.2	1.0	0.01	0.01
Nijverheidsweg 10	7031BV	Wehl	0.3	0.2	0.9	0.01	0.01
Stationsstraat 27	7031BN	Wehl	0.1	0.2	1.3	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 2	7031BT	Wehl	0.1	0.2	1.2	0.00	0.00

Straat + huisnummer	Postcode	Woonplaats	Trillingsterkte V_{max}			Gemiddelde trillingsterkte V_{per}	
			Ref	Plan	Q	Ref	Plan
Nijverheidsweg 12B	7031BV	Wehl	0.2	0.2	0.9	0.01	0.01
Diepenbroekstraat 4	7031BT	Wehl	0.2	0.2	1.1	0.00	0.00
Stationsstraat 24	7031BR	Wehl	0.1	0.2	3.4	0.00	0.00
Nijverheidsweg 1A	7031BW	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Nijverheidsweg 1	7031BW	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Nijverheidsweg 12	7031BV	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Nijverheidsweg 3A	7031BW	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Nijverheidsweg 3	7031BW	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 3	7031BT	Wehl	0.1	0.2	1.4	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 1	7031BT	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 5	7031BT	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 7	7031BT	Wehl	0.1	0.2	3.2	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 9	7031BT	Wehl	0.1	0.2	3.1	0.00	0.00
Nijverheidsweg 14A	7031BV	Wehl	0.1	0.2	1.1	0.00	0.00
Diepenbroekstraat 11	7031BT	Wehl	0.1	0.2	3.0	0.00	0.00
Winnipegstraat 2	7007AE	Doetinchem	0.2	0.2	0.9	0.04	0.04
Winnipegstraat 2X		Doetinchem	0.2	0.2	0.9	0.05	0.05
Groenestraat 23B	7031EH	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Groenestraat 23	7031EH	Wehl	0.2	0.2	1.0	0.00	0.00
Jan Willinkstraat 2	7006NA	Doetinchem	0.2	0.2	1.0	0.02	0.04
Jan Willinkstraat 2A	7006NA	Doetinchem	0.2	0.2	1.0	0.02	0.03

Bijlage IX. Maatregelenonderzoek

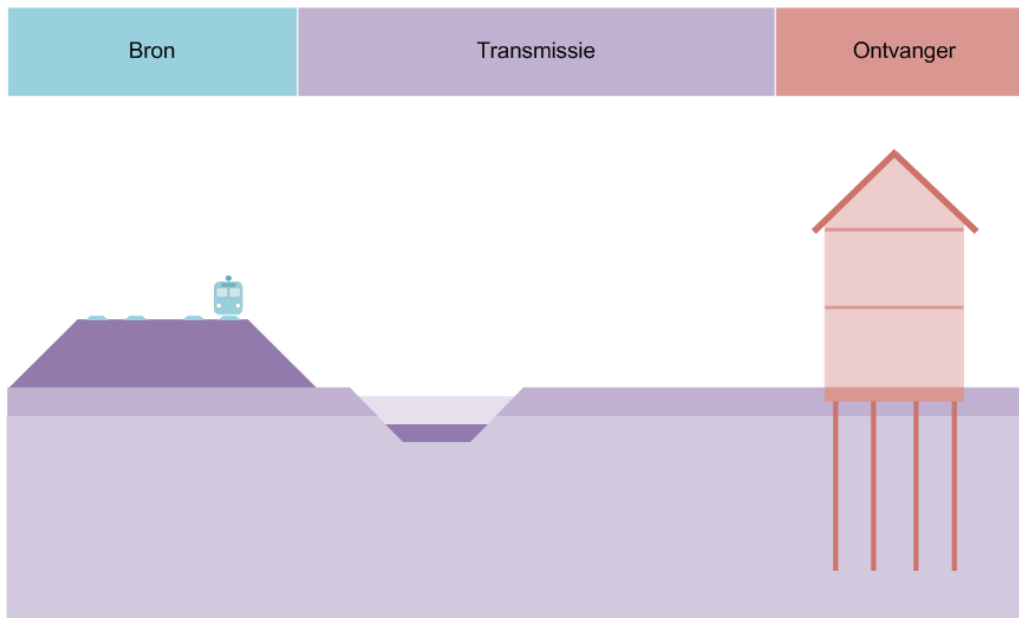
Deze bijlage bevat de resultaten van het uitgevoerde maatregelenonderzoek voor clusters waar op basis van het trillingonderzoek een kans is op overschrijdingen. In deze bijlage gaan we eerst in op de mogelijk te nemen maatregelen, daarna op de gevolgde methodiek en tenslotte gaan we per cluster in op het uitgevoerde maatregelenonderzoek.

IX.1 Mogelijke maatregelen

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

1. Bij de bron (treinen¹⁸ 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 102.



Figuur 102: Schematisch overzicht spoorstelsel

Er zijn twee mogelijke principes om de trillinghinder 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.
- 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 trillingen van treinverkeer 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 trillingsterkte niet of veel minder reduceren. Het uitvoeren van een maatregelenonderzoek vindt daarom altijd locatiespecifiek plaats.

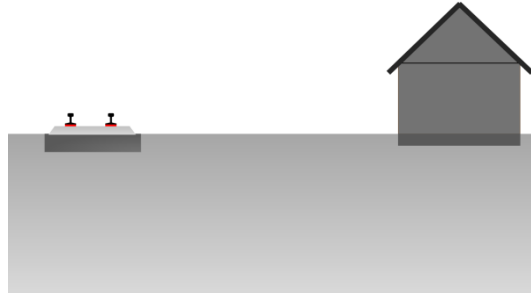
¹⁸ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

In het voorliggende onderzoek is door middel van bronnenonderzoek, expertinterviews en brainstormsessies een breed scala aan mogelijke trillingmaatregelen bepaald. De verschillende types maatregelen worden in de onderstaande subparagrafen nader toegelicht.

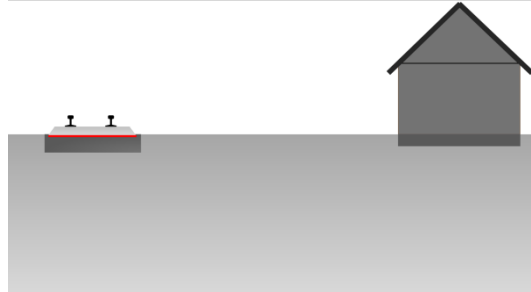
IX.1.1 Mogelijke maatregelen aan de bron

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

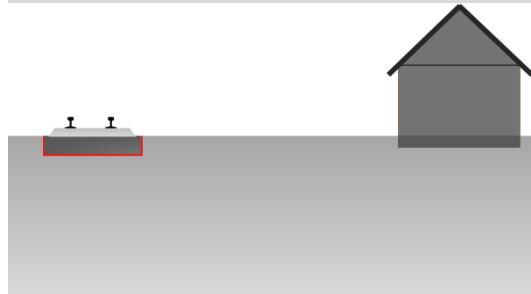
Railpads, een verende constructie tussen spoorstaaf en dwarsligger, vaak in de vorm van een rubberen plaat.



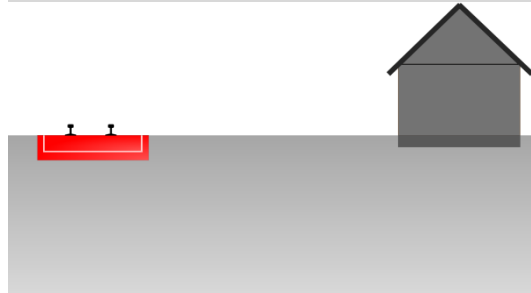
Under sleeper pads, een verende constructie tussen dwarsligger en ballast of betonplaat, vaak in de vorm van een rubberen plaat.



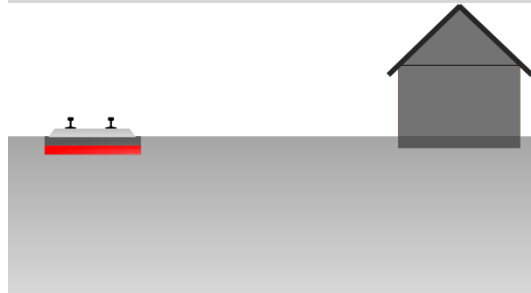
Ballastmatten, een verende constructie onder de ballast, vaak in de vorm van een rubberen mat. Om deze maatregel bij een aardebaansituatie toe te passen, dient de ballastmat aan de zijkant te worden opgesloten en is een goede afwatering van belang.



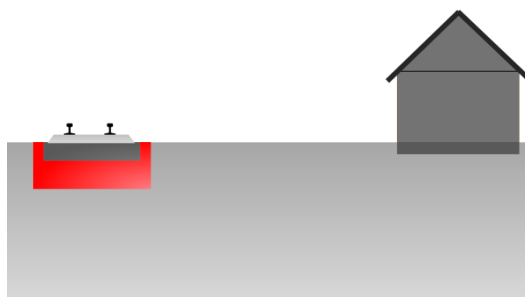
Floating slab track, een verende oplegging van het gehele spoorstelsel. Het effect hangt sterk af van de gekozen constructie (eigenfrequentie en demping).



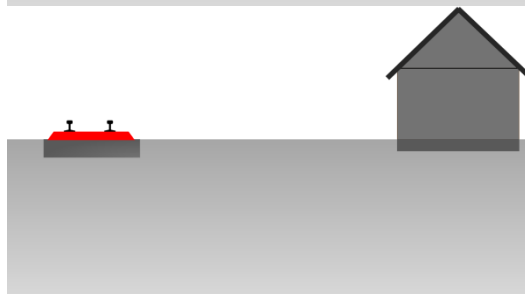
Slab track, een betonplaat onder de ballast. Deze maatregel heeft vaak alleen effect bij lage frequenties en een slappe bodem door de minimalisatie van zettingsverschillen in het spoor. De maatregel kan worden gecombineerd met een slappe ballastmat om meer effect te bereiken.



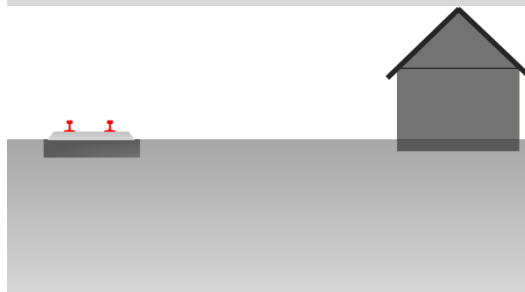
Aanpassen van de bodem onder het spoor, bijvoorbeeld door het toepassen van grondverbetering of het realiseren van een zettingsvrije plaat (onderheide betonnen plaat).



Aanpassing dwarsliggers, door de stijfheid of massa van de dwarsliggers aan te passen (grotere dwarsliggers, ander materiaal, holle dwarsliggers, wide sleepers, frame sleepers, laddertrack, etc.) kunnen de trillingen worden gereduceerd.



Aanpassing spoorligging, bijvoorbeeld door het verplaatsen van wissels en andere oneffenheden in het spoor, zoals de aansluiting tussen aardebaan en kunstwerk. Deze oneffenheden hebben vooral op korte afstand (minder dan 50 meter) tot het spoor een grote invloed op de trillingsterkte.



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 treinwagons.¹⁹



IX.1.2 Mogelijke maatregelen aan de transmissie of overdracht

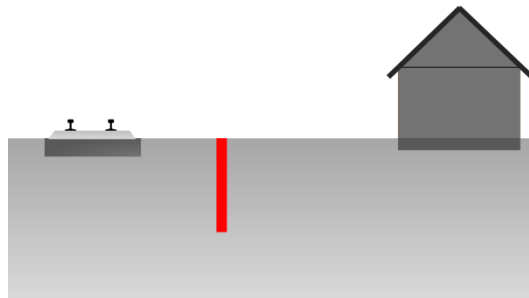
Bij maatregelen aan de transmissie (of de overdracht) kan een afname van de trillingen worden bereikt door de trillingen te absorberen of te reflecteren. Absorptie van trillingen is praktisch vrijwel niet uitvoerbaar, reflectie van trillingen kan worden bereikt door het introduceren van een fysieke barrière tussen de bron en de ontvanger. Een dergelijke barrière kan worden gerealiseerd met een zeer licht materiaal zoals EPS²⁰ (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:

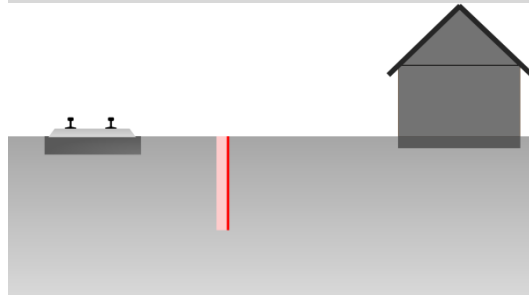
¹⁹ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

²⁰ EPS is een kunststof bestaande uit geëxpandeerd polystyreen, in de volksmond bekend als piepschuim.

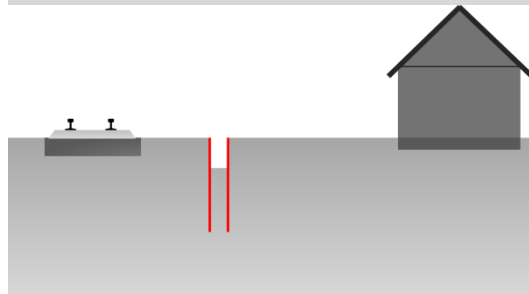
Trillingreducerende ondergrondse constructie (TROC), bijvoorbeeld van beton, jetgrout, een damwand, prefab L-wand, Mix-In-Place of EPS. Een dergelijke constructie kan de trillingen absorberen (bij een zware constructie) of reflecteren, waardoor er een barrière ontstaat tussen bron en ontvanger.



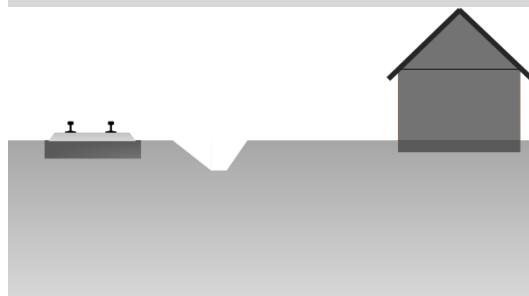
Beklede trillingreducerende ondergrondse constructie (beklede TROC), waarbij de barrière wordt voorzien van een extra laag slap materiaal, bijvoorbeeld rubber, om een extra impedantiesprong te creëren. Deze maatregel heeft doorgaans meer effect dan een niet-beklede barrière.



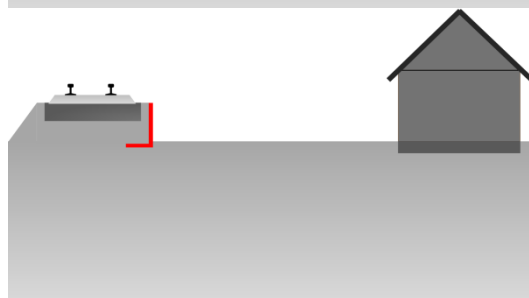
Toepassen van een sleuf en damwand(en), bij deze constructie wordt een smalle sloot of EPS-constructie gerealiseerd naast een of tussen twee damwanden. De verschillende materialen zorgen voor impedantiesprongen, waardoor reflectie van de trillinggolven optreedt.



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



Aanpassen talud, 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 afhankelijk is van de bodemopbouw ter plekke, maar ook van het type trein bijvoorbeeld. Het effect van een maatregel wordt daarom altijd frequentieafhankelijk doorgerekend, om rekening te houden met deze mogelijke verschillen in effect.

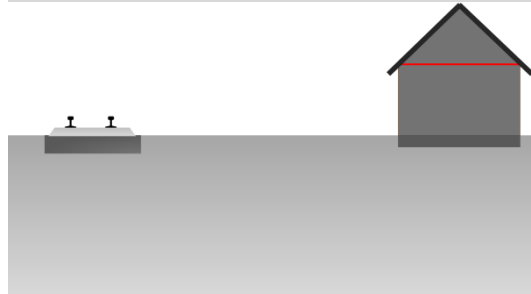
IX.1.3 Mogelijke maatregelen aan de ontvanger

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:

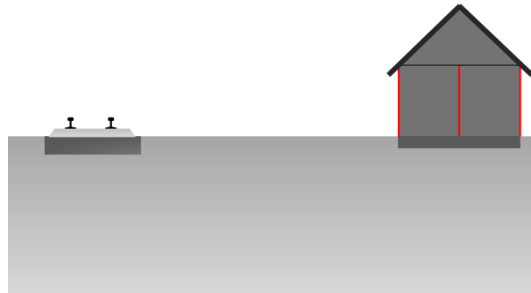
Amoveren, de gebouwen worden opgekocht en de bewoners of gebruikers verhuizen.



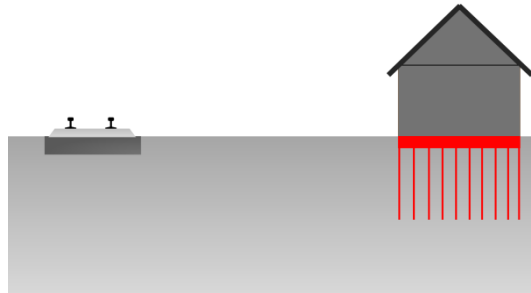
Verstijven van vloeren, hierbij worden (veelal houten) vloeren vervangen of verstevigd door stalen of betonnen elementen. Bij betonnen vloeren kan de massa van de vloer worden vergroot. Bij houten vloeren kan een dragende dekvloer worden toegepast of kunnen de vloerbalken worden verstevigd door middel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



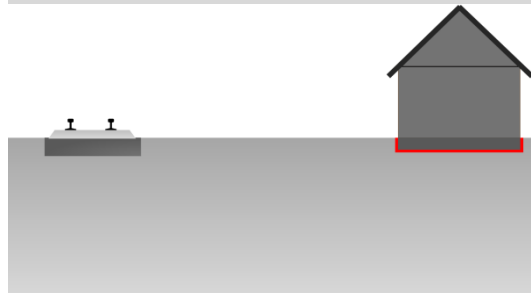
Verstijven van muren, hierbij worden buitenmuren verstevigd, of niet-constructieve binnenwanden vervangen door constructieve binnenwanden. Een andere mogelijkheid is het toevoegen van steunberen aan de buitenzijde van de woning, waardoor de woning breder wordt en een andere eigenfrequentie en demping kent.



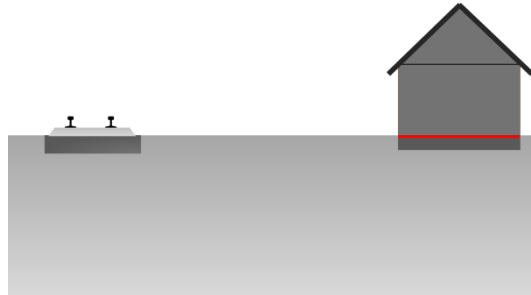
Onderheien, verzwaren van de fundering van de woning, waardoor de bedding in de ondergrond toeneemt. Dit kan bereikt worden door de woning te onderheien of grout- of gelinfectie toe te passen onder de woning.



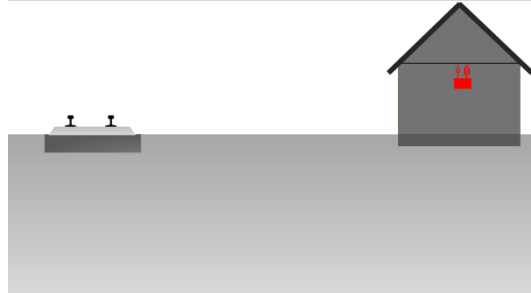
Inpakken van de fundering, vooral bij gebouwen die op staal zijn gefundeerd. Hierbij wordt de fundering ingepakt in een dempend materiaal, bijvoorbeeld rubber of EPS.



Afgeveerde vloer, het toepassen van een afgeveerde vloer in een woning, deze maatregel is vooral effectief tegen hoogfrequente trillingen (vanaf 5 Hz), en is vooral toepasbaar op betonnen vloeren.



Tuned mass damper, een afgeregeld massa-veersysteem dat trillingen kan uitdempem toepassen in een woning. Zo'n tuned mass damper (TMD) wordt aangepast op de eigenfrequentie van de vloeren, maar werkt doorgaans alleen bij een scherpe piek in het trillingspectrum, omdat omliggende frequenties vaak worden opgeslingerd.



IX.1.4 Selectie van maatregelen

Om niet onnodig onderzoek te doen naar kansloze maatregelen, is een eerste preselectie gemaakt van maatregelen voor dit project. Hierbij is op basis van expert judgment en ervaring in eerdere projecten voor alle mogelijke maatregelen gekeken naar de inpasbaarheid, uitvoerbaarheid, onderhoudbaarheid, robuustheid en effectiviteit tegen trillingen. Op basis daarvan is een kwalificatie gegeven of de maatregel mogelijk doelmatig kan zijn, en dus interessant kan zijn voor nader onderzoek. Deze preselectie is weergegeven in Tabel 46. Hierbij geldt dat een aantal maatregelen buiten de scope van het project valt (m.n. maatregelen aan de voertuigen, rijnsnelheid (omdat de verhoging van de rijnsnelheid samenhangt met de uitvoerbaarheid van het project) of het verwijderen van overwegen), en dat met name maatregelen aan gebouwen buiten beschouwing worden gelaten vanwege de hoge kosten, vaak beperkte effectiviteit, impact op de woonbaarheid en de langdurige overlast voor bewoners. Deze maatregelen, die dus op voorhand niet doelmatig zijn, zijn niet nader onderzocht.

Tabel 69: Preselectie maatregelen

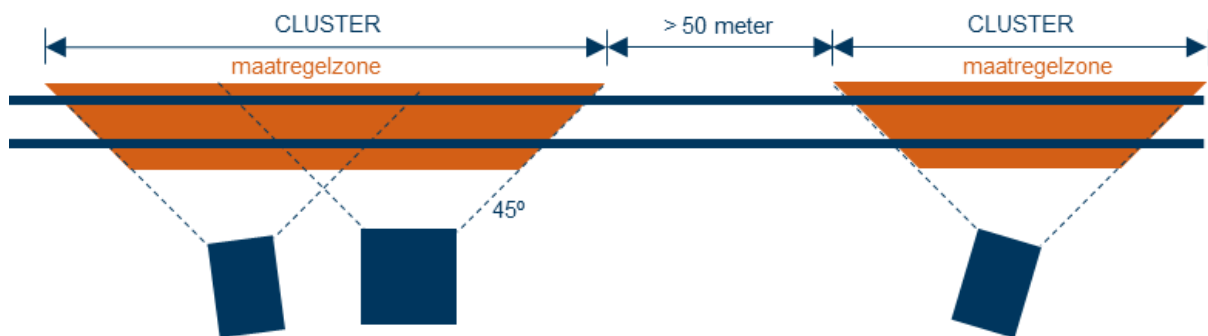
Type maatregel	Inpasbaar	Uitvoerbaar	Onderhoudbaar	Robuust	Effectiviteit	Mogelijk doelmatig
Bronmaatregelen						
Railpads	+	++	0	-	-	Nee, niet effectief
Under sleeper pads	+	++	+	-	> 30 Hz	Ja
Ballastmatten	0	-	0	0	> 15 Hz	Ja
Floating slab track	0	--	-	++	++	Ja
Slab track (betonplaat)	0	-	+	+	< 10 Hz	Ja
Slab track met ballastmat	0	-	+	++	++	Ja
Zettingsvrije plaat	0	--	+	+	< 10 Hz	Ja
Laddertrack	0	--	+	+	0	Ja
Wide sleeper track	0	--	0	+	0	Ja
Frequenter spooronderhoud	0	-	-	-	> 8 Hz	Nee, valt buiten scope project
Verwijderen wissels	locatiespecifiek	--	+	+	+	Nee, geen rol bij dit project
Verwijderen overweg	locatiespecifiek	--	+	+	+	Nee, valt buiten scope project
Reductie rijnsnelheid	0	--	0	+	++	Nee, valt buiten scope project
Andere treintypes	0	--	0	--	++	Nee, valt buiten scope project
Transmissiemaatregelen						
TROC beton	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC jet-grout	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC damwand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC prefab L-wand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC damwanden met EPS	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC damwanden met sleuf	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC beklede betonwand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	++	Ja
TROC beklede prefab L-wand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
TROC mix-in-place wand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	0	Ja
TROC EPS zonder damwand	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	+	+	Ja
Spoorsloot	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	0	+	Ja
Aanpassen spoortalud	locatiespecifiek	locatiespecifiek	0	0	0	Nee, niet effectief
Ontvangermaatregelen						
Amoveren	0	0	0	++	++	Nee, te duur
Verstijven vloeren	0	0	0	+	+	Nee, valt buiten scope project
Verstijven muren	-	-	0	+	0	Nee, niet effectief
Verzwaren fundering	0	-	0	+	+	Nee, te duur
Toevoegen steunberen	--	0	0	+	0	Nee, niet effectief
Inpakken fundering met rubber	0	-	0	+	+	Nee, te duur
Afschermen fundering met EPS	-	0	0	+	0	Nee, niet effectief
Afgeveerde vloer	0	0	0	+	+	Nee, valt buiten scope project
Tuned mass damper	--	-	0	-	-	Nee, niet effectief

IX.2 Gevolgde methodiek

Om vervolgens te komen tot een keuze voor een bepaalde trillingmaatregel worden de volgende vier stappen doorlopen:

1. Bepalen locaties met overschrijdingen en clusteren van gebouwen waar een kans op een overschrijding is. Een groep gebouwen waarvoor een aaneengesloten maatregel nodig is, wordt een cluster genoemd. Om de benodigde maatregel te bepalen, worden de volgende stappen ondernomen:
 - a. Eerst wordt bepaald welke sporen voor overschrijdingen van het beoordelingskader zorgen.
 - b. Vervolgens worden die sporen, onder een hoek van 45 graden ten opzichte van de randen van de woning, afgeschermd.
 - c. Dit wordt voor alle woningen in het studiegebied gedaan. Maatregelen die minder dan 50 meter uit elkaar liggen, worden (analoog als met geluidschermen) doorgetrokken. Op deze manier ontstaan clusters.

Dit proces is grafisch weergegeven in Figuur 103.



Figuur 103: Bepalen van clusters

2. Eerste selectie van maatregelen op basis van uitvoerbaarheid. Hierbij wordt gekeken of een maatregel inpasbaar is, voldoende effectief is en past binnen het 'beschikbare budget' voor maatregelen.
3. Gedetailleerd doorrekenen van maatregelen op effect en kosten, en afwegen tegen de baten. De baten zijn gedefinieerd als het aantal woningen waarvoor de maatregel voldoende effectief is bij beoordeling op de Bts, maal het richtbedrag van € 63.027,- per woning (prijspeil 2023). Voor kantoren wordt een bedrag van € 671,- per werkplek gehanteerd (prijspeil 2023). Resultaat van deze stap is een overzicht met effectieve maatregelen.
4. Uit de lijst met effectieve maatregelen wordt de meest kosteneffectieve maatregel geselecteerd (grootste reductie in aantal gehinderden tegen laagste prijs). Wanneer het saldo (baten minus kosten) positief is, is de maatregel kosteneffectief (mogelijk doelmatig) en wordt deze voorgesteld ter afweging in het PIP.

In de volgende paragrafen wordt per cluster met mogelijke overschrijdingen ingegaan op de mogelijke maatregelen.

IX.3 Onderzoek per cluster

In deze paragraaf behandelen we cluster voor cluster de maatregelafweging.

In totaal zijn er 7 clusters met overschrijdingen in het plangebied. Deze clusters zijn ingedeeld op basis van waar maatregelen nodig zijn: zodra een maatregel voor een object aansluit bij een maatregel voor een ander object, horen deze panden bij elkaar en is er sprake van een cluster. De maatregellocaties zijn zodanig bepaald dat een object met een overschrijding altijd over een hoek van 45 graden wordt afgeschermd. Een overzicht met de locaties met overschrijdingen (met clusternummer, correspondeert met de hiernavolgende tabellen) is weergegeven in Figuur 104.

Per cluster is de volgende informatie gegeven:

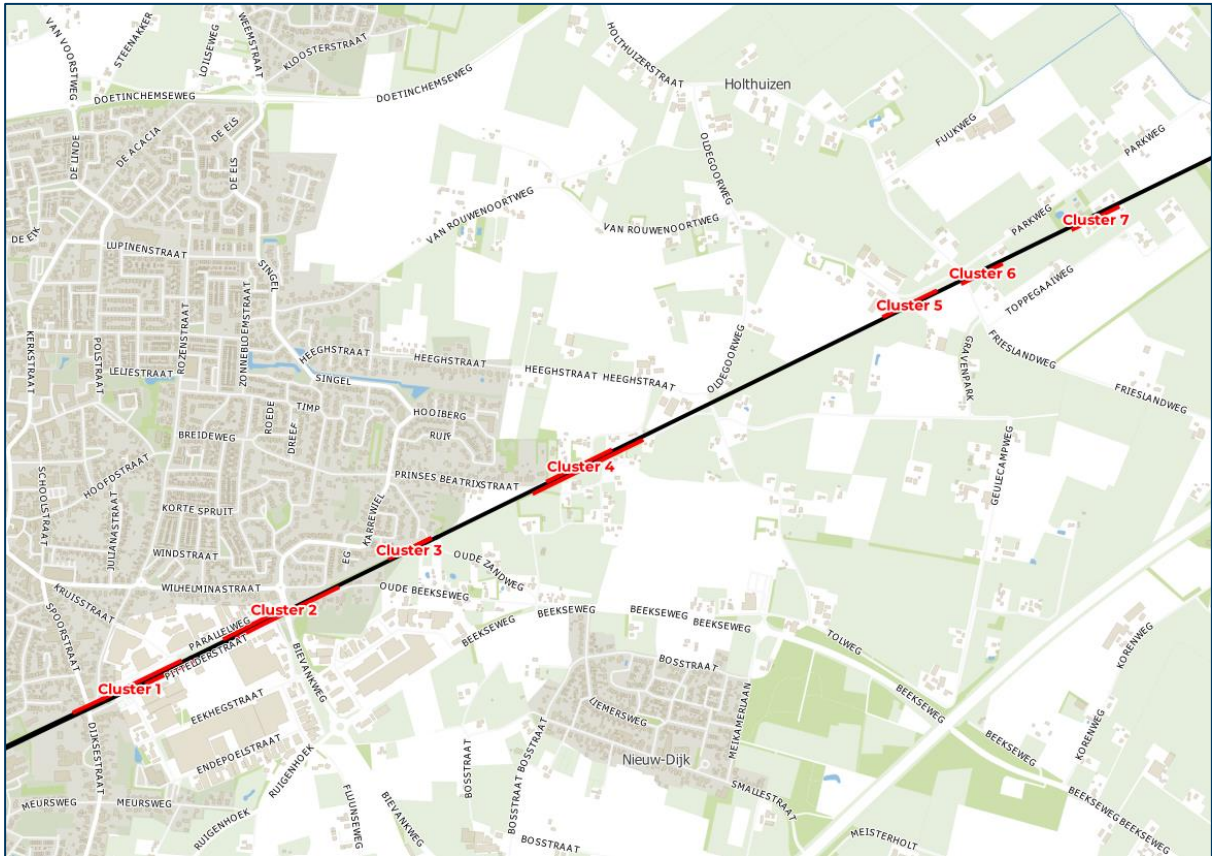
- Een kaart met een luchtfoto van het cluster, inclusief de panden met een overschrijding en de locaties van bron- en transmissie maatregelen.
- Een tabel met het aantal overschrijdingen, de hoogste waarden van Q , V_{max} en V_{per} in de plansituatie en de maximaal benodigde reductie om te voldoen aan de streefwaarden (V_{max} niet groter dan A1 of toename Q niet groter dan 1.3, en V_{per} niet groter dan A3).
- Het 'beschikbare budget' voor maatregelen per strekkende meter bron- of transmissie maatregel. Dit bedrag wordt later gebruikt om een preselectie te maken van realistische maatregelen die nader onderzocht moeten worden.

Van de mogelijk doelmatige maatregelen is vervolgens de bandbreedte van de kosten bepaald. Deze kosten²¹ zijn per strekkende meter (inclusief BTW) bepaald, en zijn weergegeven als een bandbreedte omdat ze sterk afhankelijk zijn van bijvoorbeeld de hoeveelheid (een maatregel is goedkoper als er meer strekkende meters worden gerealiseerd) en de locatie (op sommige locaties zijn maatregelen vanwege inpassing duurder dan op andere locaties).

Op basis daarvan geven we aan of een maatregel mogelijk doelmatig is. Dat is het geval als de maatregel inpasbaar en effectief is, en de kosten mogelijk lager zijn dan het richtbedrag voor maatregelen.

- Vervolgens is per cluster nader gekeken naar de effectiviteit van de mogelijk doelmatige maatregelen. Hiervoor is het aantal overschrijdingen met en zonder de maatregel beschouwd door het effect van de maatregel gedetailleerd door te rekenen. De effectiviteit van de maatregelen is als volgt bepaald:
 1. Under sleeper pads (USP's) op basis van metingen aan FLIRT treinen in Oisterwijk. De hier toegepaste USP's zijn van het zachte type A (conform SPC00316).
 2. Overige maatregelen in de bodem op basis van modelberekeningen met eindige elementenmodellen, omdat het effect van de maatregelen sterk afhankelijk is van de lokale bodemopbouw.
- Tenslotte wordt een advies gegeven over de meest kosteneffectieve maatregel.

²¹ Op basis van de volgende uitgangspunten: prijspeil 2023, kosten voor projectmanagement en coördinatie (4.5%), eenmalige kosten (2%), uitvoeringskosten (8%), algemene bouwplaatskosten (2%), algemene kosten, risico en winst (13%), engineeringkosten (5%), onvoorzien kosten (5%) en PEAT (5%). Kosten voor archeologische begeleiding (m.n. bij trillingsschermen), niet gesprongen explosieven, grondverwerving, het verleggen van kabels en leidingen en eventuele aankoop van opstallen is hierin niet meegenomen, maar wordt later wel gedetailleerd. De variatie in de kosten heeft niet alleen te maken met onzekerheden in de raming (omdat er altijd variaties in prijzen zijn), maar bijvoorbeeld ook met of het spoor wel of niet vernieuwd wordt (bij maatregelen aan het spoor), en bij trillingsschermen met de afmetingen van de maatregel.



Figuur 104: Clusters met overschrijdingen

IX.3.1 Cluster 1 – Stationslaan in Didam

Dit cluster betreft woningen en een kantoor aan de Stationslaan en de Pittelderstraat in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	1
Clusternaam	Didam Stationslaan
Aantal overschrijdingen	4 woningen en 1 kantoor (o.b.v. BVO 15 werkplekken ingeschat)
V_{max} in plansituatie	0.4
V_{per} in plansituatie	0.02
Q	2.5
Benodigde reductie V_{max}	30% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A1$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	780 m, € 336 per m enkel spoor (beide sporen samen is 780 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	490 m, € 535 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15% tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20% tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur en niet effectief
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC EPS zonder damwand	Ja	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Nee	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Nee, niet inpasbaar

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS
Aantal panden met een overschrijding	4	16	2
Aantal werkplekken met een overschrijding	15	15	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	30%	42%	17%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 262,173	€ 262,173	€ 262,173
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	780	490
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 431,203	€ 266,805
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 411,400
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 0
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	> € 300.000
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 431,203	> € 978,205
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Nee	Nee
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen voor deze locatie. Een TROC van EPS heeft niet voldoen reductie op het hele cluster, bovendien zijn de kosten hoger dan het richtbedrag voor maatregelen. Met name de kosten voor het verleggen van kabels en leidingen en reconstructie van het terrein (i.v.m. kruising van de weg en aanleg onder perrons) zijn hoog.

Omdat het spoor hier niet wordt vernieuwd, kunnen onder sleeper pads de trillingen wat verergeren.

Er zijn geen doelmatige maatregelen voor deze locatie.

IX.3.2 Cluster 2 – Parallelweg - Oude Beekseweg in Didam

Dit cluster betreft woningen aan de Parallelweg, Wilhelminastraat, Pittelderstraat en de Oude Beekseweg in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	2
Clusternaam	Didam Parallelweg - Oude Beekseweg
Aantal overschrijdingen	15 woningen en 1 kantoor (o.b.v. BVO 32 werkplekken ingeschat)
V_{max} in plansituatie	0.5
V_{per} in plansituatie	0.03
Q	2.8
Benodigde reductie V_{max}	50% zodat $q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A1$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	755 m, € 1281 per m enkel spoor (beide sporen samen is 755 m)
Lengte en budget bodemaatregelen	520 m, € 1859 per m

De woning Oude Beekseweg 45 wordt door het project opgekocht, hier worden geen maatregelen voor afgewogen. Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15% tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20% tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur en niet effectief
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, niet effectief
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC EPS zonder damwand	Ja	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Deels	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Mogelijk

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS	Spoorstoot
Aantal panden met een overschrijding	15	18	5	5
Aantal werkplekken met een overschrijding	32	32	0	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	50%	50%	34%	7%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 966,877	€ 966,877	€ 966,877	€ 966,877
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	755	520	520
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 156,226	€ 283,140	€ 637,604
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 254,100	€ 254,100
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 156,226	€ 537,240	€ 891,704
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Nee	Deels	Deels
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Ja	Ja	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Ja	Nee

Een TROC van EPS (2 meter diep, 0.5 m breed) en een spoorstoot zorgen beide voor een afname van de trillingen. Er blijven echter panden met een overschrijding na het treffen van de maatregelen, bij de TROC van EPS betreft dit enkele panden dicht bij het spoor aan de Parallelweg en de Pittelderstraat. Bij de spoorstoot betreft het ook de panden aan de Oude Beekseweg, omdat de sloot hier niet inpasbaar is. Een spoorstoot is door de hoge kosten niet doelmatig, een TROC van EPS wel. Dat komt omdat de reconstructiekosten (kosten voor herinrichten van wegen) hier nihil zijn, omdat dit gedeelte van de omgeving al wordt aangepast vanwege de spoorverdubbeling.

Een spoorstoot is effectiever dan een TROC van EPS, maar is in grote delen van het gebied niet toepasbaar. Door de hoge kosten is deze maatregel bovendien niet doelmatig (NB, in bovenstaande tabel is uitgegaan van een sloot op alle locaties waar een bodemmaatregel nodig is, maar inpassingstechnisch kan dit niet overal).

Door het treffen van de doelmatige maatregel neemt het aantal overschrijdingen af van 15 woningen en 32 werkplekken naar 5 woningen en 0 werkplekken.

IX.3.3 Cluster 3 – Hoefijzer - Zandweg in Didam

Dit cluster betreft de woningen Hoefijzer 23 en Zandweg 14 in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	3
Clusternaam	Didam Hoefijzer-Zandweg
Aantal overschrijdingen	2
V_{max} in plansituatie	0.3
V_{per} in plansituatie	< 0.01
Q	1.4
Benodigde reductie V_{max}	4% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A1$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	320 m, € 394 per m enkel spoor (beide sporen samen is 320 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	135 m, € 934 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15 tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20 tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 2743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 3345 tot € 4908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, te duur
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur
TROC EPS zonder damwand	Ja	10% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Ja	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Mogelijk

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS	Spoorstoot
Aantal panden met een overschrijding	2	6	0	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	4%	15%	0%	0%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	320	135	135
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 216,224	€ 73,508	€ 141,480
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	> € 70.000	> € 70.000
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 216,224	> € 143.508	> € 211,480
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Nee	Ja	Ja
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen in dit cluster. Een spoorloot en een TROC van EPS zijn voldoende effectief, maar de kosten zijn hoger dan het richtbedrag voor maatregelen.

IX.3.4 Cluster 4 – Lange Klauwenhof - Prinses Beatrixstraat in Didam

Dit cluster betreft enkele woningen aan de Lange Klauwenhof en de Prinses Beatrixstraat in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	4
Clusternaam	Didam Lange Klauwenhof – Prinses Beatrixstraat
Aantal overschrijdingen	8
V_{max} in plansituatie	0.3
V_{per} in plansituatie	< 0.01
Q	1.5
Benodigde reductie V_{max}	15% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A1$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	740 m, € 681 per m enkel spoor (beide sporen samen is 740 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	560 m, € 900 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15 tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20 tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 2743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 3345 tot € 4908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, te duur en niet effectief
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur
TROC EPS zonder damwand	Ja	10% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorssloot	Deels	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Mogelijk

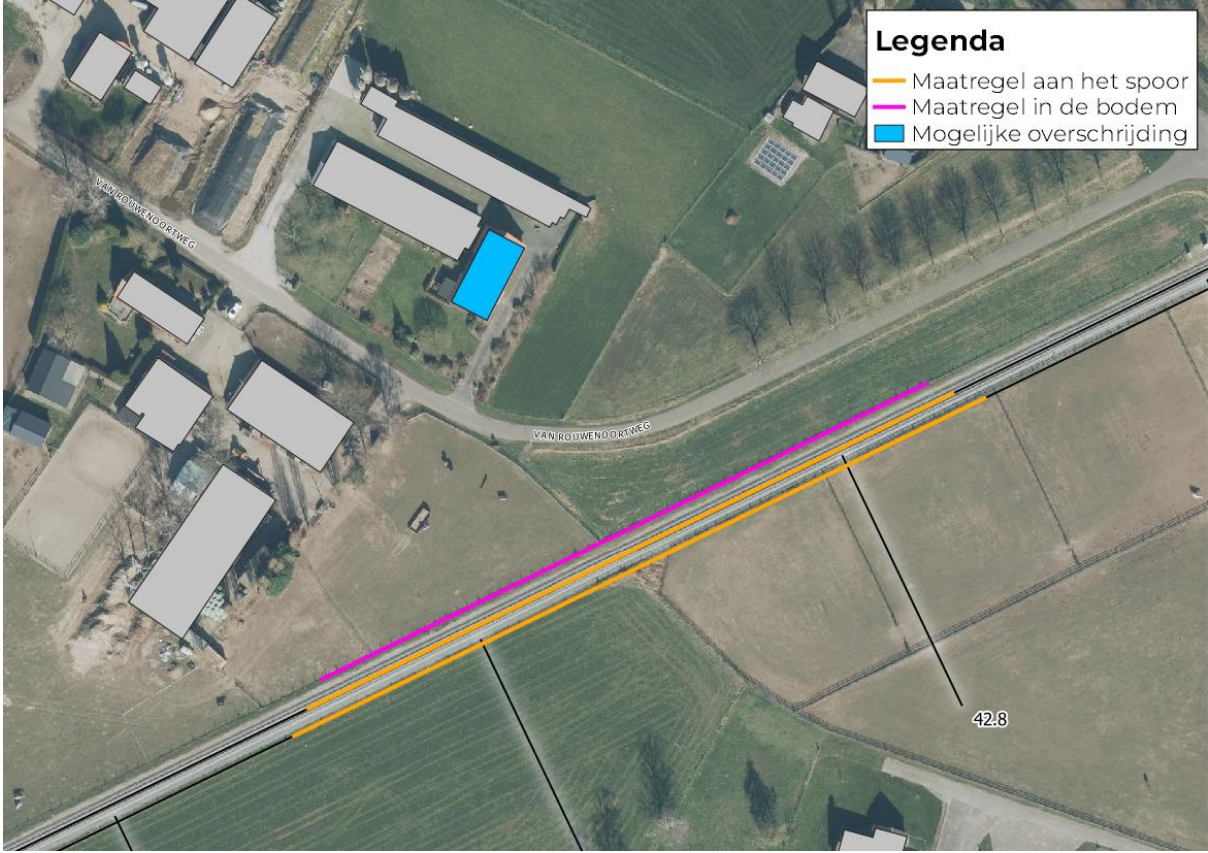
De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifiek bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS	Spoorssloot
Aantal panden met een overschrijding	8	6	0	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	15%	14%	0%	0%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 504,216	€ 504,216	€ 504,216	€ 504,216
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	740	560	560
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 386,390	€ 304,920	€ 586,880
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 96,800	€ 96,800
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 425,000	€ 425,000
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	> € 250,000	> € 250,000
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 386,390	> € 1,076,720	> € 1,358,680
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Nee	Ja	Ja
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Ja	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen in dit cluster. Een TROC van EPS en een spoorloot zijn voldoende effectief, maar de kosten zijn hoger dan het richtbedrag voor maatregelen.

IX.3.5 Cluster 5 – van Rouwenoortweg in Didam

Dit cluster betreft 1 bestaande en 1 nog te bouwen woning aan de van Rouwenoortweg in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	5
Clusternaam	Didam Van Rouwenoortweg
 <div data-bbox="1077 465 1404 600" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none"> — Maatregel aan het spoor — Maatregel in de bodem ■ Mogelijke overschrijding </div>	
Aantal overschrijdingen	2
V_{max} in plansituatie	0.3
V_{per} in plansituatie	0.02
Q	1.6
Benodigde reductie V_{max}	4% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A1$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	360 m, € 350 per m enkel spoor (beide sporen samen is 360 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	160 m, € 788 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15 tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20 tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 2743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 3345 tot € 4908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, te duur
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur
TROC EPS zonder damwand	Ja	10% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Ja	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Mogelijk

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS	Spoorstoot
Aantal panden met een overschrijding	2	0	0	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	4%	0%	0%	0%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	360	160	160
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 236,479	€ 87,120	€ 167,680
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 87,500	€ 87,500
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 236,479	€ 174,620	€ 255,180
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Ja	Ja	Ja
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen in dit cluster. Under sleeper pads, een spoorloot en een TROC van EPS zijn voldoende effectief, maar de kosten zijn hoger dan het richtbedrag voor maatregelen.

IX.3.6 Cluster 6 – Frieslandweg in Didam

Dit cluster betreft twee woningen aan de Frieslandweg in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	6
Clusternaam	Didam Frieslandweg
Aantal overschrijdingen	2
V_{max} in plansituatie	0.3
V_{per} in plansituatie	0.02
Q	1.4
Benodigde reductie V_{max}	7% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A2$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	280 m, € 450 per m enkel spoor (beide sporen samen is 280 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	120 m, € 1,050 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15 tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20 tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 2743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 3345 tot € 4908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, te duur
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur
TROC EPS zonder damwand	Ja	10% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Ja	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Mogelijk

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS	Spoorstoot
Aantal panden met een overschrijding	2	0	0	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	7%	0%	0%	0%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054	€ 126,054
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	280	120	120
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 204,307	€ 65,340	€ 125,760
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 0	€ 0
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 137,500	€ 137,500
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	> € 100,000	> € 100,000
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 204,307	> € 302,840	> € 363,260
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Ja	Ja	Ja
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen in dit cluster. Zowel USP's, een TROC van EPS als een spoorloot is voldoende effectief, maar de kosten zijn hoger dan het richtbedrag voor maatregelen.

IX.3.7 Cluster 7 – Toppegaiweg in Didam

Dit cluster betreft drie woningen aan de Toppegaiweg in Didam. De gegevens van dit cluster zijn hieronder weergegeven.

Cluster	7
Clusternaam	Didam Toppegaiweg
Aantal overschrijdingen	3
V_{max} in plansituatie	0.3
V_{per} in plansituatie	0.02
Q	1.4
Benodigde reductie V_{max}	6% zodat $Q \leq 1.3$ of $V_{max} \leq A2$
Benodigde reductie V_{per}	0% zodat $V_{per} \leq A3$
Lengte en budget bronmaatregelen	340 m, € 556 per m enkel spoor (beide sporen samen is 340 m)
Lengte en budget bodemmaatregelen	145 m, € 1.403 per m

Vervolgens is, op basis van bovenstaande gegevens voor de mogelijk doelmatige maatregelen uit Tabel 69 bepaald of de maatregel (1) inpasbaar is op deze locatie, (2) wat de effectiviteit is van de maatregel (in een bandbreedte, op basis van literatuur en expert judgment) en (3) wat de bandbreedte van de kosten voor de maatregel is. Tenslotte is per maatregel aangegeven of een maatregel mogelijk doelmatig is, en dus nader onderzocht moet worden. Een maatregel valt af als deze niet inpasbaar is (want dan is het onmogelijk om de maatregel te realiseren), op voorhand al niet effectief genoeg is (want dan helpt de maatregel onvoldoende om de trillingen te reduceren) of te kostbaar is (want dan is er niet genoeg budget om de maatregel te realiseren).

Maatregel	Inpasbaar?	Effectiviteit	Kosten	Doelmatig?
Under sleeper pads	Ja	-15 tot 65%	€ 129 tot € 1167 per m	Mogelijk
Ballastmatten	Ja	-20 tot 70%	€ 1575 tot € 2625 per m	Nee, te duur
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee, te duur
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 2743 tot € 6529 per m	Nee, te duur
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 3345 tot € 4908 per m	Nee, te duur
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee, te duur
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee, te duur
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee, niet effectief
TROC beton	Nee	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC jet-grout	Nee	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC damwand	Nee	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee, te duur
TROC damwanden met EPS	Nee	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC damwanden met sleuf	Nee	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC beklede betonwand	Nee	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee, te duur
TROC mix-in-place wand	Nee	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee, te duur en niet inpasbaar
TROC EPS zonder damwand	Ja	10% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorstoot	Nee	15% tot 65%	€ 420 tot € 1533 per m	Nee, niet inpasbaar

De mogelijk doelmatige maatregelen zijn gedetailleerd doorgerekend voor deze locatie, om het exacte effect van de maatregel vast te stellen. Ook de kosten zijn specifieker bepaald voor deze locatie. Per maatregel is aangegeven wat de resterende benodigde reductie is om te voldoen aan de Bts. Als de maatregel voldoende effectief is (er is geen verdere reductie van de trillingen meer nodig na de maatregel) en past binnen het budget, dan is de maatregel doelmatig. Als de maatregel onvoldoende effectief is, of niet past binnen het budget, dan is de maatregel niet doelmatig.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS
Aantal panden met een overschrijding	3	3	0
Benodigde reductie V_{max} na maatregel	6%	12%	0%
Benodigde reductie V_{per} na maatregel	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 189,081	€ 189,081	€ 189,081
Lengte maatregel [m]	n.v.t.	340	145
Kosten maatregel	n.v.t.	€ 230,827	€ 78,953
Kosten verleggen kabels en leidingen	n.v.t.	€ 0	€ 0
Kosten voor grondverwerving	n.v.t.	€ 0	€ 181,250
Kosten voor reconstructie	n.v.t.	€ 0	> € 50,000
Totale kosten maatregel	n.v.t.	€ 230,827	> € 310,203
Maatregel voldoende effectief?	n.v.t.	Nee	Ja
Maatregel past binnen budget?	n.v.t.	Nee	Nee
Mogelijk doelmatig?	n.v.t.	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen in dit cluster. Een TROC van EPS is voldoende effectief, maar de kosten zijn hoger dan het richtbedrag voor maatregelen.

Colofon

OPDRACHTGEVER	ProRail B.V. t.a.v. Postbus 2212 3500 GE Utrecht
UITGAVE	Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 Postbus 2855 3500 GW Utrecht
PROJECTNUMMER	MN002205
KENMERK	A30-XX-HS-RAP-23009144

© 2023, Movares Nederland B.V.

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

 **Movares** samen werkt het