

RAPPORT

Regio Expres



Trillingsonderzoek

Versie: 0.10

Status: Concept

Datum: 17-05-2023

Kenmerk: D79-KGA-HS-RAP-
23002559

Autorisatieblad

Regio Expres

Trillingsonderzoek

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Gardien W (Wybo)	Ja	16-05-2023
	Gasparotto K (Kareen)	Ja	17-05-2023
Gecontroleerd door	Boon PM (Pieter)	Ja	17-05-2023
Vrijgegeven door	Cornelissen JP (Joost)	Ja	17-05-2023

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.8	Boon PM (Pieter)	28-04-2023	Basisversie, nog zonder maatregelen
0.10	Boon PM (Pieter)	17-05-2023	Maatregelen toegevoegd, commentaar Rolf Wiener verwerkt

Samenvatting

Standaard tekst voor dit project wordt in de volgende versie toegevoegd.

Inhoudsopgave

Samenvatting

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Besluitvorming	6
1.3.1	Provinciale Inpassingsplan (PIP)	6
1.3.2	Milieu Effect Rapportage (MER)	6
1.4	Leeswijzer	6
2	Wettelijk en beleidsmatig kader	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Beoordelingskader trillingsschade	7
2.3	Beoordelingskader trillinghinder	7
2.4	Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur	9
2.5	Gehanteerde beoordelingscriteria	9
2.5.1	MER-onderzoek	9
2.5.2	PIP-onderzoek	12
3	Onderzoeksmethode en uitgangspunten	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Beschouwde situaties	13
3.2.1	Referentiesituatie 2017	13
3.2.2	Huidige situatie	14
3.2.3	Referentiesituatie 2035	14
3.2.4	Plansituatie	15
3.3	Plan- en studiegebied	16
3.4	Onderzoeksmethode	17
3.4.1	Onderzoek naar trillingsschade	17
3.4.2	Onderzoek naar trillingshinder	18
3.4.3	Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur	19
3.4.4	Betrouwbaarheid van het onderzoek	19
4	Onderzoekresultaten	20
4.1	Inleiding	20
4.2	Beoordeling t.b.v. het PIP	20
4.2.1	Trillingsschade	20
4.2.2	Trillingshinder	21
4.2.3	Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur	22
4.3	Effecten in het MER	22
4.3.1	Wijziging gemiddelde en maximale trillingsniveau	22
4.3.2	Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	23
4.3.3	Schade vanwege trillingen	23
4.4	Conclusies	23

5	Beoordeling en maatregelen	24
5.1	Conclusies MER	24
5.2	Conclusie PIP	24
5.3	Mitigerende maatregelen	25
6	Conclusie en aanbevelingen	28
6.1	Inleiding	28
6.2	Conclusie irt uitvoerbaarheid PIP	28
6.2.1	Toetsing aan richtlijnen	28
6.2.2	Mitigerende maatregelen	28
6.2.3	Cumulatieve effecten	28
6.3	Totaalbeoordeling effecten t.b.v. MER	29
6.4	Conclusie	29
	Colofon	30
Bijlage I.	VibraDyna	31
Bijlage II.	Beoordelingskader	36
Bijlage III.	Gebruikt bodemonderzoek	41
Bijlage IV.	Verwerkingsprocedure trillingsmetingen	42
Bijlage V.	Resultaten maaiveldmetingen (t.b.v. stap 1)	48
Bijlage VI.	Resultaten metingen woningen (t.b.v. stap 2)	61
Bijlage VII.	Achtergrondinformatie woningenmetingen	67
Bijlage VIII.	Resultaten modelberekeningen	123
Bijlage IX.	Maatregelenonderzoek	124

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De spoorlijn Arnhem-Doetinchem-Winterswijk is de ruggengraat van het openbaar vervoer in de Liemers en de Achterhoek. Met ongeveer 21.000 reizigers op werkdagen in Arnhem- Doetinchem-Winterswijk een van de drukste regionale spoorlijnen van Nederland.

1.2 Doelstelling

In samenwerking met Provincie Gelderland, regio Achterhoek, ProRail en gemeenten werkt Movares aan een verbeterde bereikbaarheid van deze belangrijke lijn.

Het studiegebied is het gebied waarbinnen het optreden van de mogelijke nadelige milieugevolgen op voorhand niet zondermeer kan worden uitgesloten. Het studiegebied is het gebied vanaf station Arnhem tot en met station Doetinchem.

Het plangebied beslaat het gebied waar de fysieke maatregelen voor de RegioExpres zijn voorzien. Dit is de locatie waar de spoorverdubbeling wordt uitgevoerd en de extra aanpassingen die hiervoor nodig zijn, zoals de extra perrons op station Wehl en Doetinchem de Huet en de wissel bij Zevenaar, zie Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht spoortraject RegioExpres

De ingeplande wijzigingen kunnen leiden tot een toename van de trillingshinder die omwonenden ervaren. In het kader van de planuitwerkingsfase voor de RegioExpres is daarom een onderzoek uitgevoerd naar trillingen. In dit onderzoek wordt gekeken naar alle aspecten van trillingen: zowel trillingsschade, trillingshinder als verstoring van trillingsgevoelige apparatuur is onderzocht door middel van metingen en modelberekeningen.

1.3 Besluitvorming

1.3.1 Provinciale Inpassingsplan (PIP)

Het studiegebied voor de RegioExpres loopt door vier gemeenten. De voorziene maatregelen voor de aanleg van de RegioExpres vinden in de provincie Gelderland plaats. De provincie is voornemens om deze maatregelen ruimtelijk mogelijk te maken door het vaststellen van een provinciaal inpassingsplan (hierna: PIP). Dit is een bestemmingsplan, maar dan op provinciaal niveau.

1.3.2 Milieu Effect Rapportage (MER)

Gekoppeld aan het opstellen en vaststellen van het provinciale inpassingsplan moet de procedure voor de milieueffectrapportage (m.e.r.) worden doorlopen en moet een Milieueffectrapport (MER) worden opgesteld. In het MER worden de onderzochte milieueffecten beschreven en beoordeeld. Voor alle milieuthema's zijn in het beoordelingskader de aspecten en bijbehorende criteria vastgesteld.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport bevat de uitkomsten van het trillingsonderzoek dat is uitgevoerd voor het Provinciaal Inpassingsplan (PIP) en het milieueffectrapport (MER) voor de RegioExpres.

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 wordt het beoordelingskader geschetst. In hoofdstuk 3 worden de onderzoeksmethode en uitgangspunten verder toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt beschreven wat de effecten zijn van het project met betrekking tot trillingen. In hoofdstuk 5 worden mitigerende maatregelen besproken. In hoofdstuk 6 zijn vervolgens de conclusies opgenomen.

2 Wettelijk en beleidsmatig kader

2.1 Inleiding

In dit onderzoek worden de optredende trillingen van treinverkeer op drie aspecten beoordeeld: schade aan gebouwen, hinder voor personen en verstoringen van gevoelige apparatuur. Voor al deze drie aspecten is geen wetgeving beschikbaar. In dit onderzoek wordt daarom, zoals gebruikelijk, voor trillingsschade de SBR A-richtlijn (schade aan gebouwen) gehanteerd. Voor trillingshinder 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.

Deze drie beoordelingskaders worden in de volgende paragrafen nader omschreven, daarna wordt toegelicht welke beoordelingscriteria zijn gehanteerd in het PIP en het MER (of in beide) in paragraaf 2.5. Er zijn geen verschillen in beoordelingskader of regelgeving tussen nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau¹.

2.2 Beoordelingskader trillingsschade

De toetsing van trillingsschade vindt in Nederland vrijwel altijd plaats op basis van de SBR A-richtlijn. Deze richtlijn beschrijft de meetmethodiek en toetsingscriteria voor trillingsschade. 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 gebouwen² worden opgesplitst in drie categorieën:

- A. Categorie A: in deze gebouwen nemen de trillingen toe door het project, en is de kans op schade groter dan 1%. De adressen van deze gebouwen zijn opgenomen als bijlage in het PIP, hier wordt bouwkundig onderzoek uitgevoerd en wordt ondersteund bij de schade-afhandeling.
- B. Categorie B: in deze gebouwen nemen de trillingen toe door het project, maar is de kans op schade kleiner dan 1%. Als eigenaren zich melden laat het ministerie onderzoek uitvoeren conform het TNO-schadeprotocol (o.b.v. kritische afstand en trillingsniveau), als de schadekans volgens dat protocol groter is dan 1%, dan wordt bouwkundig onderzoek uitgevoerd en wordt ondersteund bij de schade-afhandeling.
- C. Categorie C: in deze gebouwen nemen de trillingen niet toe door het project. Voor deze gebouwen gelden de nu al gebruikelijke procedures: eigenaren kunnen zich melden bij ProRail, waarna wordt getoetst conform het TNO-schadeprotocol (zie categorie B).

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 nader onderzocht.

2.3 Beoordelingskader trillinghinder

Tot op heden zijn normen voor trillingshinder 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*

¹ Gemeenten hanteren doorgaans de SBR B-richtlijn voor de beoordeling van trillingshinder. De Bts is een wijziging en aanvulling hierop, en maakt gebruik van dezelfde grootheden, zie ook paragraaf 2.3.

² In dit onderzoek, is in lijn met de SBR A-richtlijn, niet alleen naar woningen, maar naar alle gebouwen gekeken.

(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. De normstelling voor het al dan niet treffen van maatregelen. De Bts geeft aan wanneer in het Tracébesluit maatregelen ter voorkoming of beperking van trillingshinder 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 trillingshinder 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 aangehouden³;
3. De trillingssterkte 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 Acoustics⁴ en wordt beknopt toegelicht in Bijlage IV;
4. De gemiddelde trillingssterkte 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 werkruimte* (gevoelige apparatuur e.d.), *gezondheidszorg* en *wonen* en *kantoren* en gebouwen ten behoeve van *onderwijs* of *bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes, zie Tabel 1 voor de normstelling voor bestaande situaties.

Tabel 1: Normstelling bestaande situatie volgens Bts⁵

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 2 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

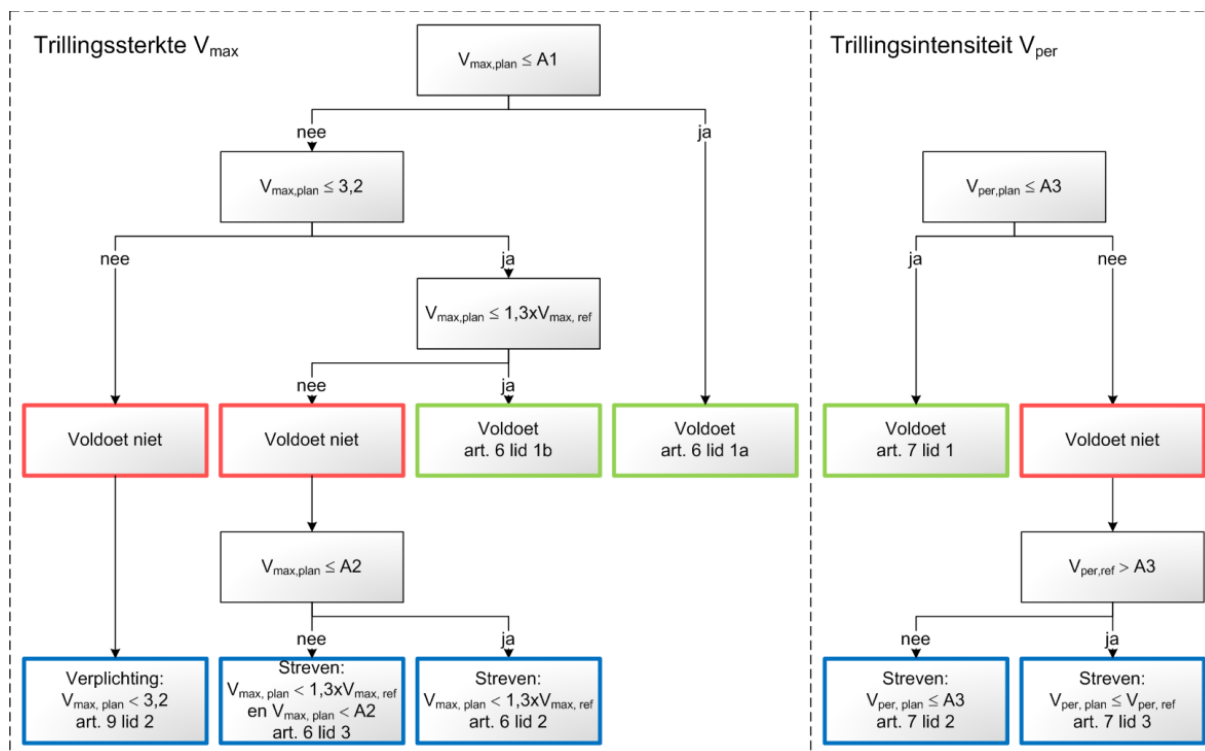
1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3 uit tabel 1.
2. De toename in trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3 en de trillingssterkte in de plansituatie is lager dan de grenswaarde van 3.2.

³ Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA³, 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).

⁴ Koopman, A., LA.131001a.M04 van 13 april 2018

⁵ 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 2: Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

2.4 Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur

Voor trillingsgevoelige 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.

2.5 Gehanteerde beoordelingscriteria

In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op de voor het MER- en PIP-onderzoek gebruikte beoordelingscriteria, gebaseerd op de hiervoor beschreven beoordelingskaders.

2.5.1 MER-onderzoek

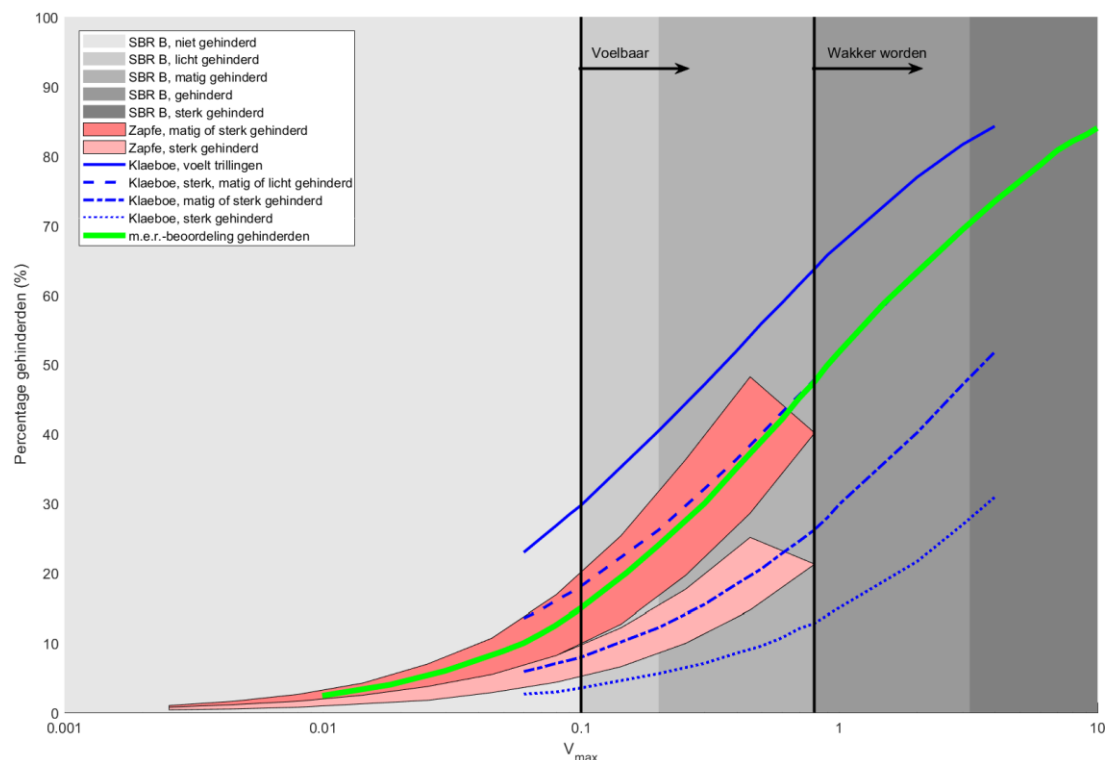
Tot op heden zijn er geen richtlijnen vastgelegd om de effecten van trillingshinder objectief en systematisch in beeld te brengen ten behoeve van de beoordeling in een m.e.r.-procedure. Wel zijn er richtlijnen om trillingshinder te beoordelen ten behoeve van ruimtelijke besluiten, zoals Tracébesluiten, Provinciale Inpassingsplannen en bestemmingsplanprocedures. Deze richtlijnen geven echter geen directe aanwijzingen om de milieueffecten van trillingshinder te beschrijven. Belangrijk voor een juiste beoordeling van de effecten van trillingshinder 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 is een groot aantal onderzoeken uitgevoerd waarin de relatie tussen trillingssterkte en hinderbeleving is vastgesteld door middel van enquêtes en wetenschappelijk onderzoek, zie Tabel 2. Met behulp van deze onderzoeken is door Movares een curve samengesteld die aangeeft bij welke trillingssterkte hoeveel procent van de omwonenden hinder ervaart, zie Figuur 3. Er wordt geen uitspraak gedaan over de mate van hinder (lichte hinder, matige of ernstige hinder), maar alleen over

het percentage personen dat hinder ervaart, gegeven de trillingssterkte in die woning. Deze curve is eerder ook bij trillingsonderzoeken gehanteerd⁶.

Tabel 2: 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>Groundborn 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 3: Kans op hinder als functie van de trillingssterkte V_{max} (groene curve)

Op basis van bovenstaand beoordelingskader zijn drie toetsingscriteria gehanteerd ten behoeve van het MER en zoals in tabel 4-1 van de Notitie Reikwijdte en Detailniveau RegioExpres⁷, zie Tabel 3:

1. Wijziging gemiddelde en maximale trillingsniveau. Het gemiddelde trillingsniveau is uitgedrukt in de gemiddelde trillingssterkte V_{per} , en het maximale trillingsniveau in de trillingssterkte V_{max} . De

⁶ 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.

⁷ Notitie Reikwijdte en Detailniveau RegioExpres, A30--HS-RAP-22001042 / Proj.nr. MN002205 / Vrijgegeven / Versie 1.0 / 01-04-2022

wijzigingen worden beschouwd als er sprake is van trillingen boven de streef- of grenswaarden uit de Bts. V_{per} is een indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen, de grenswaarde hiervoor is A3. V_{max} is een indicatie van het maximum van de trillingen over een periode van een week en de bijbehorende streefwaarde is A1, de grenswaarde is A2.

2. Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen ten opzichte van de referentiesituatie – op basis van de hindercurve uit Figuur 3.
3. Schade vanwege trillingen (SBR A-richtlijn). Het aantal adressen met een mogelijke overschrijding van de grenswaarde voor schade door trillingen.

In het MER vergelijken we steeds de plansituatie van het project (2035) met de referentiesituatie (eveneens in 2035), om de effecten van het project in kaart te brengen.

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

Thema en aspect	Criterium	Wijze van beoordelen
1. Trillingsniveau	Wijziging gemiddelde en maximale trillingsniveau	Kwantitatief
2. Trillinghinder	Toename of afname van het aantal door trillingen gehinderde personen	Kwantitatief
3. Schade trillingen	Schade vanwege trillingen	Kwantitatief

Ten behoeve van de beoordeling in het MER worden de uitkomsten van het trillingsonderzoek 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 resp. het aantal gehinderden weer ten opzichte van de referentiesituatie 2035.

Tabel 4: Beoordelingsschaal criteria 1. en 2. in MER-beoordeling

Score	Kwalitatief Oordeel	Kwantitatieve score
++	Sterk positief effect	Meer dan 30% afname in aantal gehinderden, of afname bij meer dan 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
+	Positief effect	10 tot 30% afname in aantal gehinderden, of afname bij 10 tot 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
0	Geen/neutraal effect	0 tot 10% toe- of afname in aantal gehinderden, of toe- of afname bij maximaal 10 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
-	Negatief effect	10 tot 30% toename in aantal gehinderden, of toename van 10 tot 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).
--	Sterk negatief effect	Meer dan 30% toename in aantal gehinderden, of toename bij meer dan 50 adressen van overschrijding van de streef- of grenswaarde uit de Bts (A1, A2 of A3).

Voor het aspect trillingsschade wordt aangegeven of er een kans is op trillingsschade 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 en weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5: Beoordelingsschaal criterium 3. in MER-beoordeling

Score	Kwalitatief Oordeel	Kwantitatieve score
++	Sterk positief effect	Afname van de kans op schade bij meer dan 100 panden
+	Positief effect	Afname van de kans op schade bij 10 tot 100 panden

Score	Kwalitatief Oordeel	Kwantitatieve score
0	Geen/neutraal effect	Toe- of afname van de kans op schade bij 0 tot 10 panden
-	Negatief effect	Toename van de kans op schade bij 10 tot 100 panden
--	Sterk negatief effect	Toename van de kans op schade bij meer dan 100 panden

2.5.2 PIP-onderzoek

In het kader van het PIP zijn de trillingseffecten van het project beoordeeld op het van toepassing zijnde beoordelingskader. Voor trillingsschade is dat de SBR A-richtlijn, voor trillingshinder de Bts en voor verstoring van gevoelige apparatuur de SBR C-richtlijn. In het PIP wordt de plansituatie (2035) vergeleken met de referentiesituatie 2017, de uitgangssituatie voor de spoorverdubbeling Zevenaar – Didam.

3 Onderzoeksmethode en uitgangspunten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het onderzoek beschreven, daarbij wordt achtereenvolgens ingegaan op:

- de beschrijving van de verschillende in dit onderzoek beschouwde situaties, alsmede de voor dit onderzoek gebruikte uitgangspunten.
- de afbakening van het studiegebied, dit is het gebied waar de effecten optreden
- de methode waarmee de effecten zijn onderzocht
- de uitgangspunten die voor het onderzoek zijn gebruikt

3.2 Beschouwde situaties

In het trillingsonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen vier situaties:

1. Referentiesituatie 2017: de situatie voor de spoorverdubbeling en snelheidsverhoging tussen Zevenaar en Didam en de snelheidsverhoging tussen Didam en Wehl. Conform de Beleidsregel trillingshinder 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 en snelheidsverhoging.
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. 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.

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.

3.2.1 Referentiesituatie 2017

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de referentiesituatie uit 2017. Als referentiesituatie geldt de spoorligging van 2017, vóór aanvang van de werkzaamheden ten behoeve van de spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam. De beoordeling van trillingshinder 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 2017.

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 4



Figuur 4: Snelheid in de referentiesituatie 2017

De treinaantallen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 6. De treinaantallen zijn gemiddeld over het jaar en over beide rijrichtingen.

3.2.2 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 spoorverdubbeling tussen Zevenaar en Didam. De voor trillingen meest relevante wijzigingen ten opzichte van de referentiesituatie zijn:

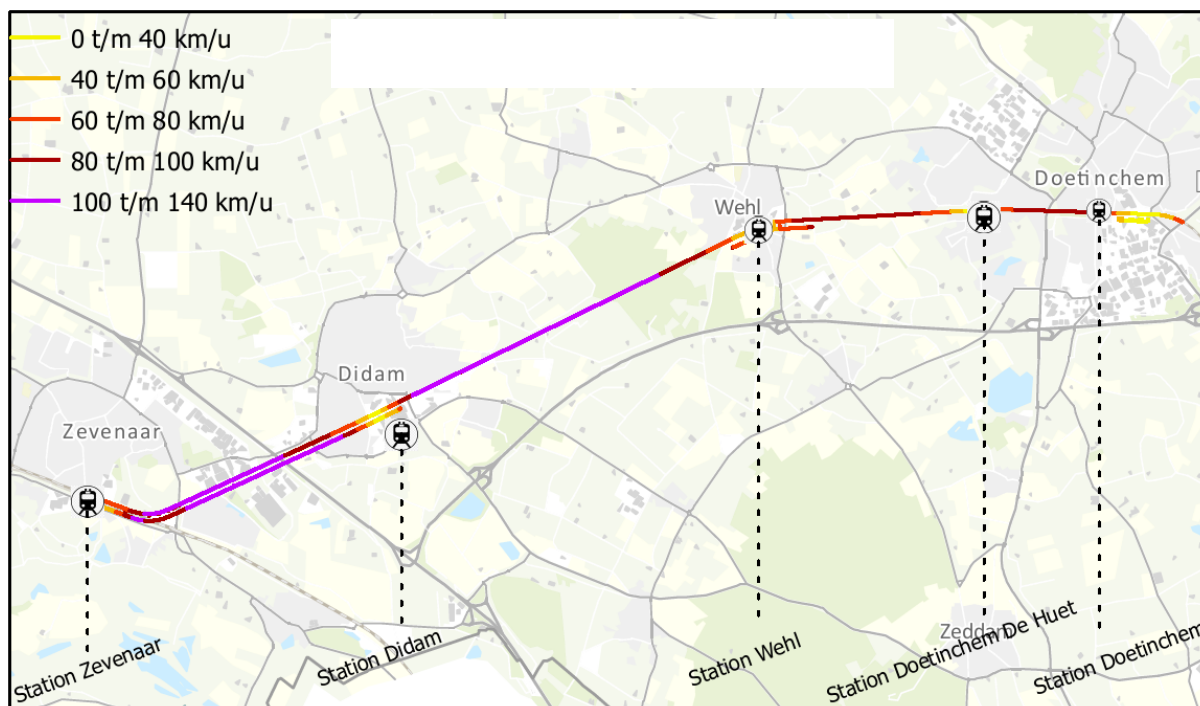
1. Het spoor tussen Zevenaar en Didam is verdubbeld;
2. De snelheid van de treinen is verhoogd tussen Zevenaar en Wehl;
3. De treinaantallen per uur per richting zijn gewijzigd, en weergegeven in Tabel 6.

De in dit onderzoek gehanteerde snelheden van reizigerstreinen zijn zoals die in het geluidregister van ProRail zijn opgenomen. De snelheden zijn weergegeven in Figuur 5. Ten opzichte van de referentiesituatie 2017 is de snelheid in de huidige situatie toegenomen tussen Zevenaar en Wehl.

3.2.3 Referentiesituatie 2035

De referentiesituatie 2035 bestaat uit de huidige (of bestaande) situatie, aangevuld met autonome ontwikkelingen tot het jaar 2035. 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 plannen meegenomen die zich binnen het onderzoeksgebied (een zone van 200 meter aan weerszijden van de sporen) bevinden. Voor een deel van de bouwplannen zijn de bouwvlakken nog niet bekend, zodat de trillingssituatie niet nauwkeurig kan worden bepaald. In dat geval is een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van de afmetingen van de bebouwing. Op basis daarvan zijn de trillingseigenschappen van de bebouwing ingeschat.



Figuur 5: Snelheid in huidige situatie, gelijk aan snelheid in referentiesituatie 2035 en snelheid stoptreinen in plansituatie

3.2.4 Plansituatie

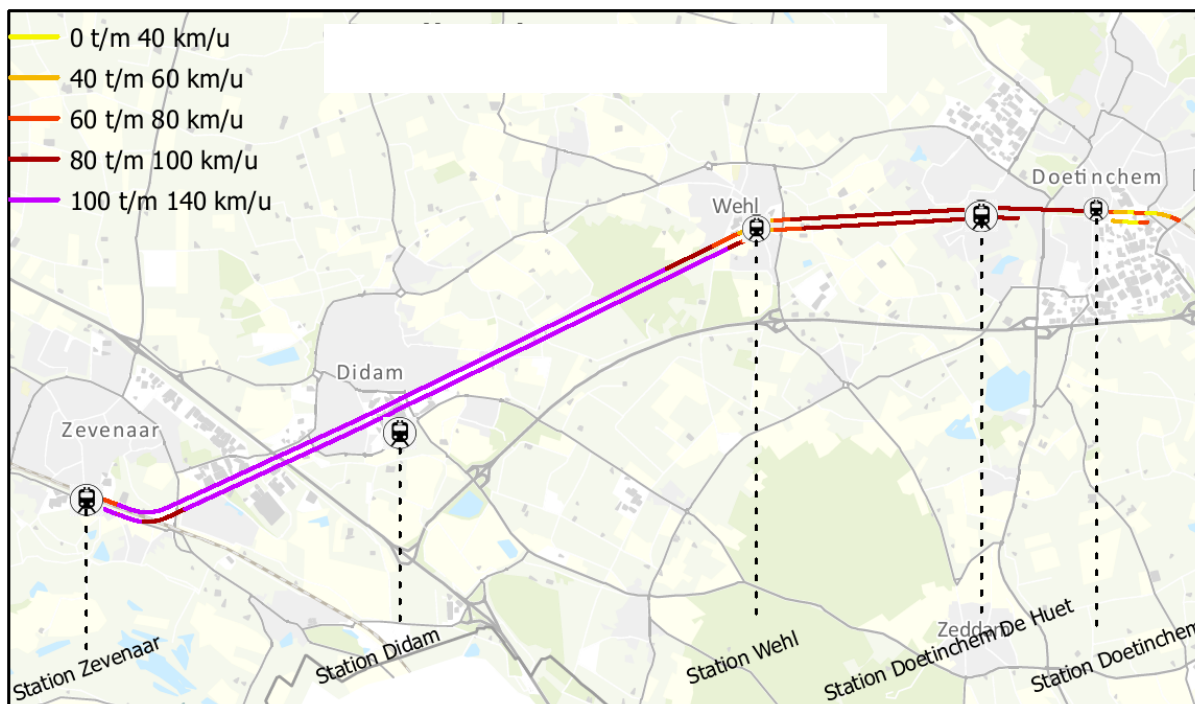
Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie, de situatie die ontstaat na realisatie van de RegioExpres in 2035. De voor trillingen meest relevante wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie zijn:

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 treinaantallen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: Treinaantallen per uur per richting voor referentiesituatie 2017 (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
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 5 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 6.



Figuur 6: Snelheid RegioExpres in de plansituatie

Als gevolg van de RegioExpres wijzigt het materieel niet. Zowel in de referentiesituatie 2017, de huidige situatie als de referentie- en plansituatie in 2035 zullen treinen van het GTW (wat staat voor GelenkTriebWagen) rijden, zie Figuur 7.



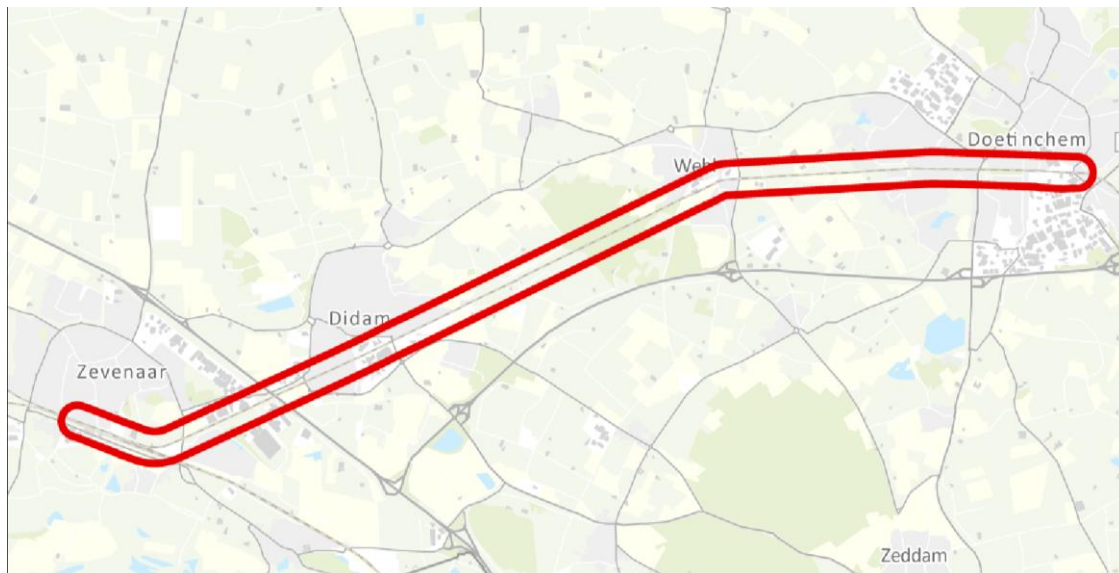
Figuur 7: Spurt (GTW) van Arriva

3.3 Plan- en studiegebied

Het plangebied van de RegioExpres begint bij station Arnhem Centraal en eindigt ten westen van station Doetinchem. Voor het trillingsonderzoek wordt een zone van 200 meter aan weerszijden van het spoor gehanteerd, buiten deze zone zijn geen significante trillingseffecten van het project te verwachten.

In het gebied tussen het startpunt van het plangebied en de aansluiting bij Zevenaars vinden geen wijzigingen in rijdsnelheid of andere wijzigingen plaats ten gevolge van het project. Op de spoorlijn

Arnhem – Zevenaar rijdt het treinverkeer sneller en is sprake van zwaar goederenverkeer, wat zorgt voor hogere trillingen dan de trillingen ten gevolge van de RegioExpres. Omdat er geen significante effecten van de RegioExpres zijn te verwachten op het gebied van trillingen, is dit gedeelte buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek.



Figuur 8: Studiegebied trillingsonderzoek

3.4 Onderzoeksmethode

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 trillingseffecten ten behoeve van de MER. Hiervoor zijn de volgende aspecten onderzocht, zie ook het voorgaande hoofdstuk:
 - a. Criterium 1: aantal overschrijdingen van de streef- en grenswaarden uit het beoordelingskader voor trillingshinder, de Bts;
 - b. Criterium 2: aantal gehinderden (o.b.v. de hindercurve uit Figuur 3);
 - c. Criterium 3: aantal panden met kans op trillingsschade (o.b.v. overschrijdingen van de SBR A-richtlijn).
2. Beoordelen van de plansituatie ten behoeve van het PIP op de drie trillingsaspecten:
 - 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 trillingsschade (t.b.v. MER en PIP), trillingshinder (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.

3.4.1 Onderzoek naar trillingsschade

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingsschade tijdens de bouwfase is een analyse gedaan van bouwwerkzaamheden die mogelijk tot trillingsschade 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 trillingsschade 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 trillingsschade 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 trillingsschade, en is nader onderzoek niet nodig.

3.4.2 Onderzoek naar trillingshinder

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingshinder 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 trillingsmetingen en prognoses

Om een goede voorspelling te kunnen maken van de trillingssituatie, is een quickscan gedaan om voor het gehele onderzoeksgebied de trillingssituatie in beeld te brengen op basis van expert judgment. 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 trillingssterkte V_{max} of de trillingsintensiteit V_{per} als gevolg van het project. Op locaties waar een overschrijding van het beoordelingskader niet valt uit te sluiten, is nader onderzoek verricht⁸. Op deze locaties zijn trillingsmetingen uitgevoerd aan treinpassages op maaiveld loodrecht op het spoor, om de bronsterkte van de verschillende passerende treinen te bepalen en om de uitdamping van de trillingen met de afstand tot het spoor vast te stellen. Deze metingen zijn vervolgens gebruikt in het rekenmodel *VibraDyna*⁹. 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 onderzoeksgebied de trillingssituatie 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 trillingshinder te verwachten en zijn de trillingssterktes 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 onderzoeksgebied in de referentiesituatie 2017, de huidige situatie, de referentiesituatie 2035 en de plansituatie de trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit 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 trillingsonderzoek.

2. Stap 2: Nauwkeurige trillingsprognoses in gebouwen

In de tweede stap van het trillingsonderzoek zijn alleen die locaties beschouwd waar op basis van de resultaten van stap 1 een toename in trillingshinder waarschijnlijk is. Voor deze stap is gebruik gemaakt van metingen in 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. Vanuit de metingen wordt vervolgens per treinpassage een prognose gemaakt voor de trillingssterkte in de referentiesituatie 2017, de referentiesituatie 2035 en de plansituatie, aan de

⁸ 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.

⁹ *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 gebruik gemaakt van versie 2018.

hand van de parameters die wijzigen.

Het resultaat van deze stap is een trillingsprognose 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) trillingshinder 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.

3.4.3 **Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur**

Verstoring van gevoelige apparatuur kan optreden als er sprake is van een toename van de trillingssterkte. In dit onderzoek is met behulp van het rekenmodel (uit stap 1 van het onderzoek naar trillingshinder) 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.

3.4.4 **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. De onzekerheden van al deze veranderingen zijn meegenomen in de predicties, om te komen tot een P95-model voor trillingshinder en een P99-model voor trillingsschade. Dat betekent dat er in werkelijkheid per individuele woning een kans is van 5 respectievelijk 1 procent op een hogere trillingssterkte of grotere toename van de trillingen dan de berekeningen in dit onderzoek laten zien. Dit zijn de gebruikelijke betrouwbaarheidsintervallen bij het beoordelen van trillingshinder respectievelijk trillingsschade.

4 Onderzoekresultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt eerst de beoordeling van het voornemen voor het PIP weergegeven conform het beoordelingskader in paragraaf 2.5.2. Daarna wordt ingegaan op de effecten van het voornemen ten behoeve van de MER, per toetsingscriterium uit paragraaf 2.5.1. Alle beschreven effecten zijn zonder maatregelen.

4.2 Beoordeling t.b.v. het PIP

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

4.2.1 Trillingsschade

Tijdens de bouwfase vinden geen activiteiten plaats die zorgen voor significant hogere trillingsniveaus, omdat er geen funderingswerkzaamheden plaatsvinden. De kans op trillingsschade 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 7. Hierbij is voor alle gebouwen streng getoetst: omdat er geen bouwkundige informatie van de woningen bekend is, is aangenomen dat deze in categorie 2 (gevoelig) vallen, de categorie met de meest strenge grenswaarden.

Tabel 7: Verwachte trillingssnelheden (V_d^{10}) 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
Wilhelminastraat 118, Didam	1.03	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Oude Beekseweg 47, Didam	0.39	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Turnstraat 7, Didam	0.21	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Toppegaaieweg 4, Didam	0.50	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Parallelweg 21, Didam	0.77	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Uijlenbroeklaan 61, Doetinchem	0.18	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Zandweg 1, Didam	0.32	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Lange Klauwenhof 13, Didam	0.39	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Hengelder 2, Zevenaar	0.52	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)

¹⁰ 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
Beekseweg 39, Wehl	0.70	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn. Uit de modelberekeningen blijkt dat dit voor alle gebouwen in het onderzoeksgebied geldt. Alle gebouwen vallen in categorie B of C uit de Beleidslijn van het ministerie (zie paragraaf 2.2), zodat geen nader onderzoek nodig is. De kans op schade ten gevolge van treinverkeer is verwaarloosbaar.

4.2.2 Trillingshinder

Voor het onderzoek naar trillingshinder 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 8, zie voor meer detail Bijlage VI en VII). Per meetlocatie zijn achtereenvolgens weergegeven:

- de berekende trillingssterkte V_{max} in de referentiesituatie 2017 (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 trillingssterkte 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 trillingssterkte 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 trillingssterkte V_{max} in de plansituatie en de referentiesituatie, eventueel gecorrigeerd voor onzekerheid R in de trillingssterkte, zie Bijlage IV voor een nadere toelichting op hoe deze factor is bepaald.
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit V_{per} in de referentiesituatie 2017
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit V_{per} in de huidige situatie.
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit 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 8: Resultaten metingen en predicties in gebouwen. Overschrijdingen van Bts zijn oranje gearceerd

Meetlocatie	Trillingssterkte V_{max}				Gemiddelde trillingssterkte V_{per}		
	Ref	Huidig	Plan	Q	Ref	Huidig	Plan
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
Turnstraat 7, Didam	0.06	0.06	0.10	1.7	<0.01	<0.01	<0.01
Toppegaiweg 4, Didam	0.23	0.28	0.32	1.4	0.02	0.03	0.04
Parallelweg 21, Didam	0.18	0.33	0.50	2.7	0.03	0.04	0.05
Uijenbroeklaan 61, Doetinchem	0.08	0.08	0.09	1.1	<0.01	<0.01	<0.01
Zandweg 1, 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	Trillingssterkte V_{max}				Gemiddelde trillingssterkte 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
Beekseweg 39, Wehl	0.23	0.27	0.25	1.1	0.02	0.03	0.03

Op meerdere meetlocaties kan een overschrijding van het beoordelingskader, de Bts, niet worden uitgesloten. Op die locaties is sprake van een grotere toename Q dan 1.3, waarbij de trillingssterkte 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 Bijlage VIII. 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 trillingssterkte V_{per} neemt op de meeste locaties wel toe door het grotere aantal treinen, maar blijft onder de grenswaarde A3.

Tenslotte, in dit onderzoek is uitsluitend gekeken naar de trillingen van treinverkeer, de trillingen van het wegverkeer en overige trillingsbronnen wijzigen namelijk niet als gevolg van het project.

4.2.3 Verstoring van trillingsgevoelige 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 onderzoeksgebied geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat er geen mogelijk gevoelige apparatuur aanwezig zijn.

4.3 Effecten in het MER

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

4.3.1 Wijziging gemiddelde en maximale trillingsniveau

Voor dit criterium is gekeken naar het aantal overschrijdingen van de grenswaarden uit de Bts.

In zowel de huidige situatie, de referentiesituatie 2035 als de plansituatie is de trillingssterkte V_{max} op een aantal adressen hoger dan de streefwaarde A1 en de grenswaarde A2, zie Tabel 9. 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 is de gemiddelde trillingssterkte V_{per} bij alle adressen lager dan de grenswaarde A3, zie Tabel 9.

Tabel 9: Aantal adressen in onderzoeksgebied, criterium 1

Criterium	Aantal in onderzoeksgebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 1 – Aantal boven A1-waarde	10	10	71
Criterium 1 – Aantal boven A2-waarde	0	0	4
Criterium 1 – Aantal boven A3-waarde	0	0	0

4.3.2 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 10, bepaald conform de methode zoals omschreven in paragraaf 2.5. Het aantal gehinderden neemt in de plansituatie met 770 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 10: Aantal gehinderden in het onderzoeksgebied, criterium 2

Criterium	Aantal in onderzoeksgebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 2 – Aantal gehinderden	490	490	1260

4.3.3 Schade vanwege trillingen

In paragraaf 4.2.1 staat de mogelijke schade door trillingen beschreven. Zowel tijdens de bouwfase als de gebruiksfase zijn er geen panden met trillingsschade te verwachten, zie Tabel 11.

Tabel 11: Aantal panden in onderzoeksgebied, criterium 3

Criterium	Aantal in onderzoeksgebied		
	Huidige situatie 2022	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 3 – Kans op trillingsschade	0	0	0

4.4 Conclusies

Door de toename van de rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen nemen de trillingen bij een aantal adressen toe. Vooral in Didam zijn er daardoor overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder mogelijk. Overschrijdingen van de beoordelingskaders voor trillingsschade en verstoring van trillingsgevoelige apparatuur worden niet verwacht als gevolg van het project.

Uit de projecteffecten die in het kader van het MER zijn onderzocht, is te zien dat slechts op enkele adressen een overschrijding van de A2-waarde wordt verwacht in de plansituatie. Momenteel zijn er geen overschrijdingen van deze waarde in het plangebied. Het aantal adressen boven de A1-waarde neemt wel sterk toe door het project, met name rond stations door de hogere rijsnelheid van de RegioExpres.

5 Beoordeling en maatregelen

5.1 Conclusies MER

Door de toename van de rijsnelheden en het soms dichterbij komen van de sporen, nemen de trillingen toe als gevolg van het project. Hierdoor neemt het aantal trillingsgehinderden toe ten opzichte van de referentiesituatie.

De beoordeling van de projecteffecten op de drie criteria zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Samenvatting effecten MER

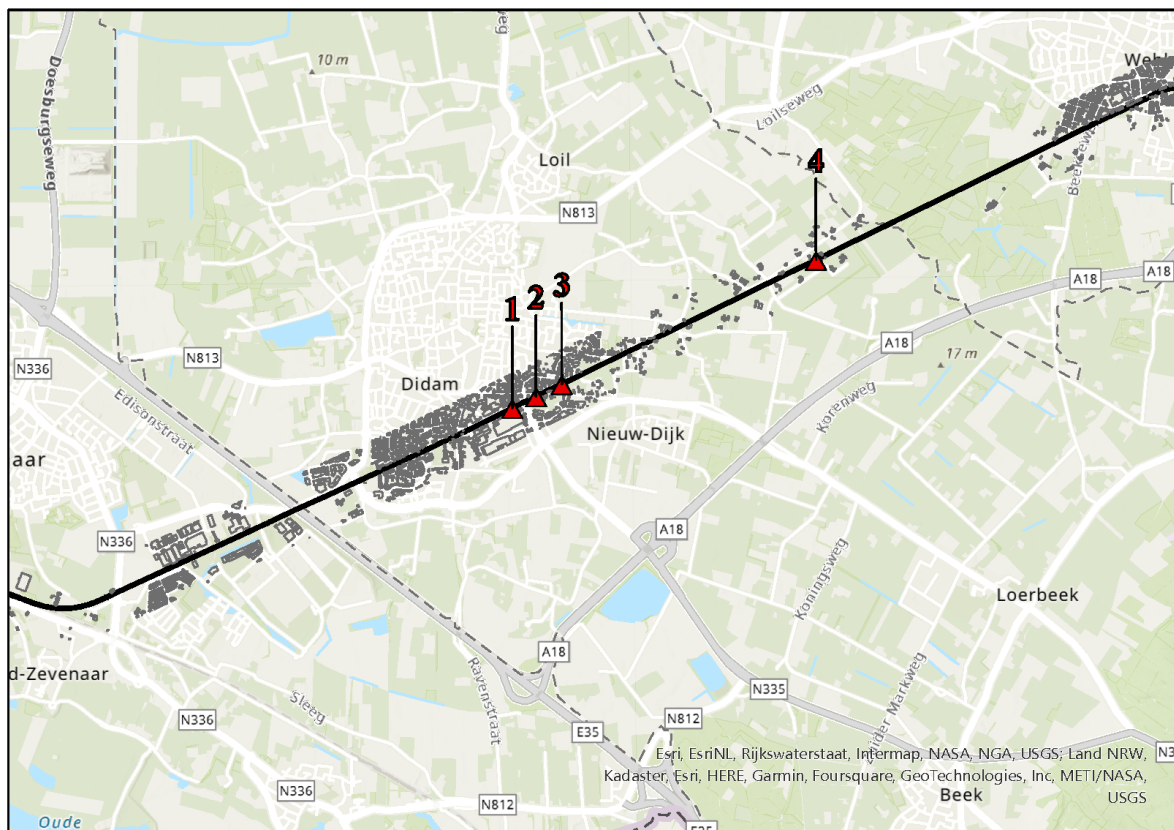
Criterium	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 1 – Overschrijdingen A1-waarde	0	--
Criterium 1 – Overschrijdingen A2-waarde	0	0
Criterium 1 – Overschrijdingen A3-waarde	0	0
Criterium 2 – Wijziging aantal gehinderden	0	--
Criterium 3 – Kans op trillingsschade	0	0

Door de toename van de rijsnelheid rond stations en het dichterbij komen van de sporen, nemen de trillingen met name rond stations toe als gevolg van het project. Hierdoor neemt het aantal gehinderden toe, en ook het aantal overschrijdingen van de A1-streefwaarde. Omdat de trillingen relatief laag blijven in de meeste woningen, neemt het aantal overschrijdingen van de grenswaarden voor trillingen niet of nauwelijks toe.

5.2 Conclusie PIP

Ten behoeve van het PIP is voor alle objecten langs het tracé getoetst of deze voldoen aan het beoordelingskader voor trillingsschade (de SBR A-richtlijn), het beoordelingskader voor trillingshinder (de Bts) en het beoordelingskader voor verstoring van gevoelige apparatuur (de SBR C-richtlijn). Op basis van de metingen en modelberekeningen wordt in geen enkel pand een overschrijding van de grenswaarden voor trillingsschade verwacht. Ook verstoring van trillingsgevoelige apparatuur wordt niet verwacht. Tijdens de bouwphase vinden geen activiteiten plaats die tot schade in omliggende panden leiden.

Wel worden er op in totaal 4 locaties (clusters) overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder verwacht. Het gaat in totaal om 21 adressen. De locaties met overschrijdingen zijn samengevat weergegeven in Figuur 9, en bevinden zich voornamelijk in de omgeving van station Didam. Voor deze locaties is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd om vast te stellen of er kosteneffectieve maatregelen zijn waarmee de trillingshinder teruggebracht kan worden tot binnen genoemd beoordelingskader. Dit onderzoek wordt in de volgende subparagraaf beschreven.



Figuur 9 Kaart met overschrijdingen beoordelingskader trillingen

5.3 Mitigerende maatregelen

Tijdens de bouwfase zijn er geen panden waar schade aan panden te verwachten is, en zijn maatregelen dus niet nodig.

Voor de exploitatiefase wordt ten aanzien van trillingsschade en verstoring van trillingsgevoelige apparatuur voldaan aan het beoordelingskader, en zijn geen mitigerende maatregelen nodig. Omdat er wel overschrijdingen zijn geconstateerd van het beoordelingskader voor trillingshinder, is voor het aspect trillingshinder gekeken naar welke maatregelen per cluster (aaneengesloten groep gebouwen met mogelijke overschrijdingen) doelmatig kunnen zijn. De gevolgde stappen en de resultaten van dit onderzoek zijn opgenomen in Bijlage IX, een samenvattend overzicht van de mogelijk doelmatige maatregelen per cluster is hieronder opgenomen. De weergegeven kosten¹¹ zijn de totaalkosten per cluster (inclusief BTW). Verder is het aantal overschrijdingen voor en na de maatregel weergegeven en de benodigde reductie in de trillingssterkte V_{max} of de trillingsintensiteit V_{per} om te voldoen aan het beoordelingskader. De meest kosteneffectieve maatregel (gedefinieerd als de kosten van de maatregel gedeeld door het aantal gereduceerde overschrijdingen maal het richtbedrag per adres) is dikgedrukt weergegeven.

¹¹ 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%), engineeringskosten (5%), onvoorziene kosten (5%) en PEAT (5%). Kosten voor grondverwerving, het verleggen van kabels en leidingen en eventuele aankoop van opstallen is hierin niet meegenomen.

Tabel 13: Mogelijk doelmatige maatregelen per cluster, inclusief overschrijdingen voor en na maatregel en kosten van de maatregel

Cluster	Overschrijdingen	Benodigde reductie		Mogelijk doelmatige maatregelen	Overschrijdingen	Kosten
		V_{max}	V_{per}			
1 - Didam Parallelweg	5	53%	0%	Geen	5	
2 - Didam Oude Beekseweg 48A-50	2	26%	0%	Geen	2	
3 - Didam Eg-Zandweg	12	24%	0%	Geen	12	
4 - Didam Toppegaiweg 2-4	3	7%	0%	Under Sleeper Pads	0	€ 171,376

Bij drie clusters zijn geen doelmatige maatregelen te treffen, omdat maatregelen niet inpasbaar, de kostbaar of onvoldoende effectief zijn. Bij één cluster zijn Under Sleeper Pads (USP's¹²) een kosteneffectieve maatregel.

Door het treffen van de doelmatige maatregelen neemt het aantal overschrijdingen van de Bts af van 22 naar 19. De totale investeringskosten voor trillingsmaatregelen bedragen € 0.2 mln. incl. BTW.

5.4 Effect van de maatregelen

Met de genoemde maatregelen is de waardering van Tabel 12 opnieuw toegekend, maar nu voor de situatie met kosteneffectieve maatregelen. Dit is weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14: Samenvatting effecten na mitigerende maatregelen

Criterium	Referentiesituatie 2035	Plansituatie 2035
Criterium 1 – Overschrijdingen A1-waarde	0	--
Criterium 1 – Overschrijdingen A2-waarde	0	0
Criterium 1 – Overschrijdingen A3-waarde	0	0
Criterium 2 – Wijziging aantal gehinderden	0	--
Criterium 3 – Kans op trillingsschade	0	0

Het treffen van de kosteneffectieve maatregelen zorgt niet voor een verbetering van de scores op de criteria, omdat er maar voor een beperkt aantal adressen een doelmatige maatregel is. De verbetering is daardoor niet zichtbaar in Tabel 14.

5.5 Conclusies

Uit het onderzoek volgt dat het project leidt tot een toename van het aantal trillingsgehinderden. Door de toename van de rijsnelheid rond stations en op sommige locaties ook het dichterbij komen van de sporen, nemen de trillingen op in totaal vier locaties langs het tracé toe.

Om de trillingen te reduceren worden op één locatie Under Sleeper Pads voorgesteld. Op de andere locaties zijn geen kosteneffectieve maatregelen mogelijk, omdat het effect van de maatregelen te laag is of de kosten voor maatregelen ruim hoger zijn dan het richtbedrag voor maatregelen. Dit

¹² Het gaat hier om zachte USP's, type A (conform SPC00316). Let op, de kosten zijn exclusief de nog benodigde overgangszones van standaard ballastbed naar USP's type A.

richtbedrag voor maatregelen is gebaseerd op het aantal gebouwen met een overschrijding van de streefwaarden.

Na het nemen van de voorgestelde maatregelen wordt in de meeste delen 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.

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1 Inleiding

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.

6.2 Conclusie irt uitvoerbaarheid PIP

6.2.1 Toetsing aan richtlijnen

In het onderzoek voor het PIP zijn drie beoordelingskaders beschouwd: de SBR A-richtlijn voor trillingsschade, de Bts voor trillingshinder en de SBR C-richtlijn voor verstoring van gevoelige apparatuur. Voor zowel trillingsschade als verstoring van trillingsgevoelige apparatuur worden geen overschrijdingen van de beoordelingskaders verwacht. Voor trillingshinder zijn overschrijdingen in een deel van het plangebied echter niet uit te sluiten, en is een maatgelafweging nodig.

6.2.2 Mitigerende maatregelen

Op de locaties waar een kans is op een overschrijding van het beoordelingskader voor trillingshinder, de Bts, is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Hieruit volgt dat de projecteffecten met maatregelen op één van de vier locaties zijn te mitigeren met Under Sleeper Pads. 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 grenswaarde waarboven maatregelen *moeten* worden getroffen.

In de berekeningen en afweging is voor de nog niet gerealiseerde panden uitgegaan van een 'goede bouwwijze', waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat de panden nabij het spoor liggen. Dit betekent dat in de constructie van met name de vloeren eigenfrequenties dienen te worden vermeden die samenvallen met de dominante eigenfrequenties van het treinverkeer, zoals opgenomen in de bijlagen van dit onderzoek.

6.2.3 Cumulatieve effecten

De cumulatie van de trillingen van treinverkeer met andere trillingsbronnen kan leiden tot hogere trillingen dan wanneer de verschillende trillingsbronnen afzonderlijk worden bekeken. In het onderzoeksgebied 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 trillingsbronnen hebben vergelijkbare trillingssterktes. Dit betekent doorgaans dat de afstand tot beide trillingsbronnen vergelijkbaar moet zijn, maar ook dat het type trillingsbron vergelijkbaar moet zijn. De trillingsspectra 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 trillingsbronnen 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.

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

6.3 Totaalbeoordeling effecten t.b.v. MER

Op basis van de aantallen per toetsingscriterium is in Tabel 15 een waardering toegekend van de effecten van het plan. Deze waardering is gebaseerd op paragraaf 2.5.1, de waarderingen zijn ten opzichte van de referentiesituatie en zijn zowel in- als exclusief kosteneffectieve maatregelen weergegeven.

Tabel 15: Samenvatting effecten

Criterium	Referentiesituatie 2035	Plansituatie excl. maatregelen	Plansituatie incl. maatregelen
Criterium 1 – Overschrijdingen A1-streefwaarde	0	--	--
Criterium 1 – Overschrijdingen A2-grenswaarde	0	0	0
Criterium 1 – Overschrijdingen A3-grenswaarde	0	0	0
Criterium 2 – Wijziging aantal gehinderden	0	--	--
Criterium 3 – Kans op trillingsschade	0	0	0

Het project heeft negatieve effecten op criterium 1 (aantal adressen boven A1-streefwaarde) en 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. Het toepassen van de doelmatige trillingsmaatregelen heeft geen effect op deze scores, omdat maar voor een beperkt aantal adressen een maatregel doelmatig is.

6.4 Conclusie

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

De overschrijdingen zijn op één van de vier locaties te mitigeren met Under Sleeper Pads. 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 trillingsschade en verstoring van trillingsgevoelige apparatuur.

Colofon

OPDRACHTGEVER	ProRail
UITGAVE	Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 Postbus 2855 3500 GW Utrecht
TELEFOON	+31 (0)30 - 265 5555
ONDERTEKENAAR	Gasparotto K (Kareen) kareen.gasparotto@movares.nl
PROJECTNUMMER	MN002205
KENMERK	D79-KGA-HS-RAP-23002559

© 2023, Movares Nederland B.V.

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

Bijlage I. VibraDyna

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van VibraDyna, een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillings situatie 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, trillingssterktes, 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).

1.1.1 In- en uitvoer

Gebruikers kunnen de volgende parameters variëren:

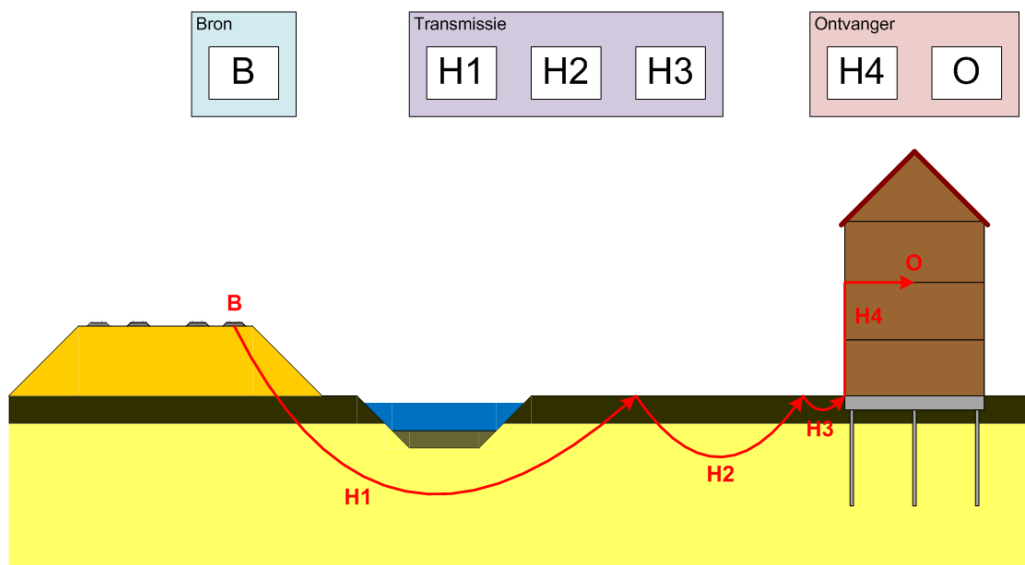
1. Afstand tussen gebouw en spoor
2. Bodemtype (zand, veen, klei, etc.). Deze gegevens zijn op hoofdlijnen uit archieven beschikbaar
3. Voertuigtypes
4. Voertuigsnelheden
5. Voertuigintensiteiten in dag-, avond- en nachtperiode
6. Wissels en kunstwerken

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

1.1.2 Bron, transmissie en ontvanger

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de voortplanting van trillingsgolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingsbron 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 10. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.



Figuur 10: Transmissie van trillingen

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

1.1.3 Database

Er is een aantal bronparameters dat de trillingssterkte 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 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 trillingsbronnen.

1.1.4 Berekening

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

De gemiddelde trillingssterkte 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:

- Trillingsmetingen 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 trillingsmetingen 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 wielonrondheid, 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 damping van de bodem. Door deze invloeden frequentieafhankelijk in het model in te voeren, wordt de nauwkeurigheid van het trillingsmodel vergroot ten opzichte van het werken met scalaire grootheden.

1.2.2 Relatie tussen tertsbandspectrum en v_{eff}

De trillingssterkte v_{eff} is een gewogen voortschrijdend gemiddelde, dat gecorrigeerd is voor frequenties. Deze grootheid wordt gebruikt om de trillingssterkte 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 trillingssterkte 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 trillingssterkte V_{max} bepaald voor de verschillende onderzochte situaties.

1.3 Betrouwbaarheid van VibraDyna

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

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingssterkte.
- 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 trillingsmodel 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 trillingssterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen waar in werkelijkheid een hogere trillingssterkte 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 trillingsonderzoeken ten behoeve van de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem*¹³, *Sporen in Utrecht*¹⁴ en *Doorstroomstation Utrecht*¹⁵ 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 trillingssterkte en gemiddelde trillingssterkte wordt door VibraDyna bepaald met een betrouwbaarheid van 95 procent. Bij beoordeling op de Bts speelt vooral de toename in trillingssterkte een belangrijke rol. Om deze toename conservatief genoeg te berekenen, rekent VibraDyna met simultane probabilistische verdelingen van de trillingssterkte per meetpunt. Voor elke factor die de trillingssterkte 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 trillingssterkte in de referentie- en plansituatie, kunnen kansdichtheidscontouren worden getrokken zoals in Figuur 11. De zwarte punt geeft in dit geval de trillingssterkte 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 11, en hoe betrouwbaarder de predictie dus is.

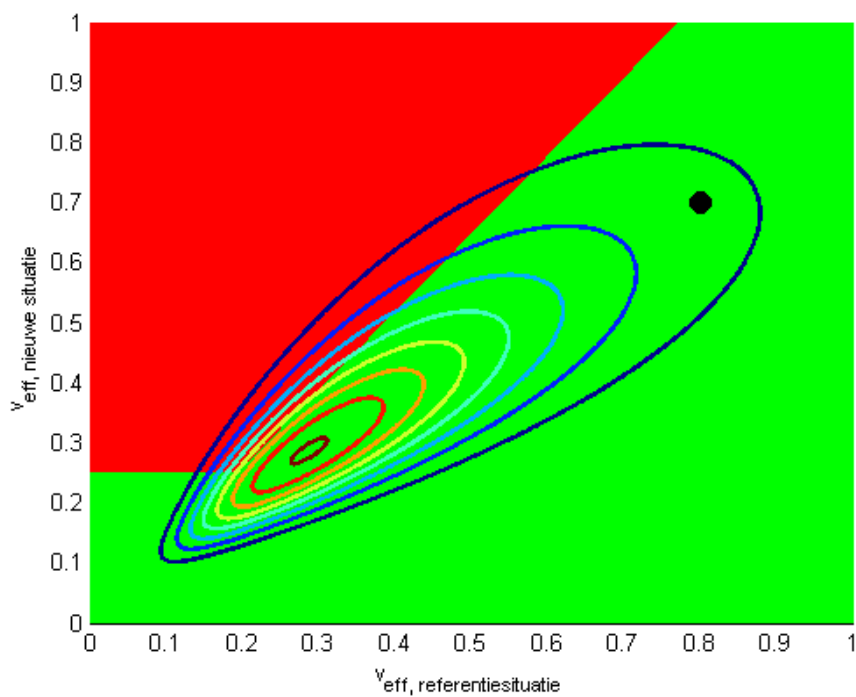
Door de simultane probabilistische verdeling van de trillingssterkte in de referentie- en plansituatie te integreren over het groene gebied in Figuur 11, kan een kans worden toegekend aan of een woning voldoet aan het beoordelingskader. Voor de in Figuur 11 getoonde contouren is deze kans bijvoorbeeld 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 trillingssterkte in de nieuwe situatie waarschijnlijk echter aanzienlijk lager dan de trillingssterkte die weergegeven is door de zwarte stip in Figuur 11. 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).

¹³ 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

¹⁴ 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

¹⁵ 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 11: Voorbeeld trillingssterkte in referentie- en plansituatie (zwarte stip) en kansdichtheidscontouren van mogelijke trillingssterktes (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: trillingshinder (aantal overschrijdingen van de Bts en kans op hinder) en trillingsschade (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 trillingsschade

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 trillingsbron 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 trillingssnelheid, gemeten aan de fundering, zonder uitzondering kleiner dan 2 mm/s. Onder deze grens is de kans op schade kleiner dan 1 procent. Dergelijke trillingssterktes treden niet op in dit project als gevolg van treinverkeer.

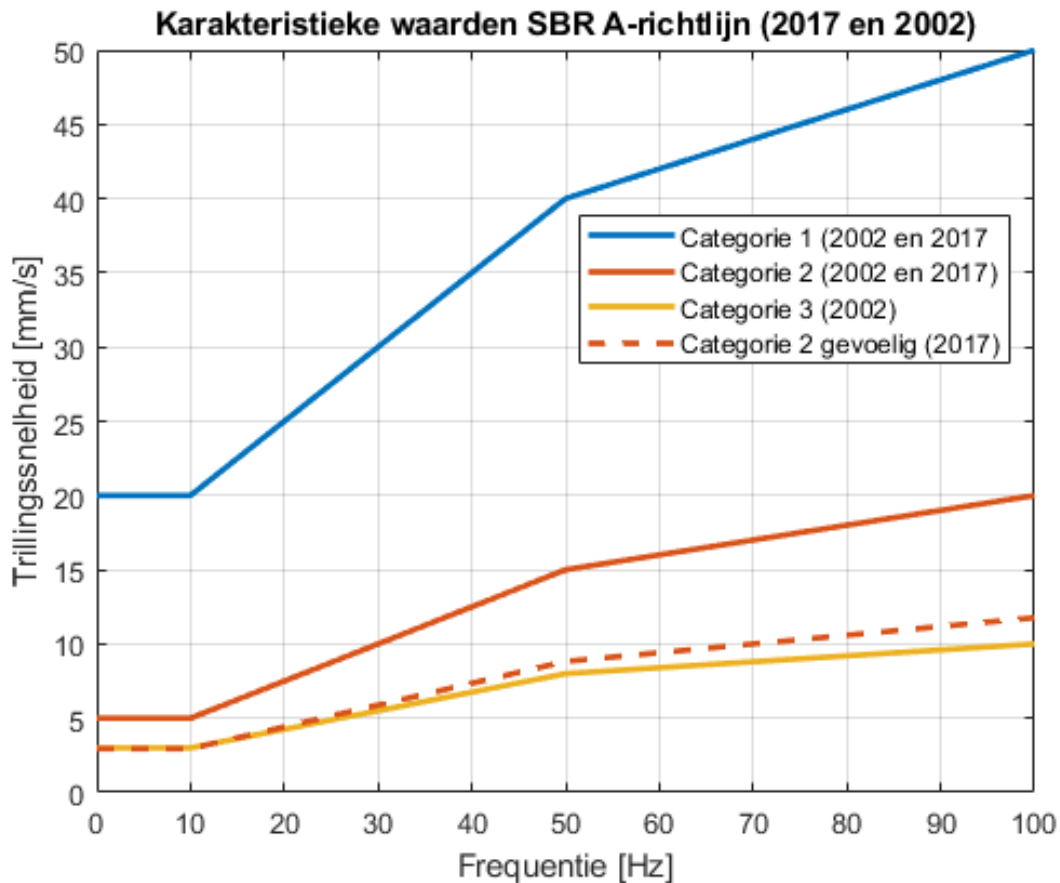
II.2.3 Algemeen

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 brosse 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 12. Ter indicatie zijn ook de waarden uit de vorige SBR A-richtlijn (2002-versie) getoond.



Figuur 12: Grenswaarden in SBR A-richtlijn

2. Type trillingsbron. Er worden drie verschillende typen trillingsbronnen 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 trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening behoeft 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 bouwverkeer en treinverkeer. Deze bronnen vallen 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 overeen komend 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 trillingsrichtlijn 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 trillingsschade 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 trillingsbron, kan de met behulp van berekeningen bepaalde trillingssnelheid 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) – beoordelingskader trillingshinder

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillingshinder 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 MKBA¹⁶, uitgevoerd door Witteveen+Bos, RoyalHaskoningDHV en TNO;
- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingssterkte wordt bepaald over een meetperiode van tenminste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingssterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde *R*. 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 trillingssituatie en het nemen van maatregelen rekening gehouden met deze onzekerheid.

¹⁶ 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 trillingssterktes gedurende de nacht lager zijn dan die gedurende de dag en avond.

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

V_{per} is een weergave van de gemiddelde trillingssterkte. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 valt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van de V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn.

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 trillingssterktes, zie Tabel 16 voor de normstelling voor bestaande situaties.

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

Tabel 16: Normstelling nieuwe situatie volgens Bts

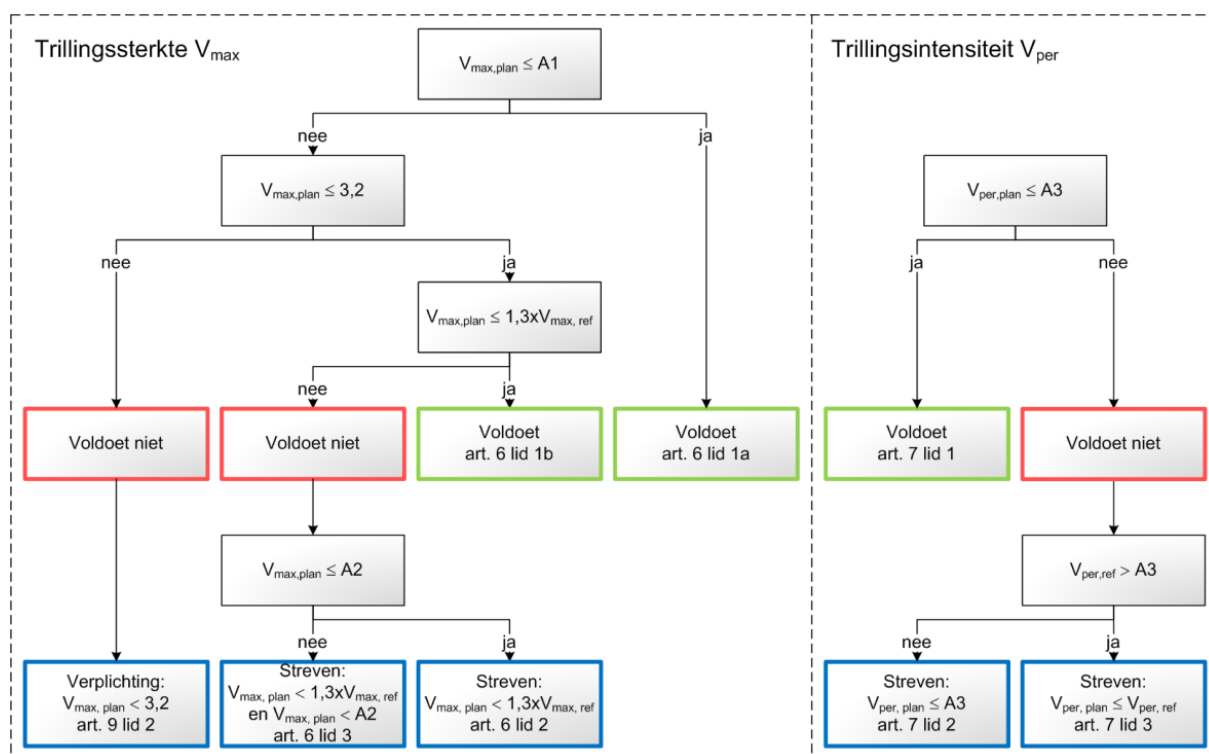
Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.15	0.6	0.15	0.15	0.6	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

II.3.2 Beoordeling van trillingssituatie

Om te beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts voor bestaande situaties moet het schema in Figuur 13 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder 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 trillingssterkte V_{per} is lager dan A3.

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



Figuur 13: 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 trillingsmetingen

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

1. Stap 1: met behulp van gegevens over de passagetijden¹⁷ 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 spectraalanalyse¹⁸ worden de trillingssignalen 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 trillingssignalen nader geanalyseerd. Signalen met een sterk afwijkend frequentiespectrum zijn vaak vervuild met werkzaamheden buiten of passerend vrachtverkeer. Omdat deze trillingen niet te wijten zijn aan passerende treinen, worden deze trillingen apart gemarkeerd als zijnde achtergrondtrillingen.
4. Stap 4: de hoogste waarden uit de dataset worden nogmaals gecontroleerd of het niet-vervulde treinsignalen zijn of niet. Elke trein wordt gemarkeerd met de bijbehorende spoorafstand. Alle niet spoorgerelateerde trillingsbronnen worden apart gemarkeerd. In de datasets in het meetrapport zijn deze trillingsbronnen eveneens weergegeven.

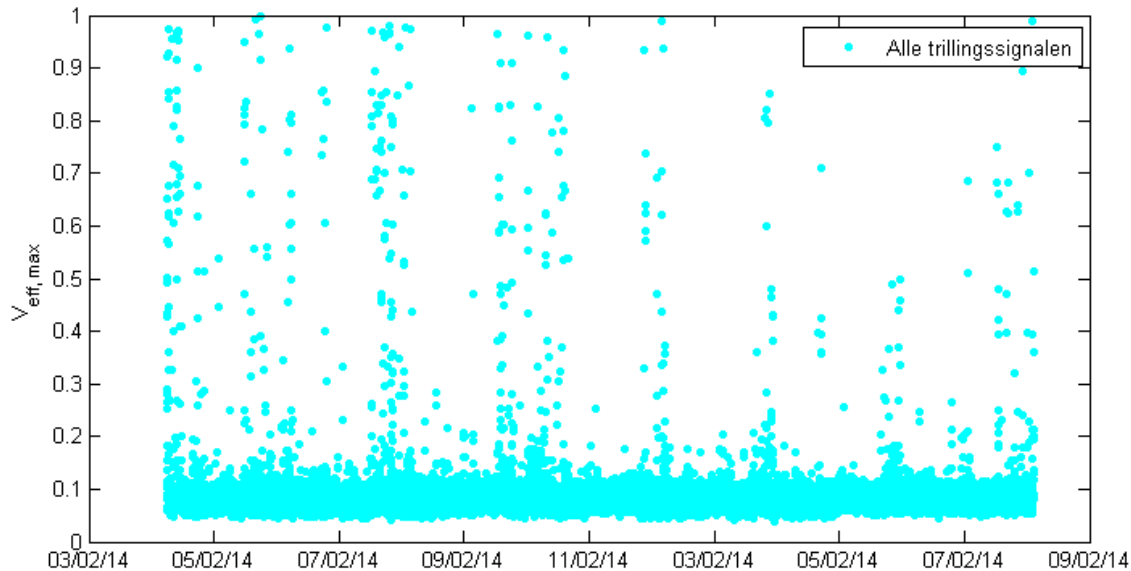
Deze stappen worden met behulp van een voorbeeldsituatie nader toegelicht in deze bijlage.

¹⁷ Deze passagetijden zijn opgevraagd bij ProRail

¹⁸ 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. Per meetlocatie is deze meetdata weergegeven in Bijlage VIII. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is weergegeven in Figuur 14. 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 14: Meetdata, $V_{eff,max}$ per 30 seconden voor het fictieve voorbeeld

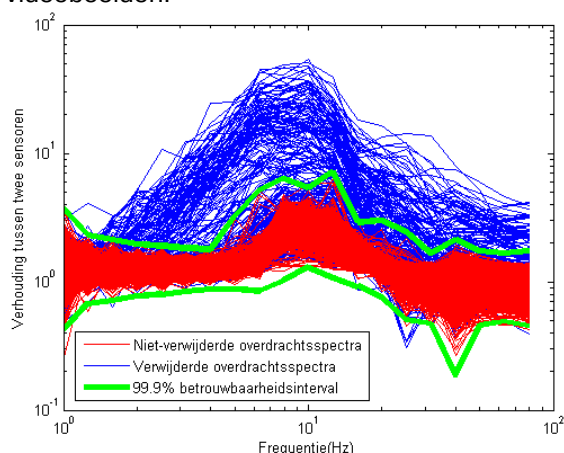
IV.2 Stap 1 – Toekennen events

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 trillingsspectra van de verschillende sensoren op elkaar worden gedeeld. Hierdoor worden lokaal optredende trillingen, zoals voetstappen, inzichtelijk gemaakt. Deze voetstappen vertonen immers alleen een uitslag op een van beide sensoren. Een voorbeeld van deze selectie op trillingsspectra is weergegeven in Figuur 15. De

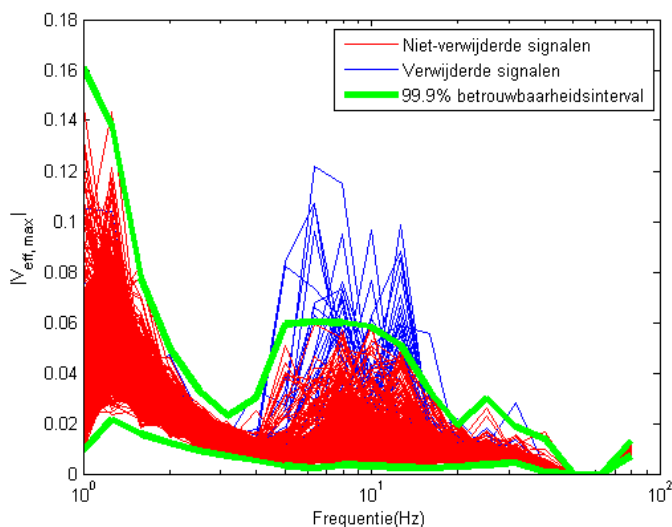
selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in overdrachten en geverifieerd in de videobeelden.



Figuur 15: Spectraalanalyse in stap 2 voor het fictieve voorbeeld

IV.4 Stap 3 – Filteren externe verstoringen

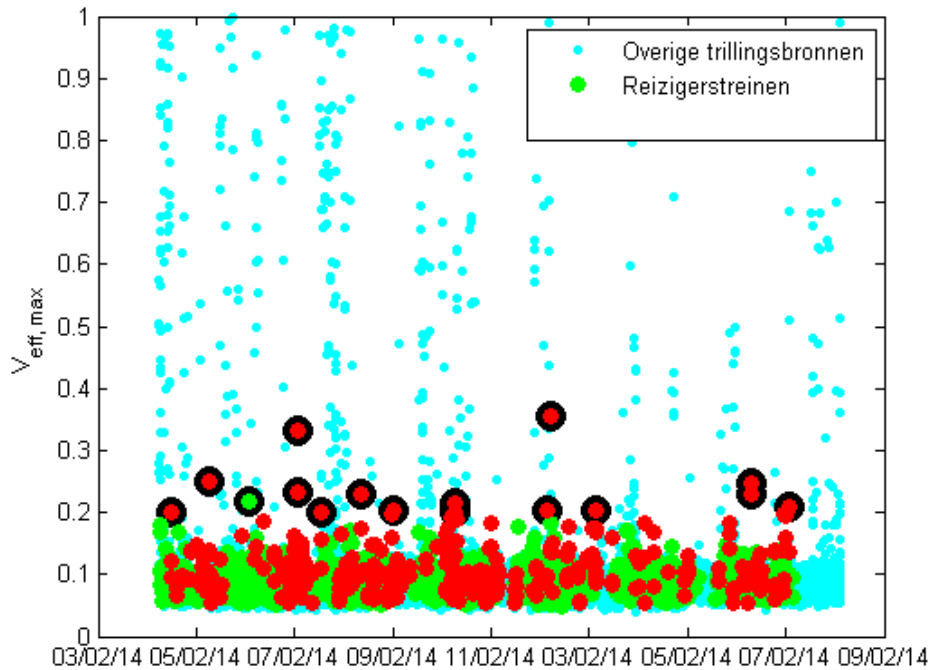
Conform het memo van Level Acoustics worden niet-spoor gerelateerde gebeurtenissen, zoals wegverkeer en bouwwerkzaamheden, verwijderd uit de dataset. In het geval van externe verstoringen, zoals de passage van vrachtauto's of het gelijktijdig uitvoeren van werkzaamheden buiten het gebouw, kunnen deze verstoringen worden uitgefilterd met behulp van spectraalanalyse. Deze spectraalanalyse vindt per treintype plaats, zodat duidelijk zichtbaar wordt welke 30-secondeperiodes sterk afwijkende trillingsspectra hebben. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 16. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in signalen en geverifieerd met behulp van de videobeelden.



Figuur 16: Spectraalanalyse in stap 3 voor het fictieve voorbeeld

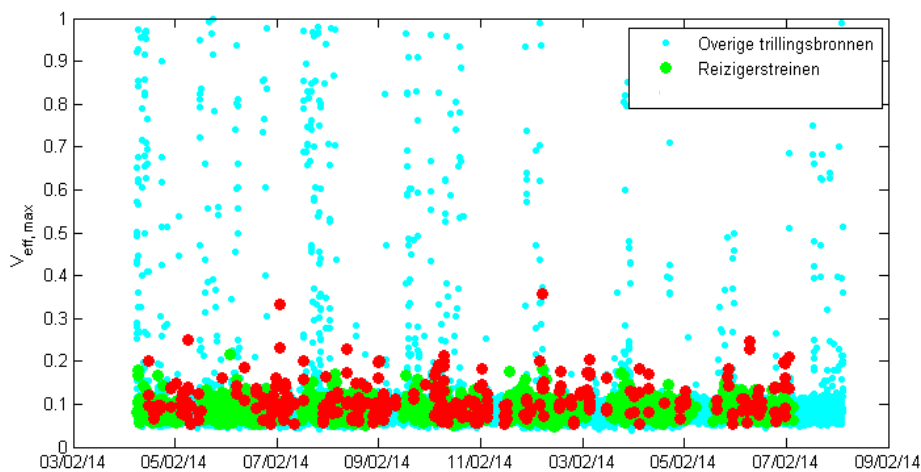
IV.5 Stap 4 – Controle van hoogste waarden

Als laatste controlestap worden alle hoge trillingssignalen nogmaals gecontroleerd op vervuiling door andere trillingsbronnen. Deze laatste controle vindt handmatig plaats in de meetsoftware. Hierbij worden de trillingssignalen en videobeelden beschouwd op afwijkingen en verstoringen. Een voorbeeldselectie van te controleren trillingssignalen (zwart omcirkelde meetpunten) voor dit voorbeeld is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: Te controleren treinsignalen in stap 4 voor het fictieve voorbeeld

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 18. Dit is de uiteindelijke dataset waarover de trillingssterkte V_{max} en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} worden bepaald.



Figuur 18: Schone dataset met treinpassages voor het fictieve voorbeeld

IV.6 Naverwerkingsprocedure

De naverwerkingsprocedure zoals die is toegepast in dit trillingsonderzoek 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:

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

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:

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

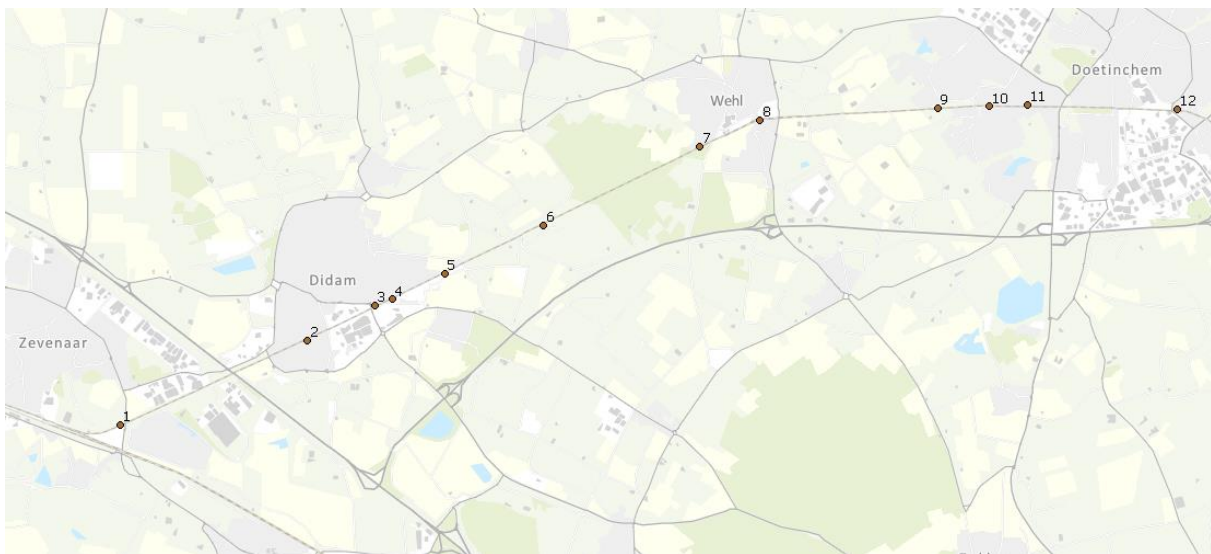
Vervolgens wordt getoetst aan de Bts, waarbij de volgende parameters worden getoetst:

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 trillingssterkte).
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 2017, eventueel gecorrigeerd voor de bijbehorende R_Q -waarde.

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

Voor het in dit trillingsonderzoek 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 19, 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 19: Locaties van maaiveldmetingen, de nummers corresponderen met de paragraafnummers

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

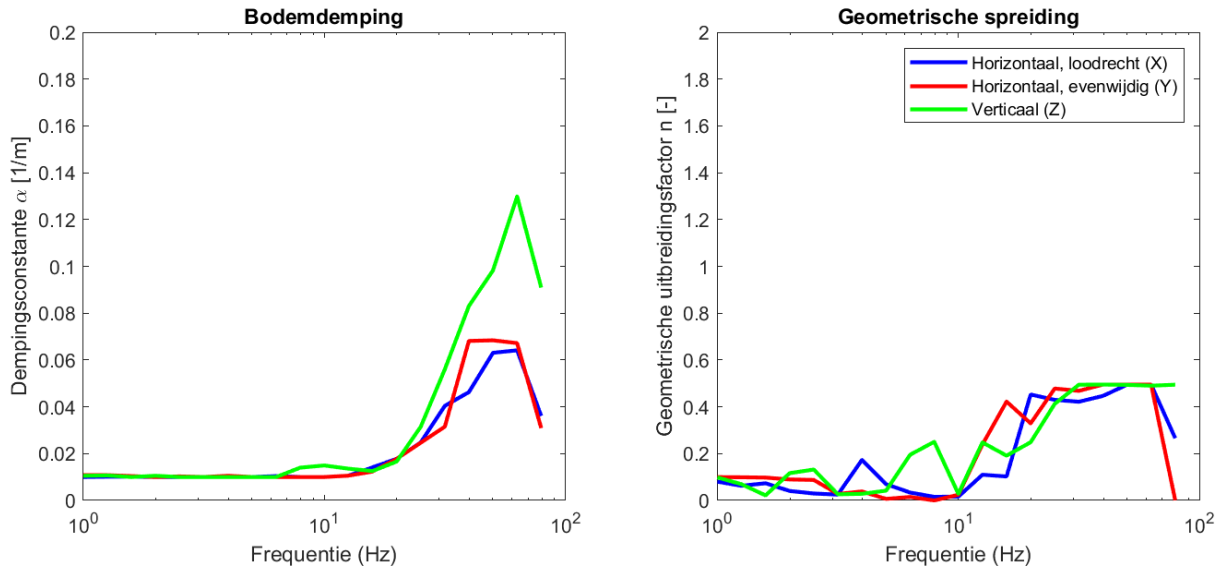
$$V(r, f) = V(r_0, f) \frac{r_0^{n(f)}}{r} e^{-\alpha(f)(r-r_0)}$$

Hierin is $V(r, f)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r tot de trillingsbron, r_0 een referentieafstand, n een frequentieafhankelijke factor die de geometrische uitbreiding van de trillingen beschrijft en α een frequentieafhankelijke factor die de bodemdemping beschrijft. Met behulp van de kleinste-kwadratenmethode is deze relatie voor elke frequentie in het tertsbandspectrum te bepalen. Resultaat van de maaiveldmetingen is per locatie een dempingsconstante, een geometrische uitbreidingsfactor en een trillingsspectrum op verschillende afstanden tot het spoor. De resultaten per meetlocatie zijn weergegeven in de volgende subparagrafen.

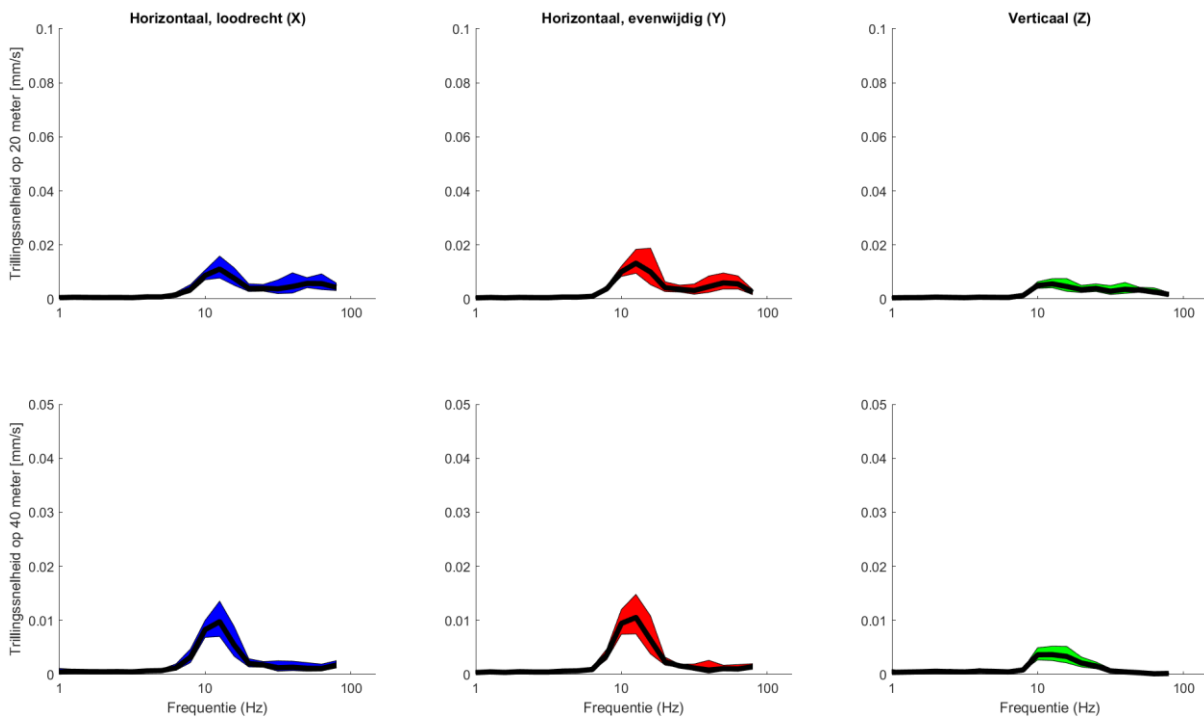
Op basis van de resultaten van de maaiveldmetingen en de grondopbouw (zie Bijlage III) is een bodemmodel gemaakt dat zo nauwkeurig mogelijk de trillingen en de uitdemping als functie van de afstand beschrijft in het gehele onderzoeksgebied.

V.1 Zevenaar Hengelder 2

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 20. De trillingsspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 21.



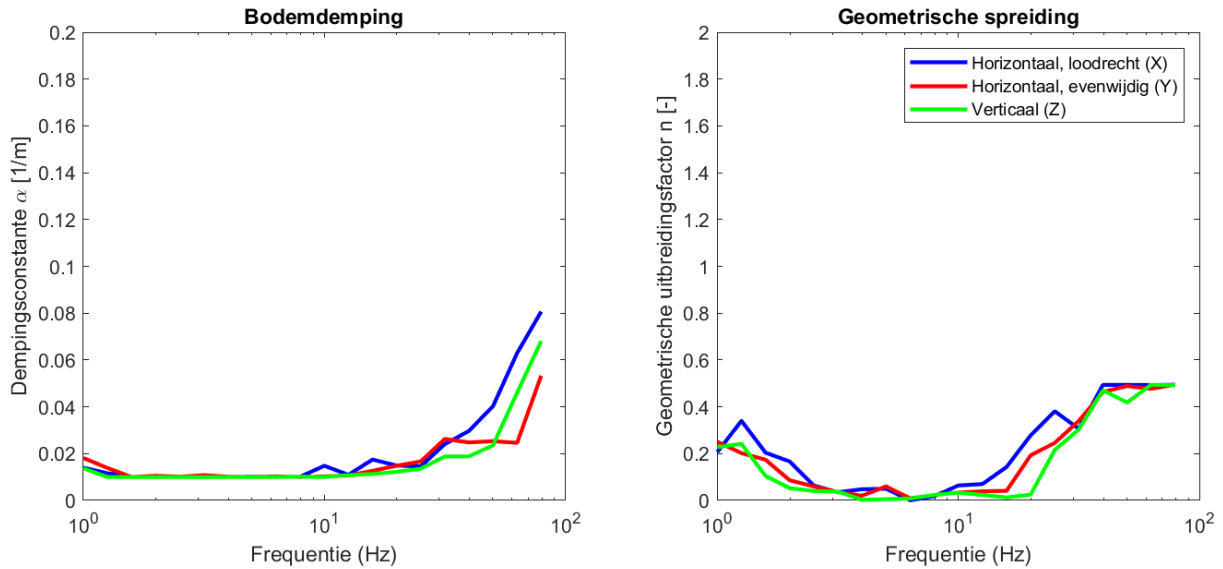
Figuur 20: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



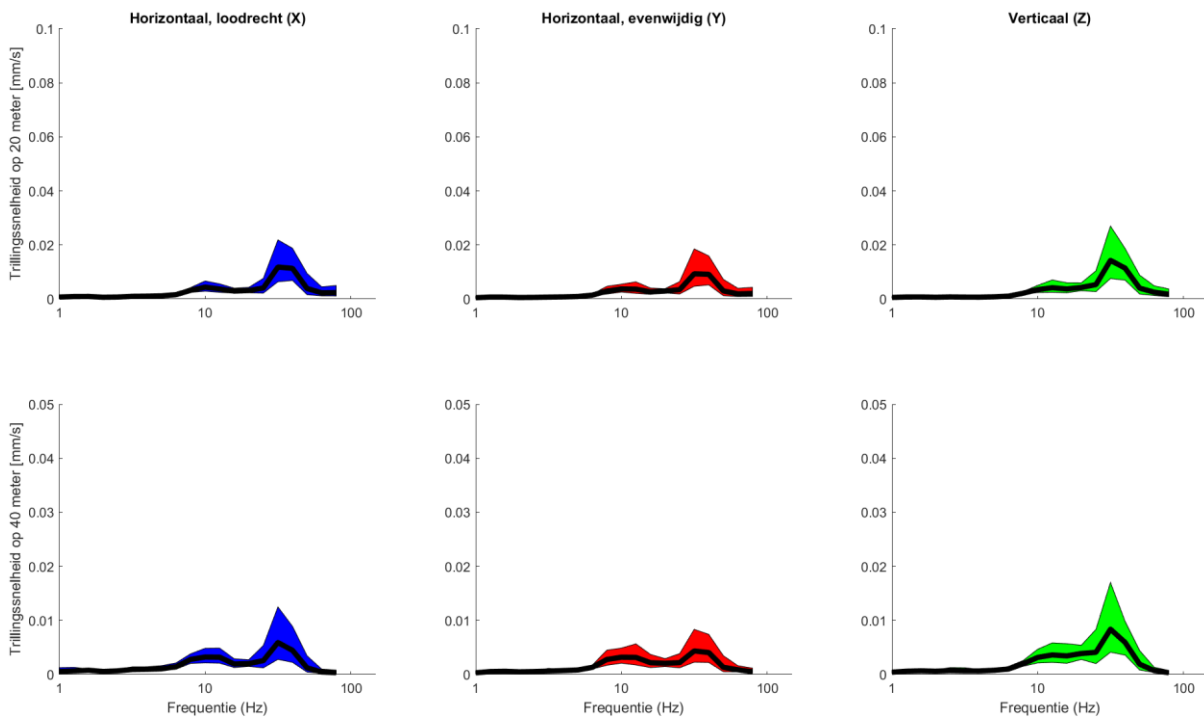
Figuur 21: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.2 Didam – Groote Huilakker 4

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 22. De trillingsspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type GTW zijn weergegeven in Figuur 23.



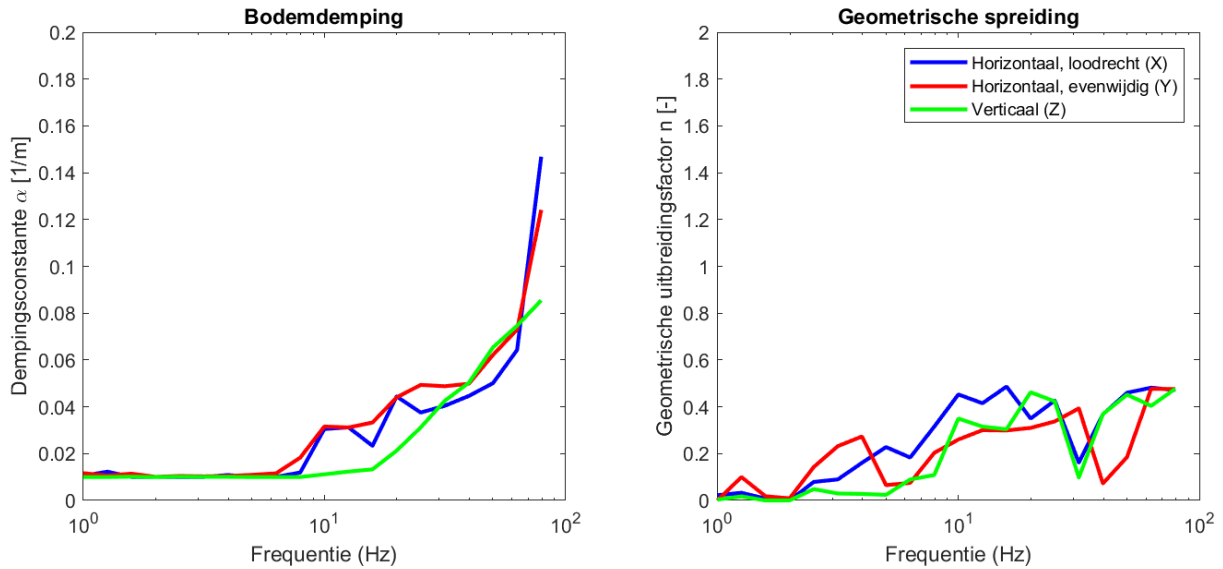
Figuur 22: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



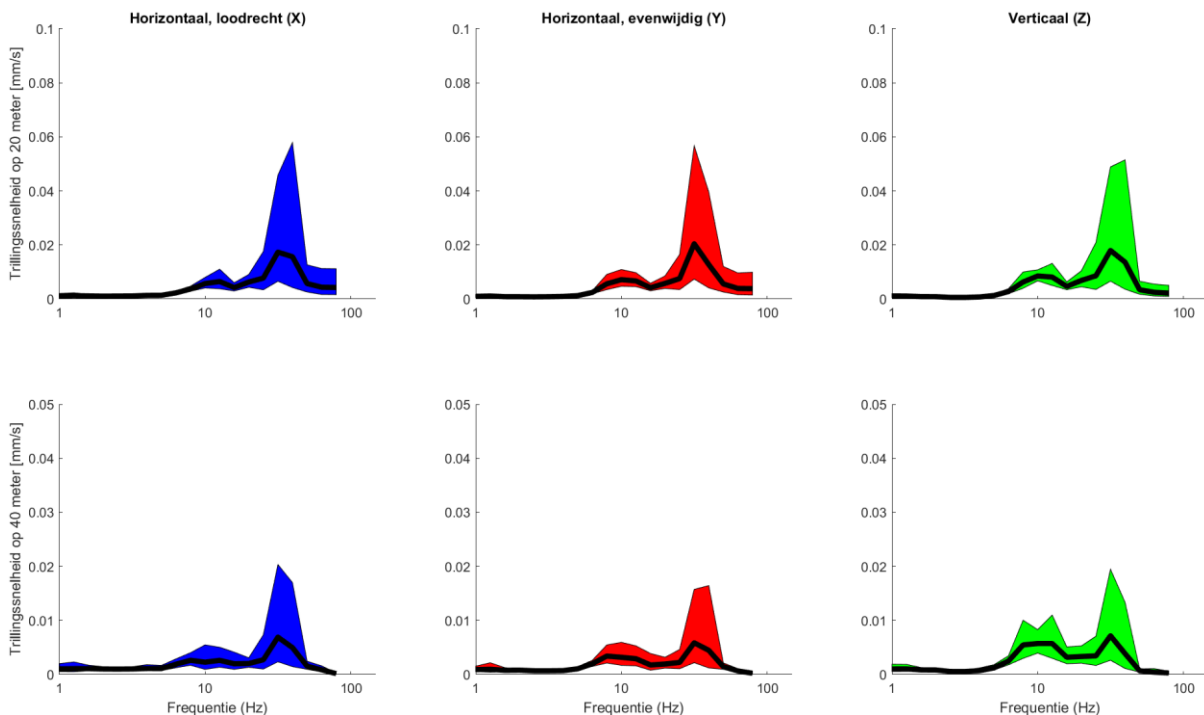
Figuur 23: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.3 Didam – Wilhelminastraat 118

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



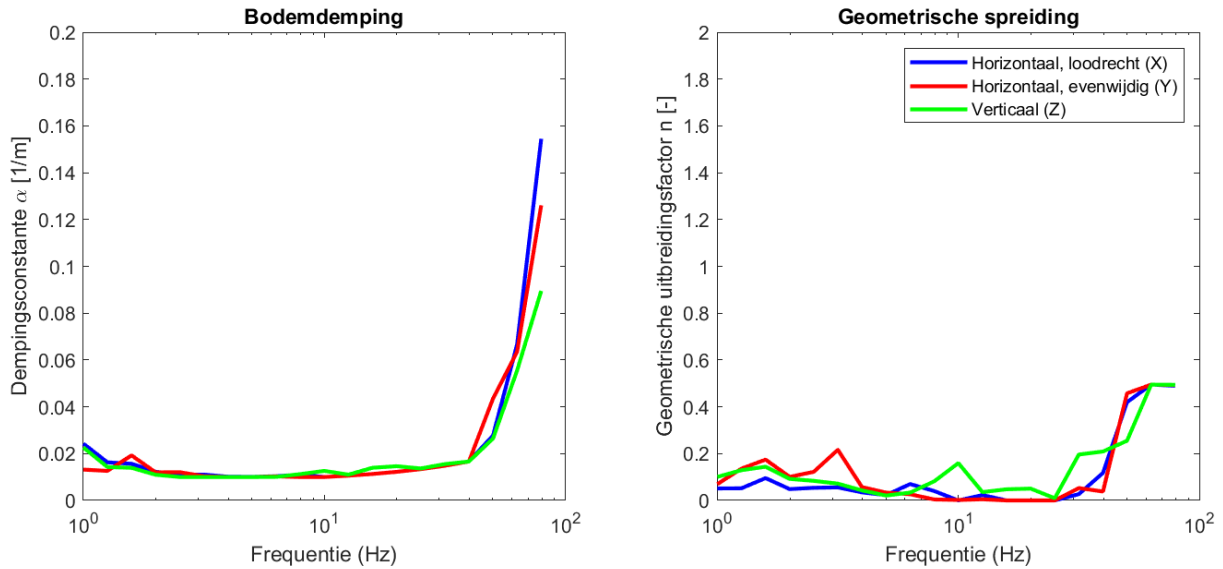
Figuur 24: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



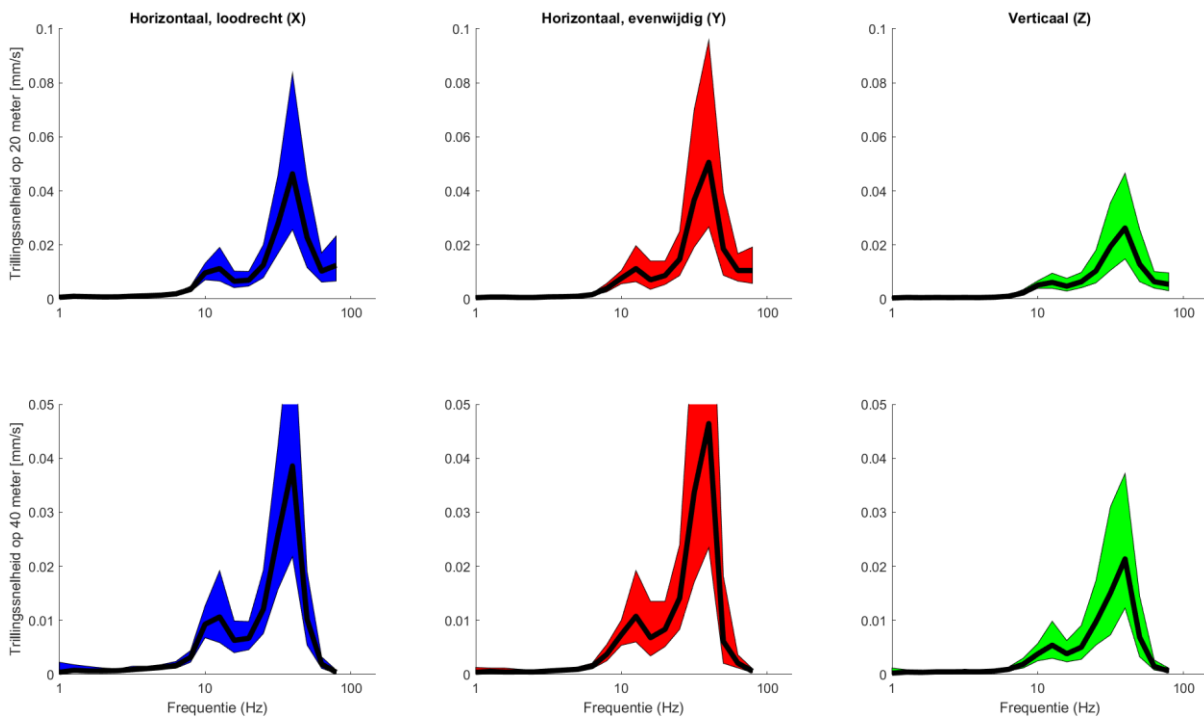
Figuur 25: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.4 Didam – Oude Beekseweg 47

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



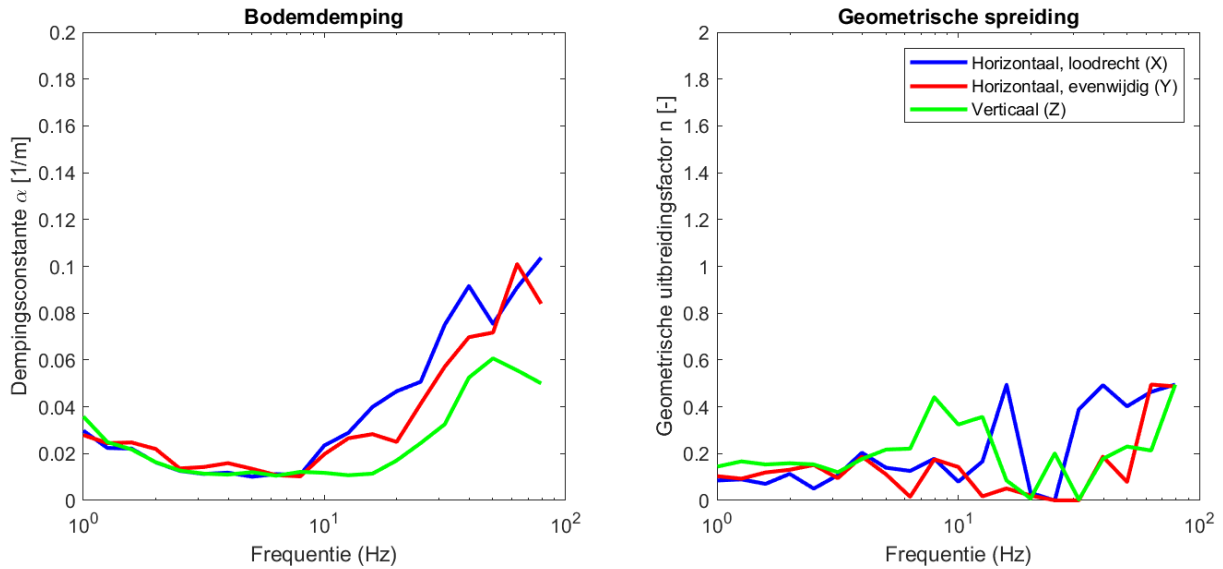
Figuur 26: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



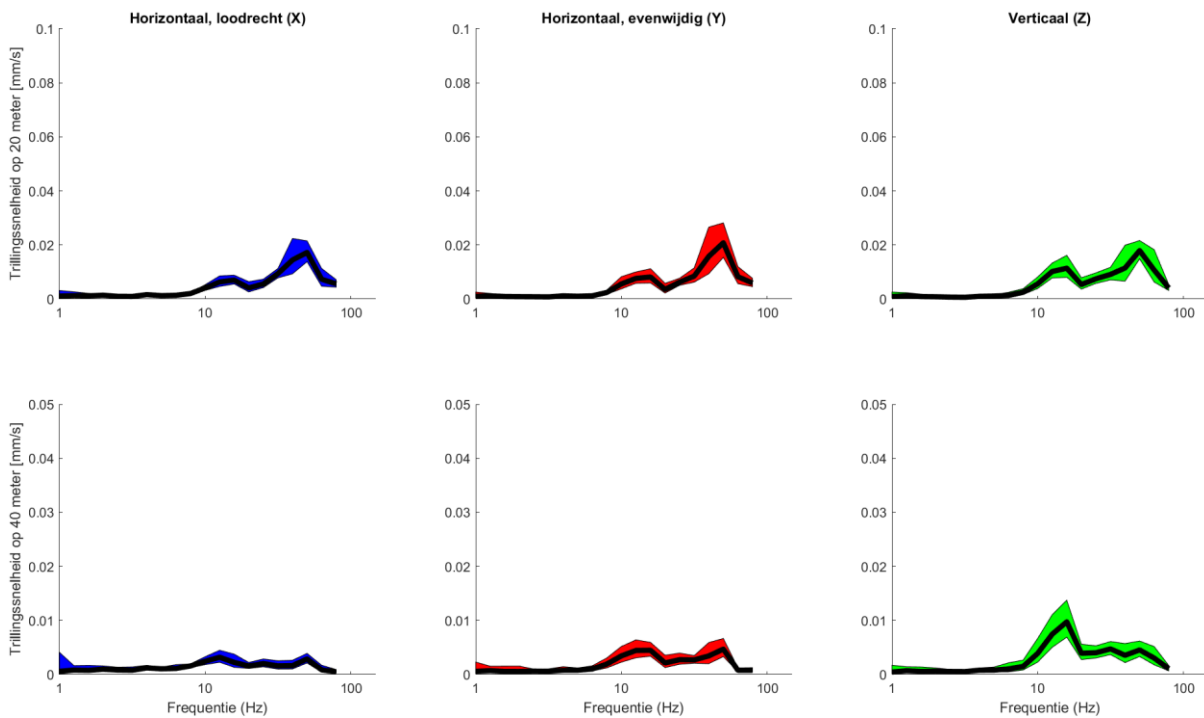
Figuur 27: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.5 Didam – Lange Klauwenhof 11

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



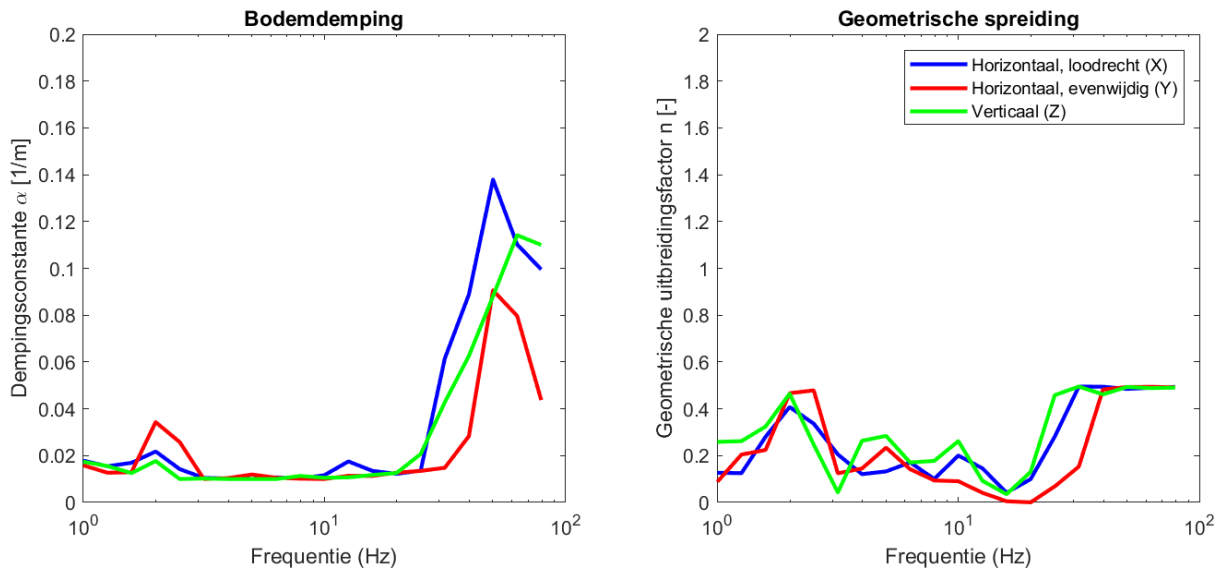
Figuur 28: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



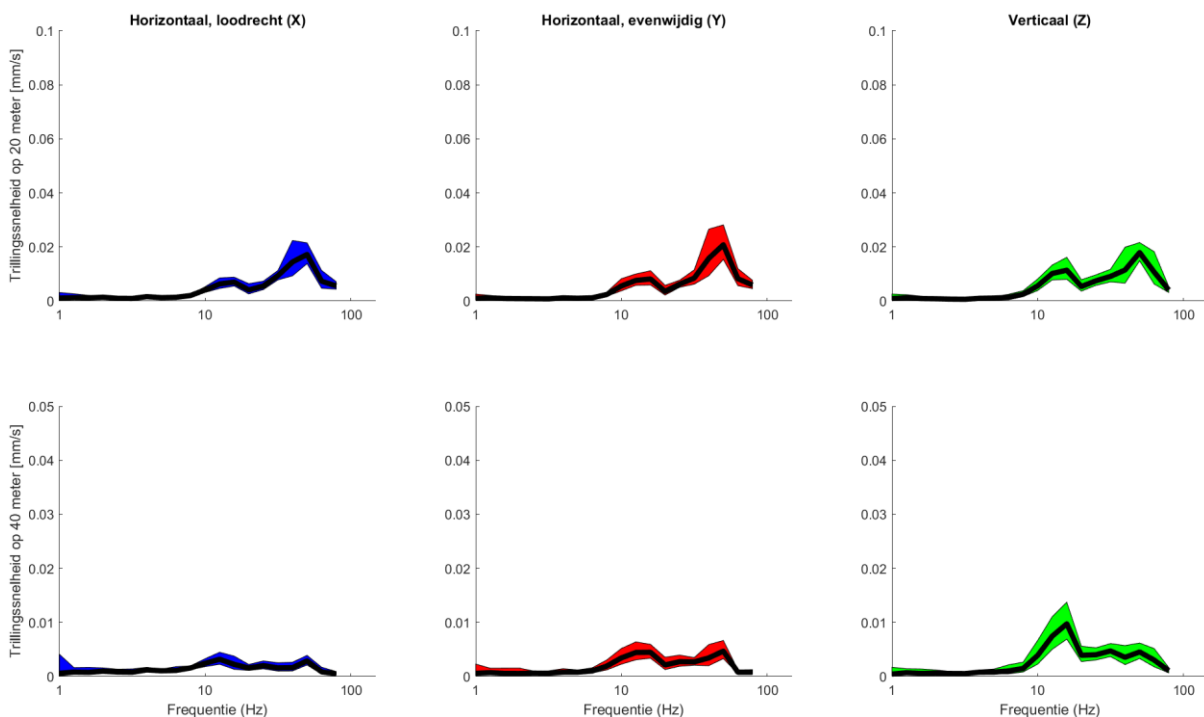
Figuur 29: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.6 Didam – Toppegaai 2

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



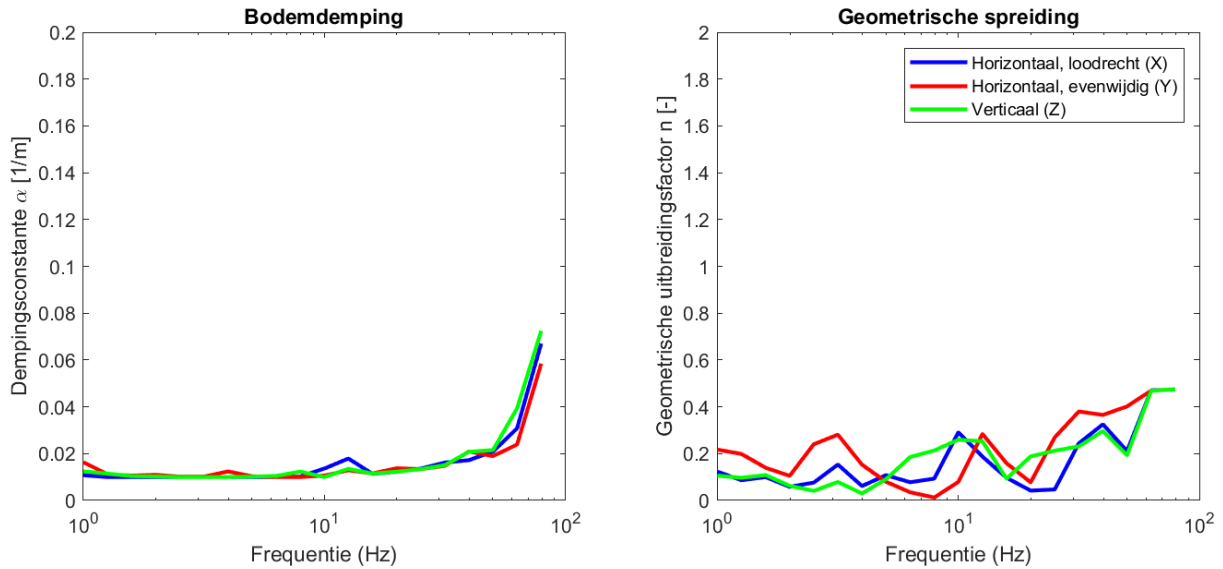
Figuur 30: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



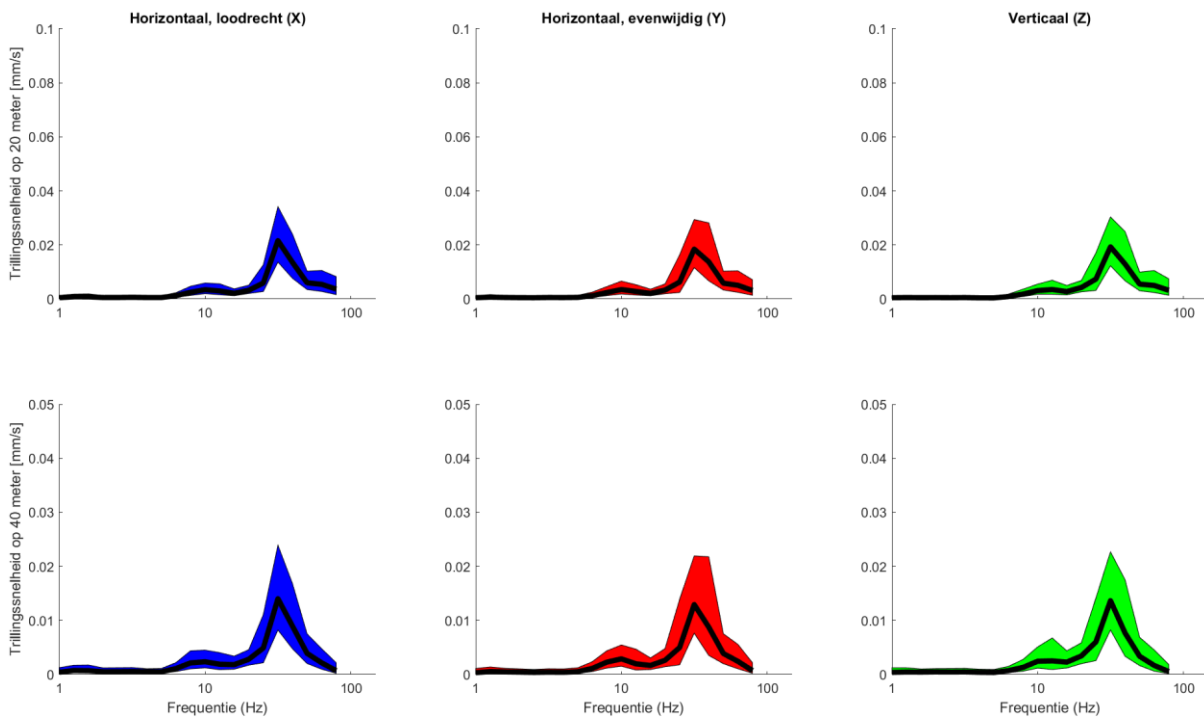
Figuur 31: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.7 Wehl – Schopperdenseweg 91

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



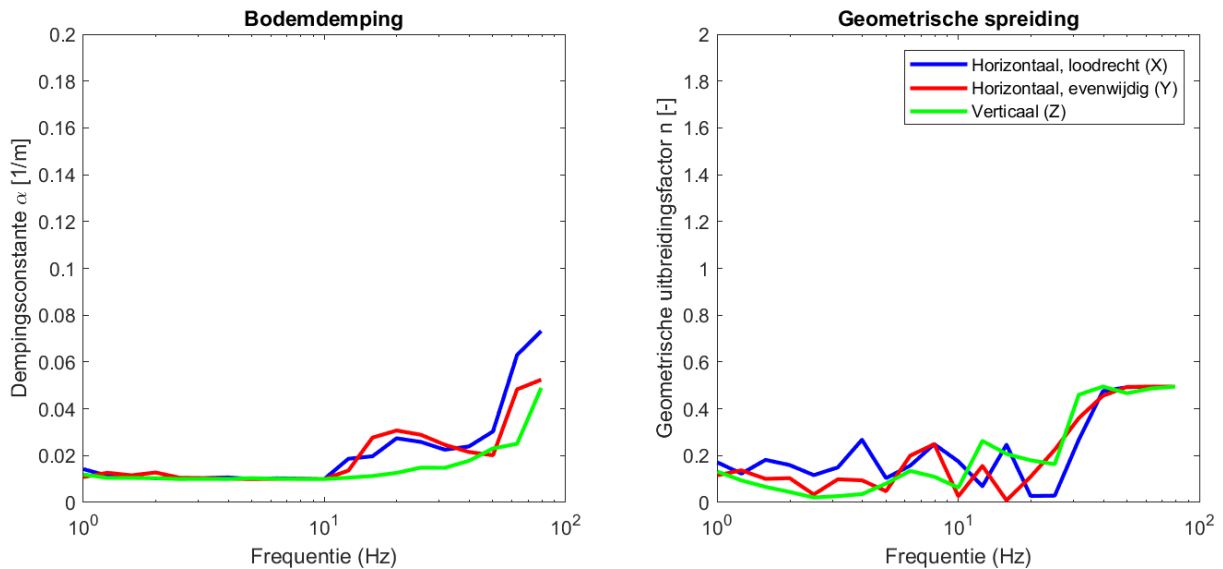
Figuur 32: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



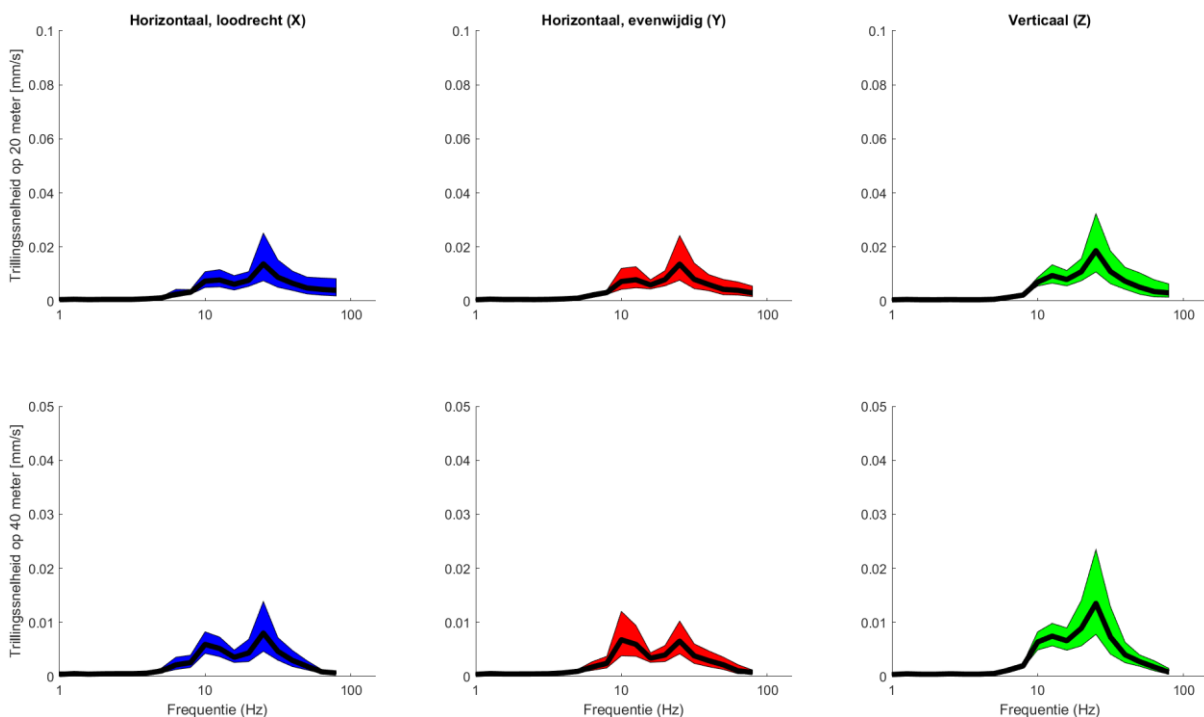
Figuur 33: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.8 Wehl – Beste Vaderskamp 19

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



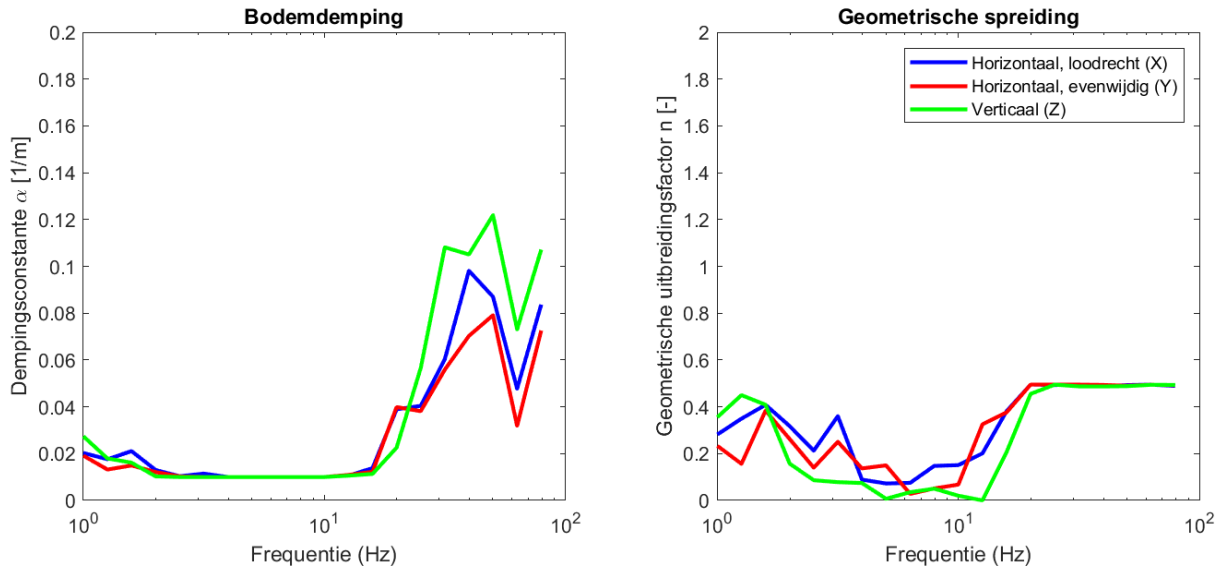
Figuur 34: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



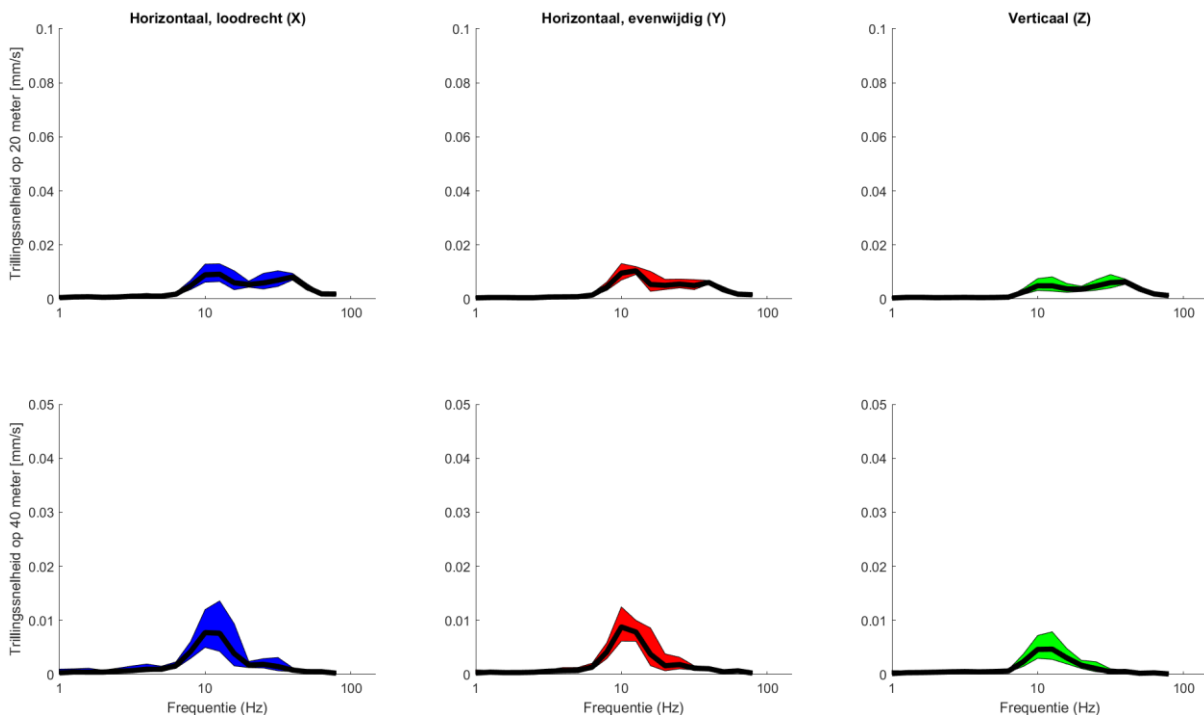
Figuur 35: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.9 Doetinchem – Gentiaanveld 21

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



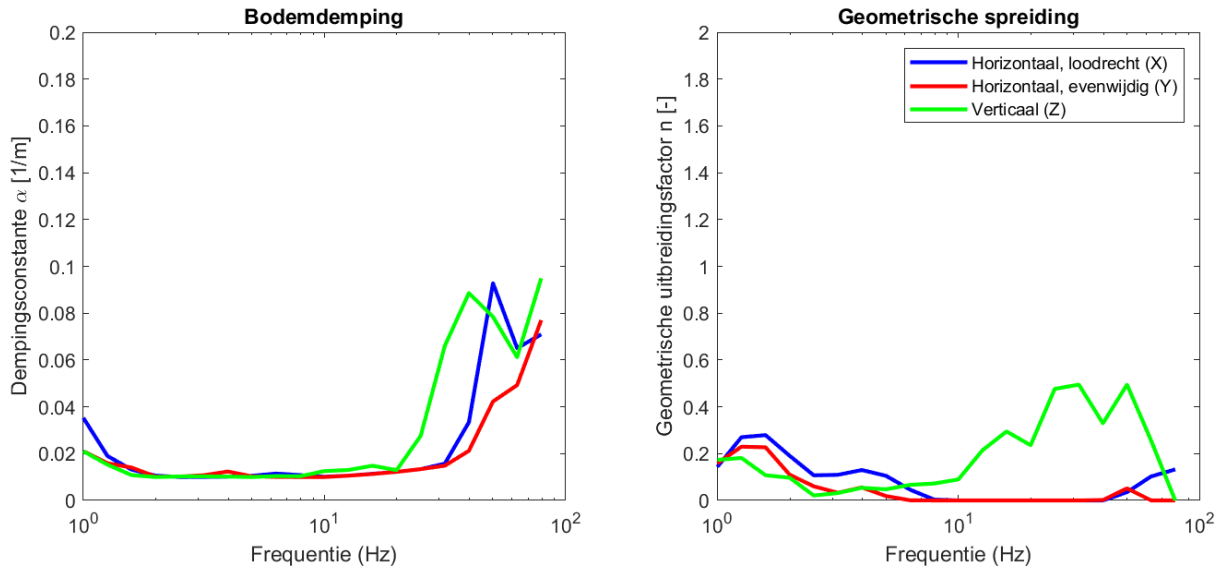
Figuur 36: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



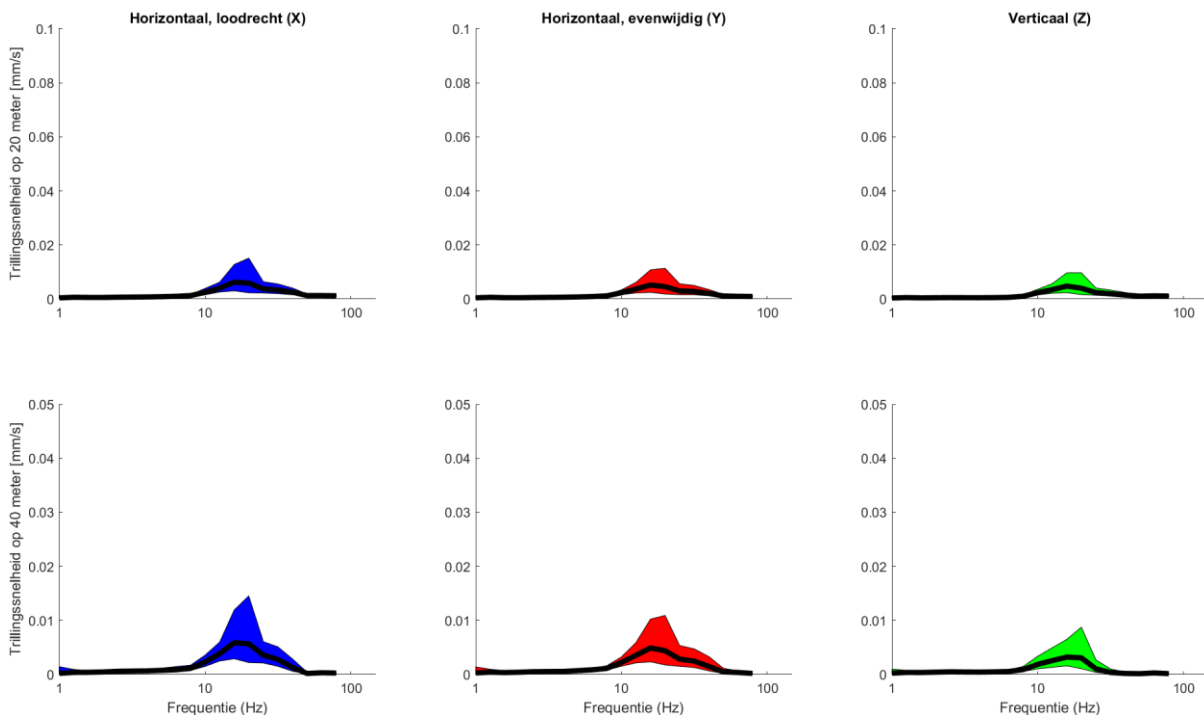
Figuur 37: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.10 Doetinchem – Hof van Edinburgh 51

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



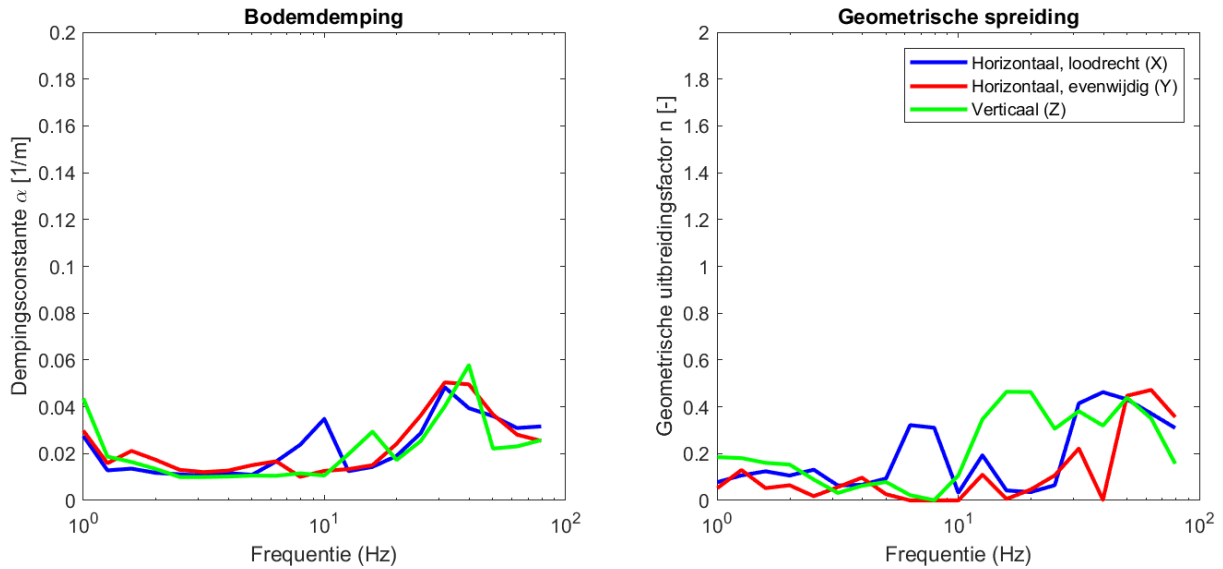
Figuur 38: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



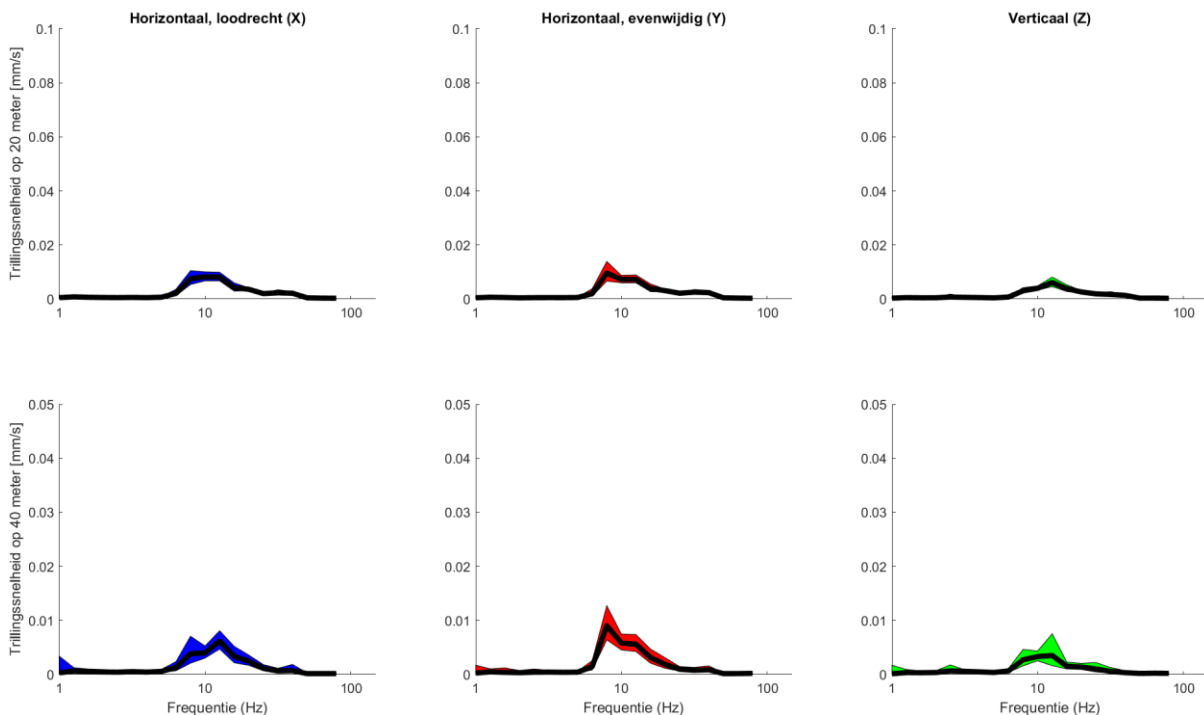
Figuur 39: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.11 Doetinchem – Uijlenbroeklaan 61

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



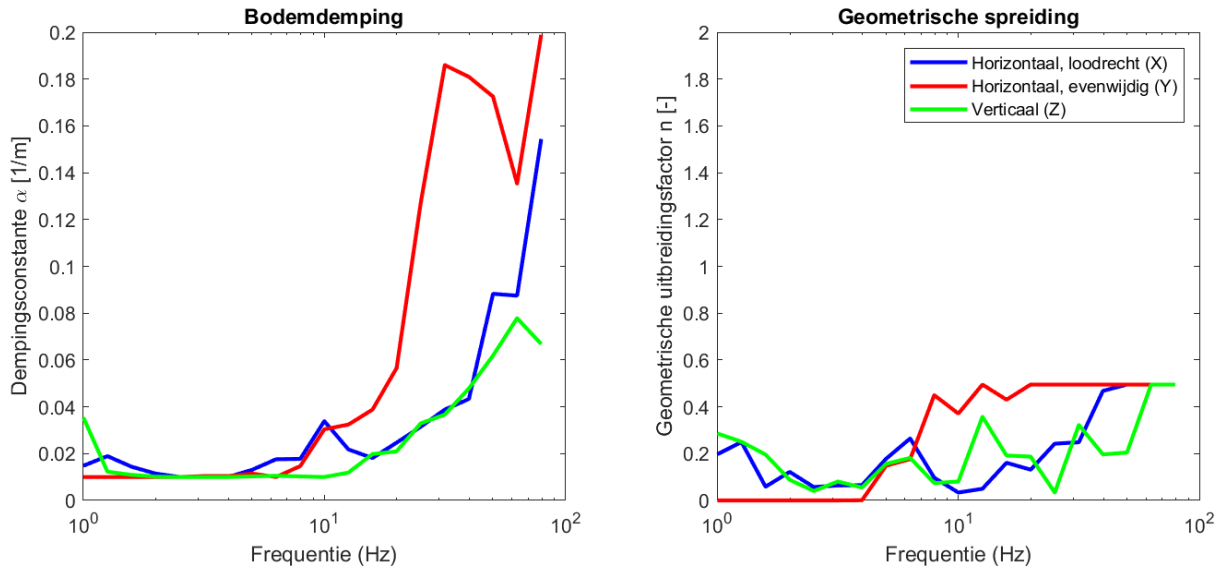
Figuur 40: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



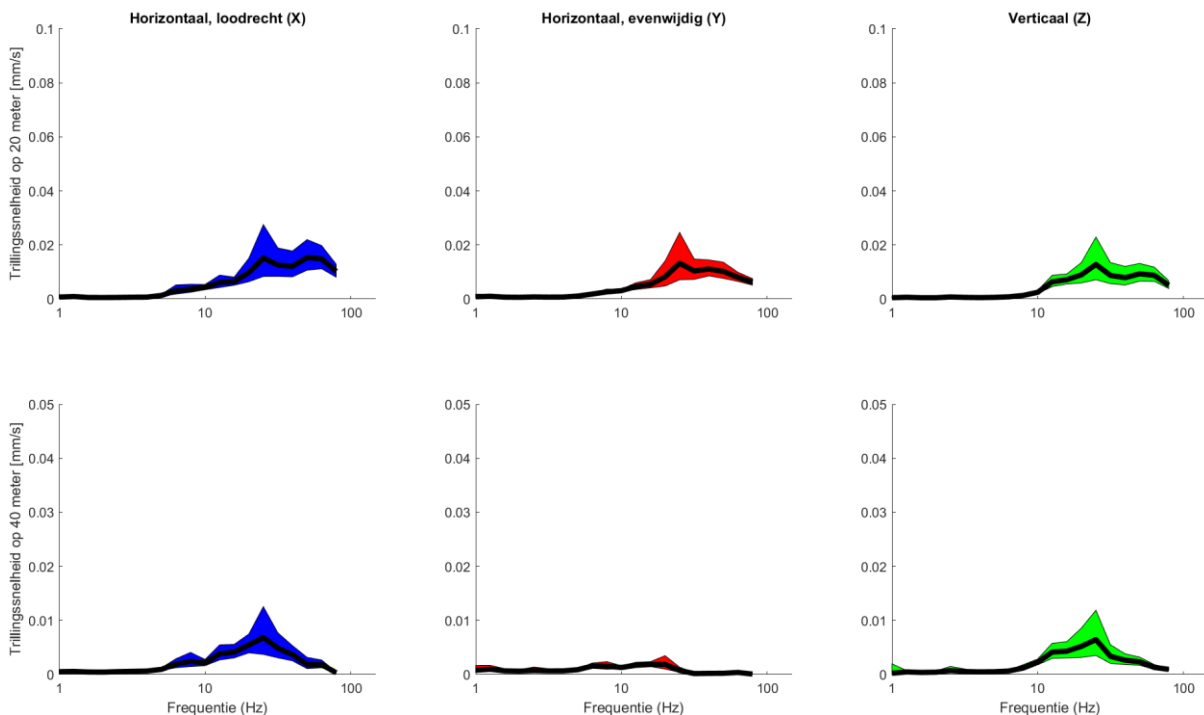
Figuur 41: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.12 Doetinchem – Spoorstraat 1

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



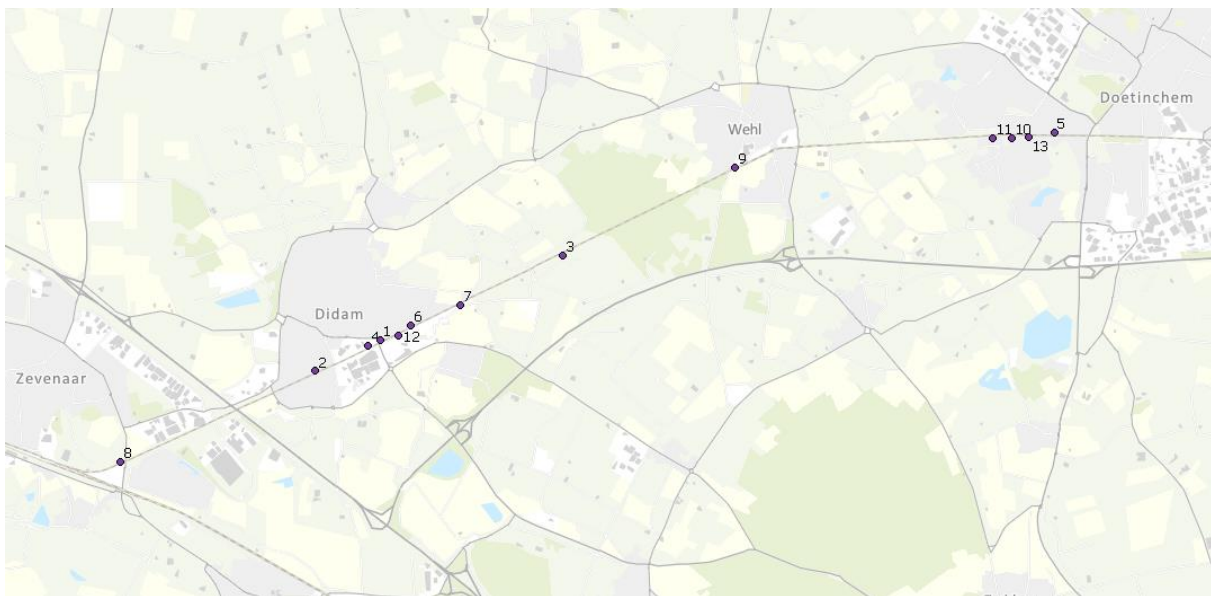
Figuur 42: Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



Figuur 43: Trillingsspectra (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 trillingsonderzoek zijn trillingsmetingen 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 trillingsniveau 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 trillingsniveaus. De locaties van de metingen zijn weergegeven in Figuur 44, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in Bijlage VII.



Figuur 44 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 trillingsmeting 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. De meetlocaties zijn geselecteerd op basis van ligging ten opzichte van het spoor, gebouwenkenmerken en de afstand tot wissels en andere trillingsbronnen 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 trillingsbronnen) geregistreerd.
2. Voor alle locaties is een berekening voor de referentiesituatie 2017, de huidige situatie en de plansituatie gemaakt aan de hand van de resultaten van de meting. Per trein is een berekening gemaakt van de trillingssterkte in de referentiesituatie 2017, 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 2017 (conform de Bts).

Het prognosemodel is beschreven in de volgende paragraaf.

VI.2 Prognosemodel

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

- De treinsnelheid. De trillingssterkte 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 uitdemping 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.2.4 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 trillingssterkte vast te stellen is gebruik gemaakt van metingen op meerdere locaties in Nederland. De relatie tussen snelheid en trillingssterkte kent een machtsverband tot snelheden rond de kritische treinsnelheid. De kritische treinsnelheid is afhankelijk van de bodem, maar ligt in het onderzoeksgebied ruim boven de rijsnelheden van de treinen.

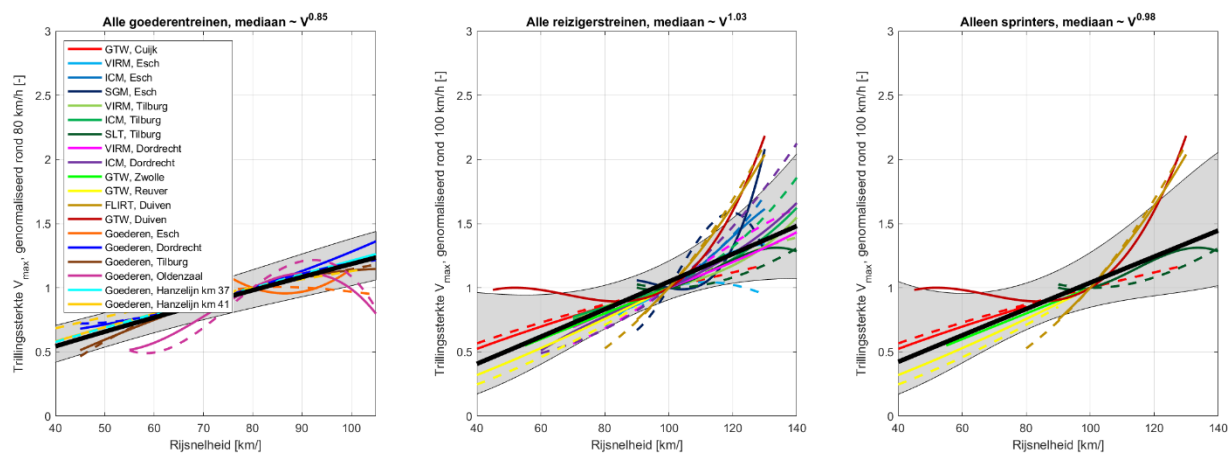
Om een betrouwbare snelheidsrelatie vast te stellen is een aantal onderzoeken geraadpleegd waarbij metingen zijn verricht aan treinen met voldoende spreiding in de rijsnelheid. De volgende onderzoeken zijn bruikbaar om een snelheidsrelatie vast te stellen voor een aantal treintypes:

- [1] *Landelijk onderzoek gedifferentieerd rijden (TN 105394), Onderzoek effect rijsnelheid goederentreinen op trillingsopwekking in de bodem, DGMR, 15 december 2017*
- [2] *Trillingsonderzoek 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*

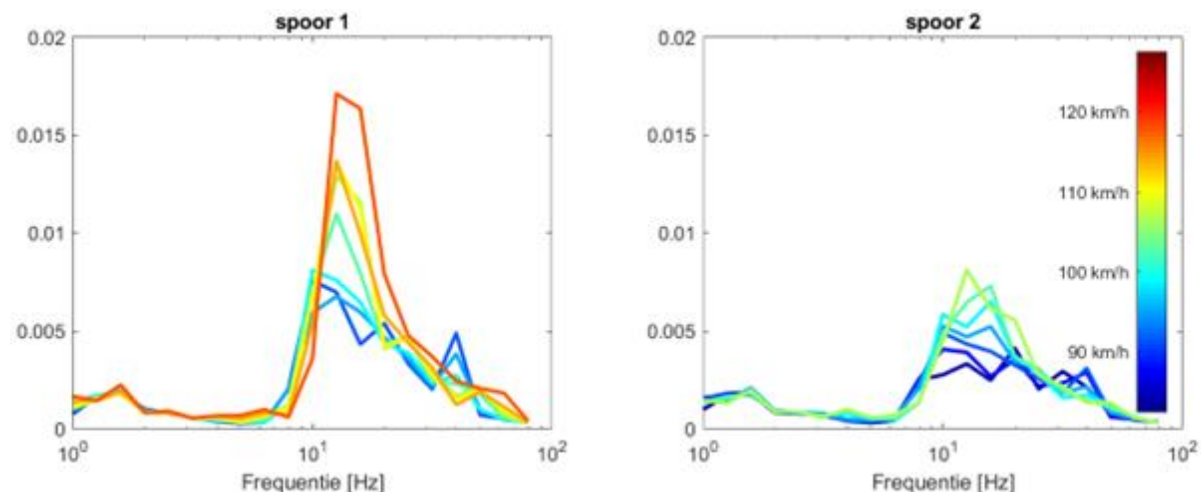
De in de onderzoeken gebruikte snelheidsrelaties zijn weergegeven in Figuur 45, waarbij deze voor goederentreinen zijn genormaliseerd rond 80 km/h (rond die snelheid is de betrouwbaarheid van de data het grootst), en voor de overige treinen rond 100 km/h. Vervolgens is een machtsfunctie door de resultaten gefit, deze is voor alle treintypes ongeveer recht evenredig ($\sim V^1$) met de rijsnelheid in km/h. De in Figuur 45 weergegeven snelheidsrelaties zijn gebruikt in dit onderzoek.

Tenslotte is bij meting [5] ook gekeken naar de invloed van de snelheid op de trillingsfrequenties. Hiervoor zijn de treinen in snelheidsklassen ingedeeld voor beide sporen, zie Figuur 46. In deze figuur is voor de GTW's op spoor 1 zichtbaar dat bij toenemende rijsnelheid de piek van het trillingsspectrum 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 45), een voldoende betrouwbare methode om de invloed van een snelheidsverhoging vast te stellen.



Figuur 45: Snelheidsrelaties



Figuur 46: Trillingspectrum en rijsnelheid in Duiven (meting [5])

VI.2.1 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 trillingssignaal 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.2.2 Invloed spoorafstand

De overdracht van trillingen door de bodem kan worden beschreven met behulp van de Barkanvergelijking. De Barkanvergelijking wordt in het prognosemodel alleen 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 bodemparemeters is opgenomen in Bijlage V.

VI.2.5 Invloed wijziging in treinintensiteit

In het prognosemodel wordt voor elke trein de trillingssterkte in de plansituatie bepaald op basis van het trillingssignaal 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 trillingssterkte 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 trillingssterkte zoals deze volgt uit de prognoses, deze waarde is wel gecorrigeerd voor wijzigingen in aantal treinen.

VI.2.6 Bepaling gewijzigde trillingssterkte

Met behulp van de verschillende toeslagfactoren is de trillingssterkte 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 17. 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 trillingssterkte V_{max} in de referentiesituatie 2017 (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^{19} .
- de gemeten trillingssterkte 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 trillingssterkte 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 trillingssterkte V_{max} in de plansituatie en de referentiesituatie, eventueel gecorrigeerd voor onzekerheid R in de trillingssterkte, zie Bijlage IV voor een nadere toelichting op hoe deze factor is bepaald.
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit V_{per} in de referentiesituatie 2017
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit V_{per} in de huidige situatie.
- de maximale waarde van de trillingsintensiteit 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.

¹⁹ 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 Acoustics¹⁹ wordt gestreefd naar een R -waarde die niet groter is dan 10 procent. Bij de grenswaarde A_2 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 17: Resultaten metingen en predicties in gebouwen. Overschrijdingen van B_{ts} streefwaarden zijn oranje gearceerd

Meetlocatie	Trillingssterkte V_{max}				Gemiddelde trillingssterkte V_{per}		
	Ref	Huidig	Plan	Q	Ref	Huidig	Plan
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
Turnstraat 7, Didam	0.06	0.06	0.10	1.7	<0.01	<0.01	<0.01
Toppegaaieweg 4, Didam	0.23	0.28	0.32	1.4	0.02	0.03	0.04
Parallelweg 21, Didam	0.18	0.33	0.50	2.7	0.03	0.04	0.05
Uijlenbroeklaan 61, Doetinchem	0.08	0.08	0.09	1.1	<0.01	<0.01	<0.01
Zandweg 1, 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
Hengelder 2, Zevenaar	0.15	0.15	0.18	1.1	0.01	0.01	0.01
Beekseweg 39, Wehl	0.23	0.27	0.25	1.1	0.02	0.03	0.03

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 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 trillingssterkte 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 Wilhelminastraat 118, Zevenaar

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 47: Gevel.



Figuur 47: Gevel

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

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

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 18.

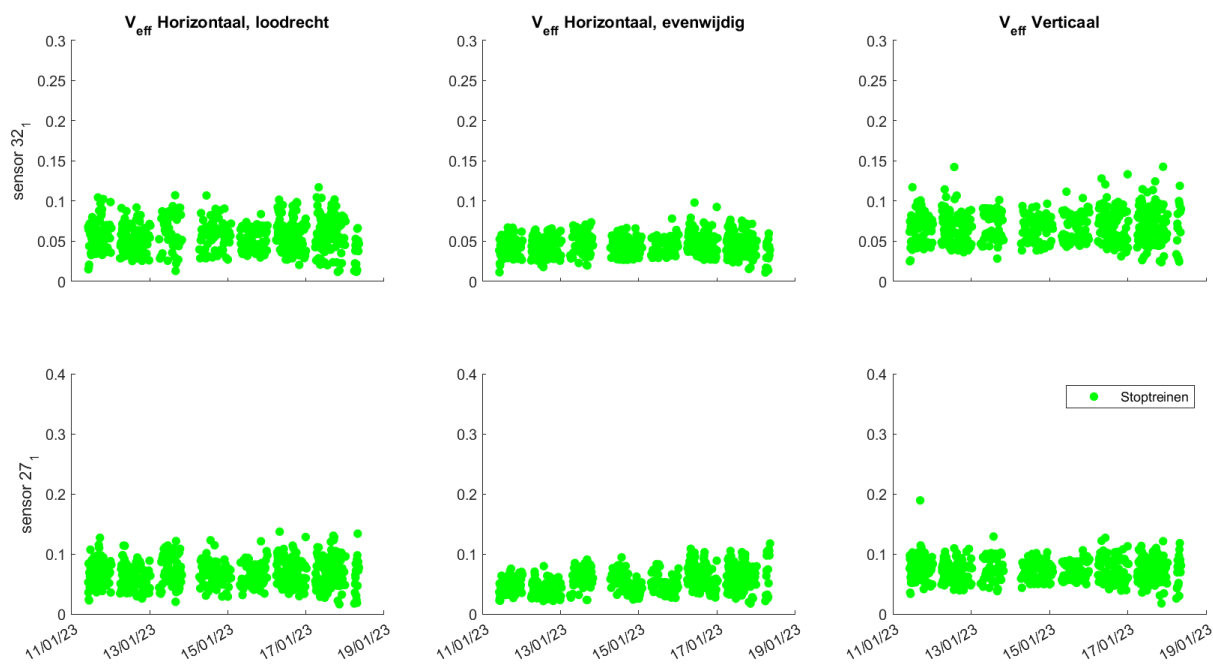
Tabel 18: Gegevens meting

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>11 januari 2023 tot 18 januari 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 48</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 48</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons, 32_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 49</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

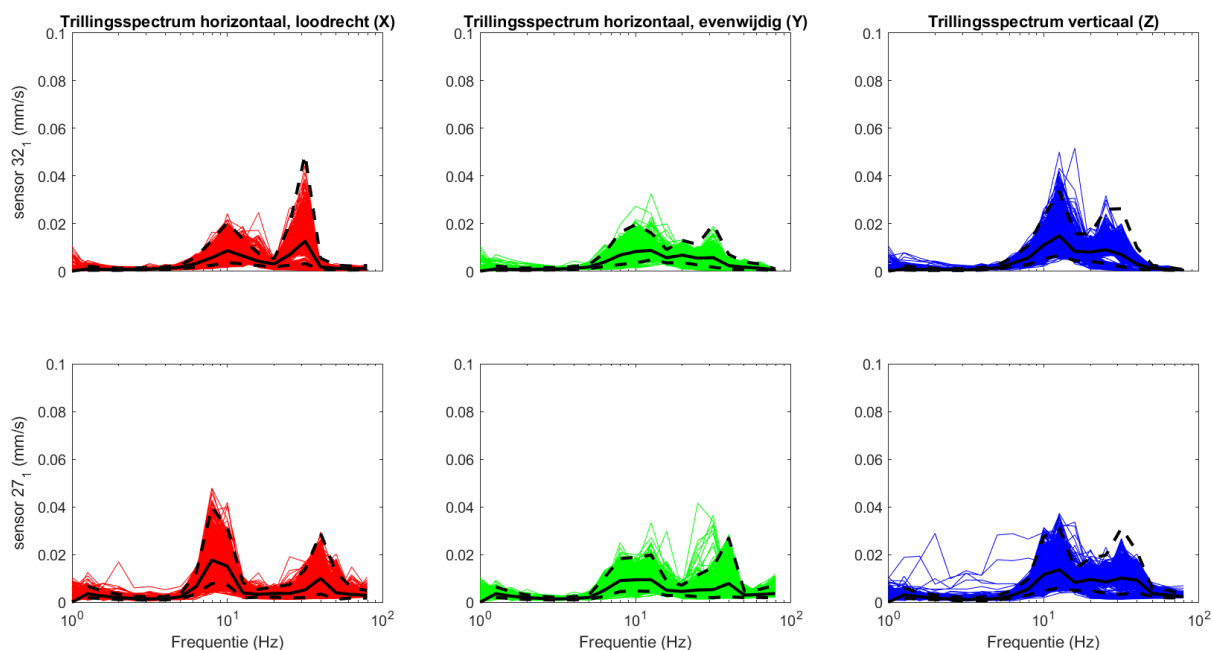
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 48, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 49 en Figuur 50.



Figuur 48: Opstelling sensoren



Figuur 49: Meetresultaten



Figuur 50: Gemeten trillingsspectra

VII.1.1 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 19. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 19: 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.1.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie 2017 op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20: Resultaten referentiesituatie 2017

	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	0.10	0.08	0.12	0.12	0.09	0.13
R	2	2	2	2	2	2

De trillingssterkte is toegenomen in de huidige situatie t.o.v. de referentiesituatie uit 2017. Dit komt vooral door de toename van de treinsnelheid.

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 21.

Tabel 21: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			27_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
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 stoptreinen	0.15	0.12	0.17	0.18	0.14	0.19
Vmax RegioExpres	0.18	0.15	0.22	0.22	0.18	0.24
R , stoptreinen	2	2	2	2	2	2
R, RegioExpres	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.9. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.1.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en de huidige situatie. De trillingssterkte V_{max} is niet hoger dan de streefwaarde A1 en de gemiddelde trillingssterkte 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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade 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 51.



Figuur 51: Gevel

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

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

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 18.

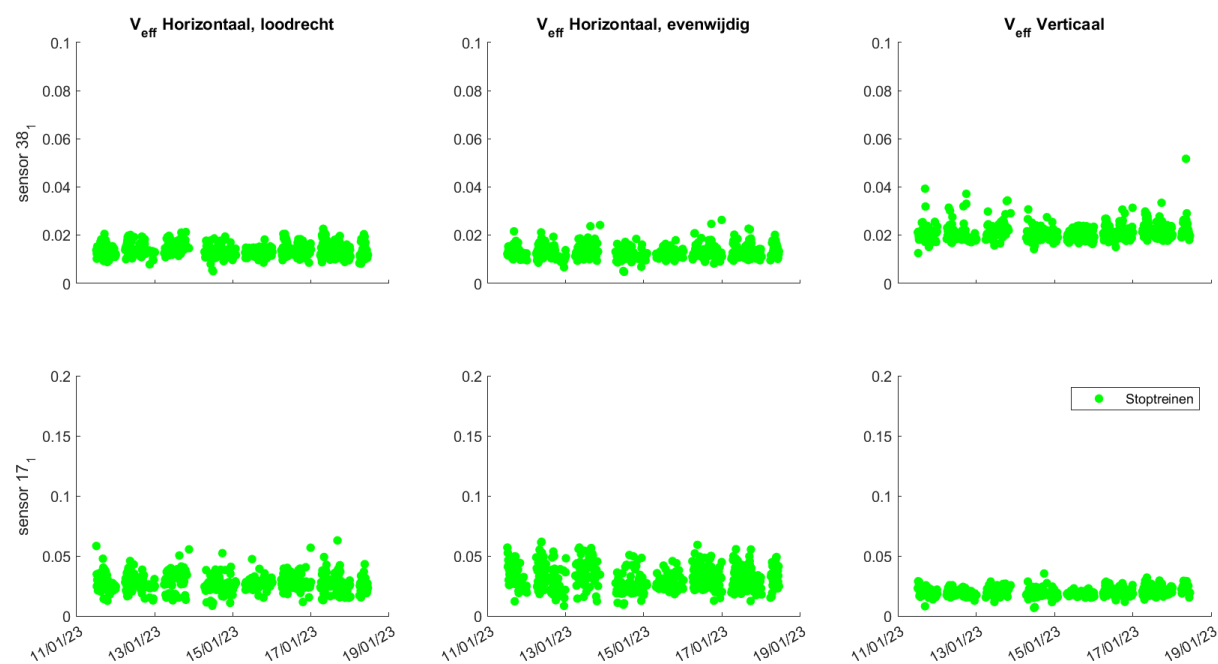
Tabel 22: Gegevens meting

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	Tijdspanne meting	11 januari 2023 tot 18 januari 2023
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 52
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 52
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons, 38_1 en 17_1
	Gebruikte registratieapparatuur	2 D-meetcomputer (D34 en D02) met 1 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 53
11	Motivatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	-

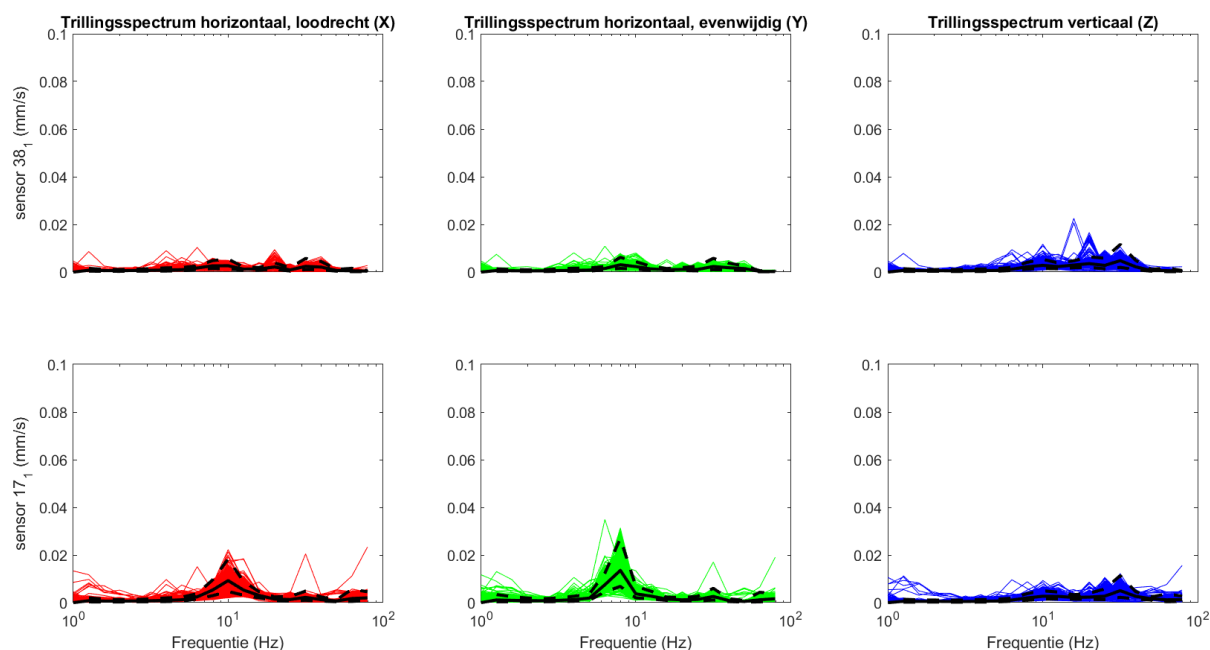
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 52, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 53 en Figuur 54.



Figuur 52: Opstelling sensoren



Figuur 53: Meetresultaten



Figuur 54: Trillingsspectra meting

VII.2.1 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

	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 2017

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 24.

Tabel 24: Resultaten referentiesituatie 2017

	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	0.05	0.06	0.04
R	13	13	13	13	13	13

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, 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 25.

Tabel 25: Resultaten plansituatie

	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 stoptreinen	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.05
Vmax RegioExpres	0.04	0.04	0.07	0.09	0.10	0.06
R, stoptreinen	7	7	7	7	7	7
R, RegioExpres	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde voor de RegioExpres bedraagt 1.7. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.2.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en de huidige situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde. Ook de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de

plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid omdat de trillingssterkte lager is dan de streefwaarde.

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

VII.3 Toppegaiweg 4, Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een kaart van deze locatie is weergegeven in Figuur 55.



Figuur 55: Locatie gebouw

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

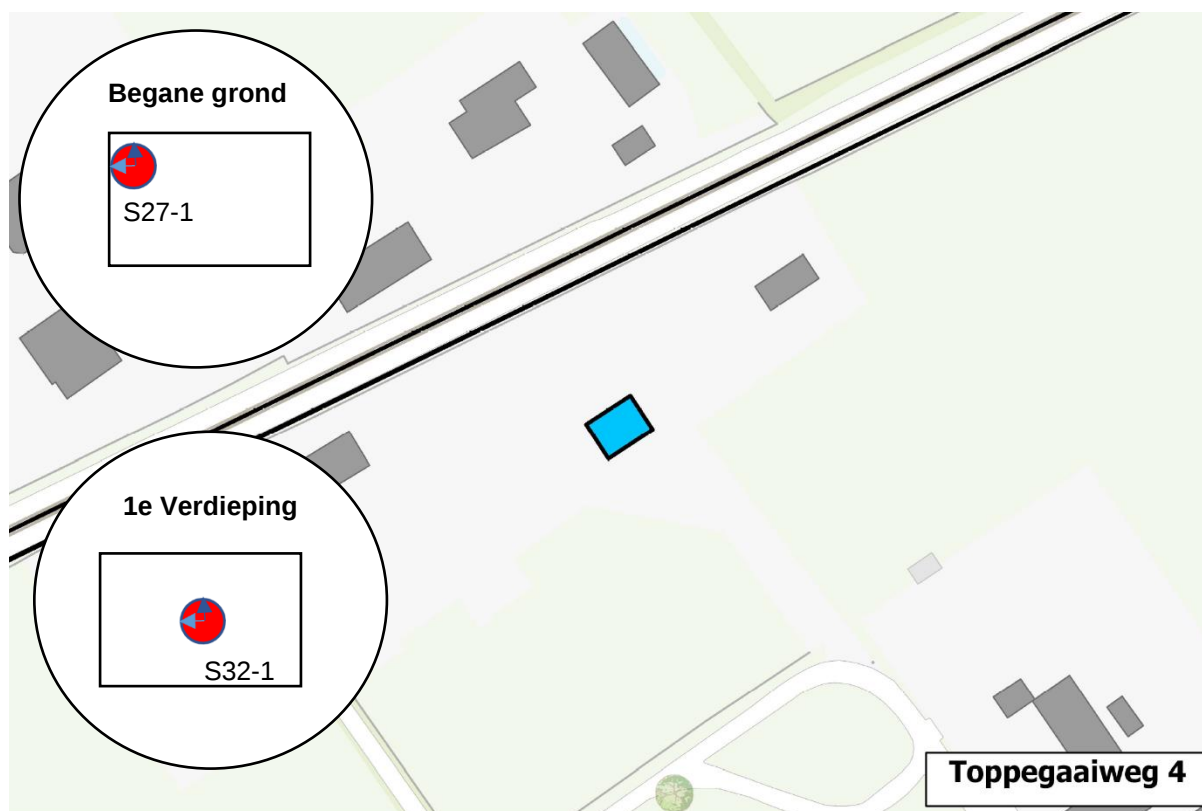
- Een driedimensionale trillingssensor (27_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (32_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 26.

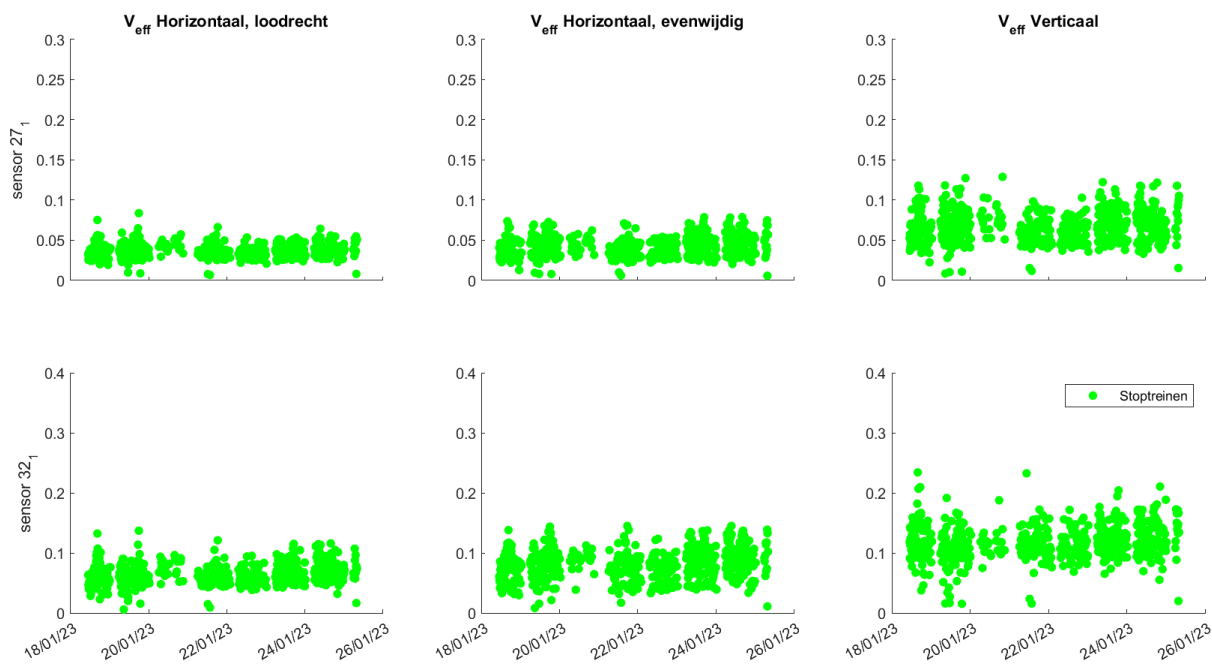
Tabel 26: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<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 trillingsbron	<i>Treinen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 56</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 56</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 32_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D03 en D35) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 57</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

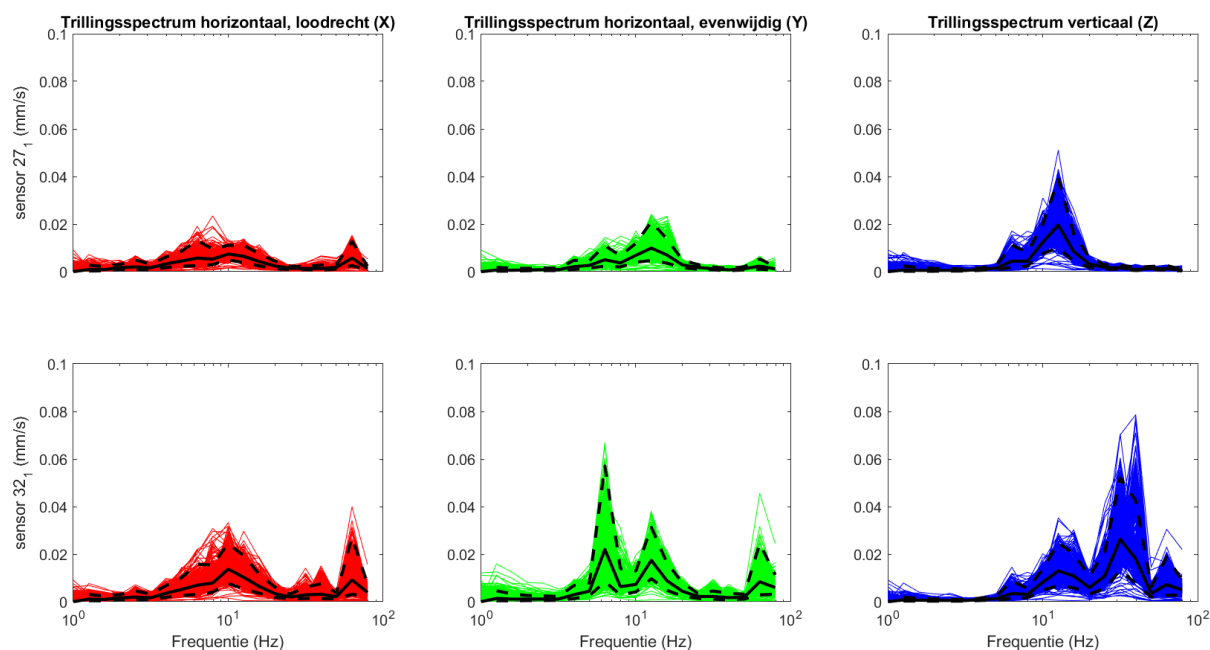
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 56, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 57 en Figuur 58.



Figuur 56: Opstelling sensoren



Figuur 57: Meetresultaten



Figuur 58: Trillingsspectra meting

VII.3.1 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

	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.3.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.02
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	0.08	0.13	0.13	0.16	0.23
R	2	2	2	2	2	2

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, 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 29.

Tabel 29: Resultaten plansituatie

	27_1, stijf punt			32_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	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 stoptreinen	0.10	0.10	0.16	0.17	0.21	0.32
Vmax RegioExpres	0.09	0.09	0.14	0.15	0.18	0.28
R, stoptreinen	2	2	2	2	2	2
R, RegioExpres	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.4. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.3.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en de huidige situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde.

Voor deze locatie moeten maatregelen worden afgewogen op doelmatigheid om de toename van de trillingssterkte te beperken tot 1.3 of de trillingssterkte onder de streefwaarde te brengen.

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

VII.4 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:

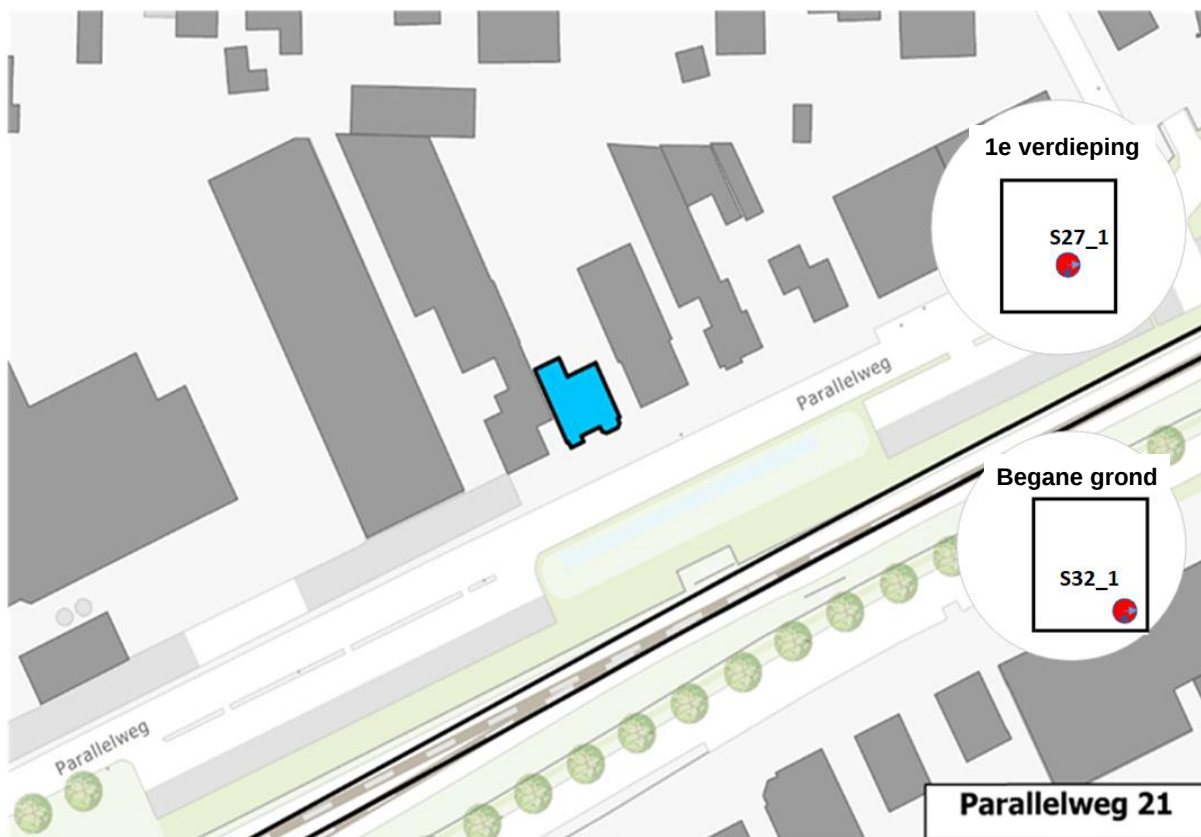
- Een driedimensionale trillingssensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (38_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 30.

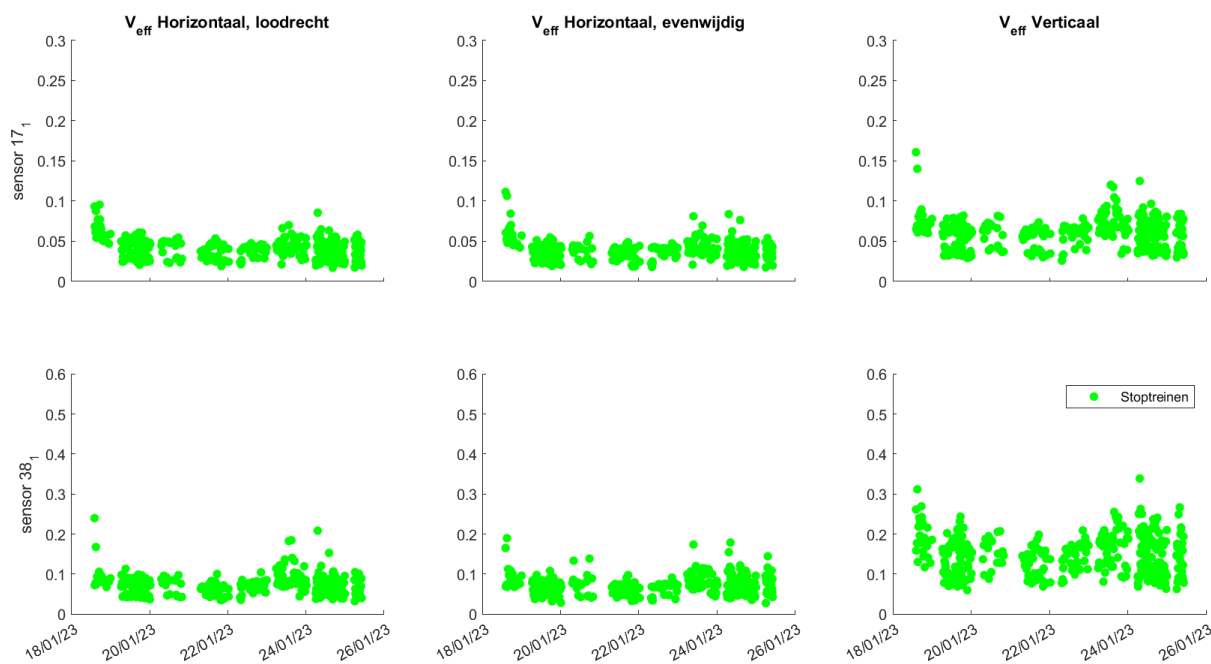
Tabel 30: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	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>18 januari 2023 tot 25 januari 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 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-meetcomputer (D02 en D34) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 61</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

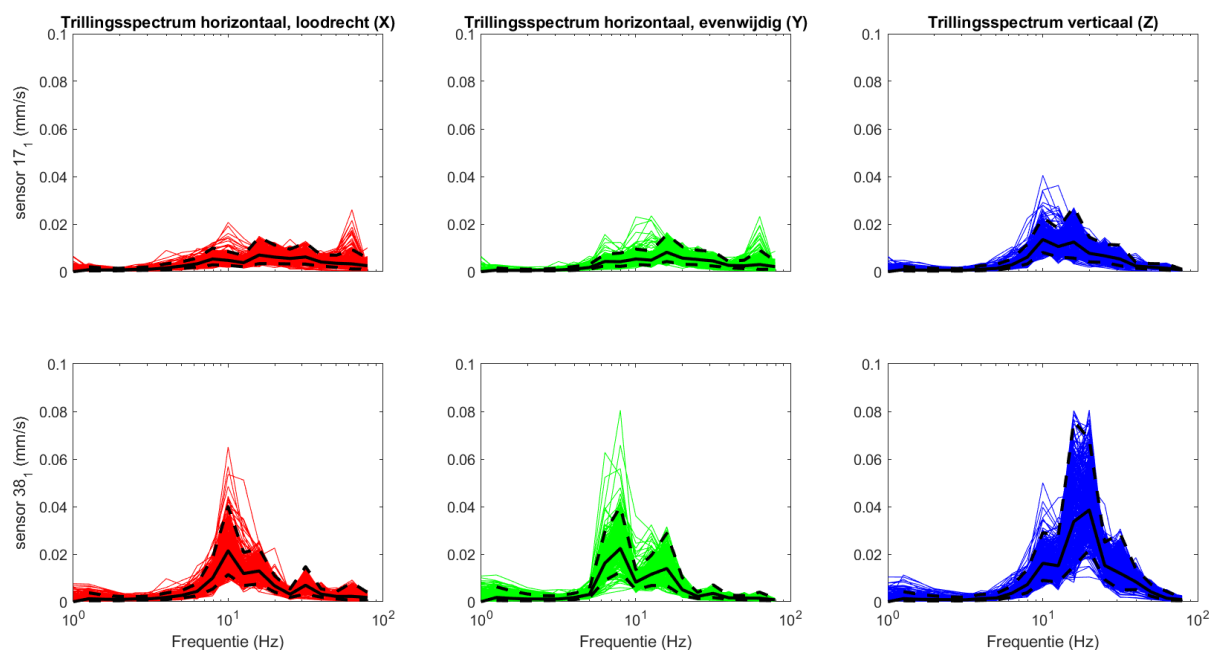
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 60, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 61 en Figuur 62.



Figuur 60: Opstelling sensoren



Figuur 61: Meetresultaten



Figuur 62: Trillingsspectra meting

VII.4.1 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.4.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.05	0.05	0.07	0.09	0.09	0.18
R	3	3	3	3	3	3

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, 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 33.

Tabel 33: Resultaten plansituatie

	17_1, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05
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 stoptreinen	0.09	0.09	0.13	0.16	0.16	0.33
Vmax RegioExpres	0.14	0.14	0.20	0.24	0.25	0.50
R, stoptreinen	3	3	3	3	3	3
R, RegioExpres	8	8	8	8	8	8

De Q-waarde bedraagt 2.7. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.4.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en huidige situatie. De gemiddelde trillingssterkte 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 trillingssterkte te beperken tot 1.3. en de trillingssterkte onder de grenswaarde A2 te brengen.

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

VII.5 Uijlenbroeklaan 61 Doetinchem

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



Figuur 63: Gevel

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

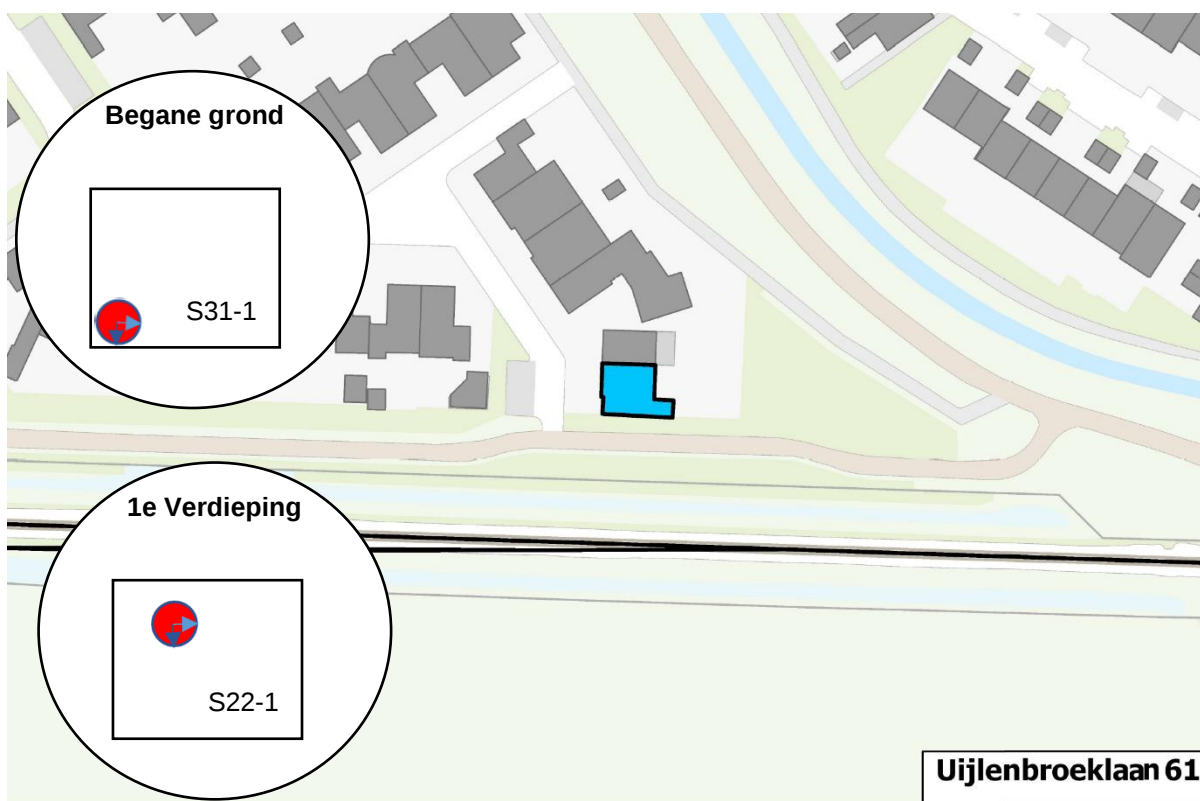
- Een driedimensionale trillingssensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (22_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 34.

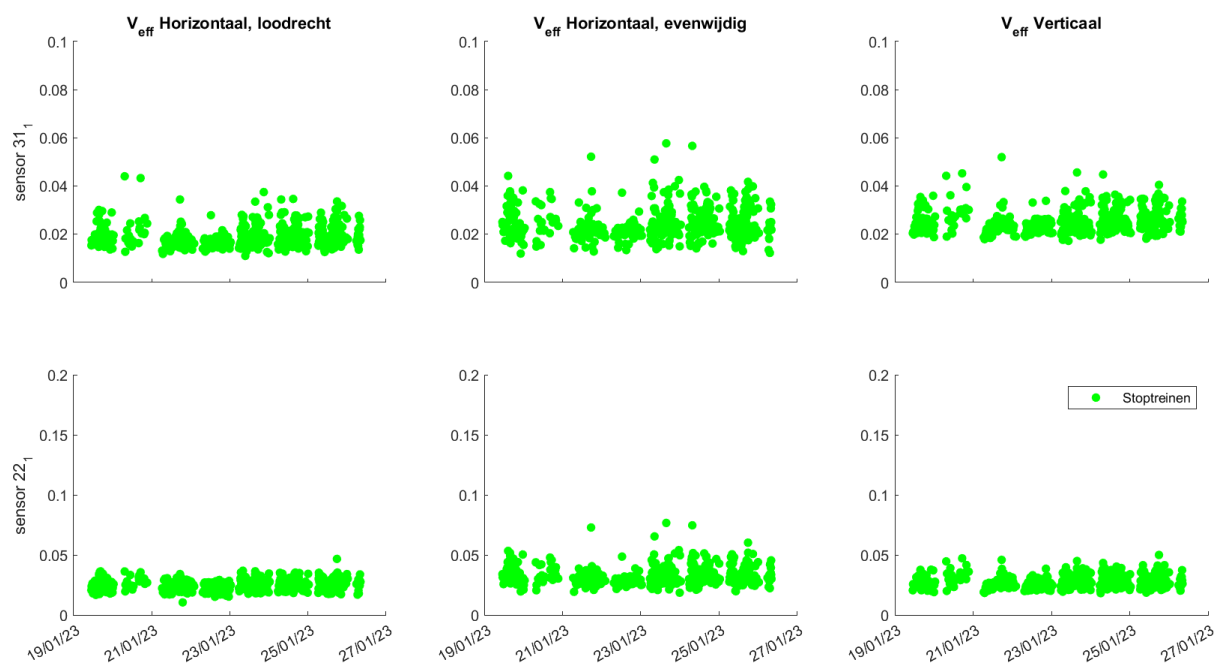
Tabel 34: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<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>19 januari 2023 tot 25 januari 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 64</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 64</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-gefoons, 31_1 en 22_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D37 en D07) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 65</i>
11	Motivatief classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

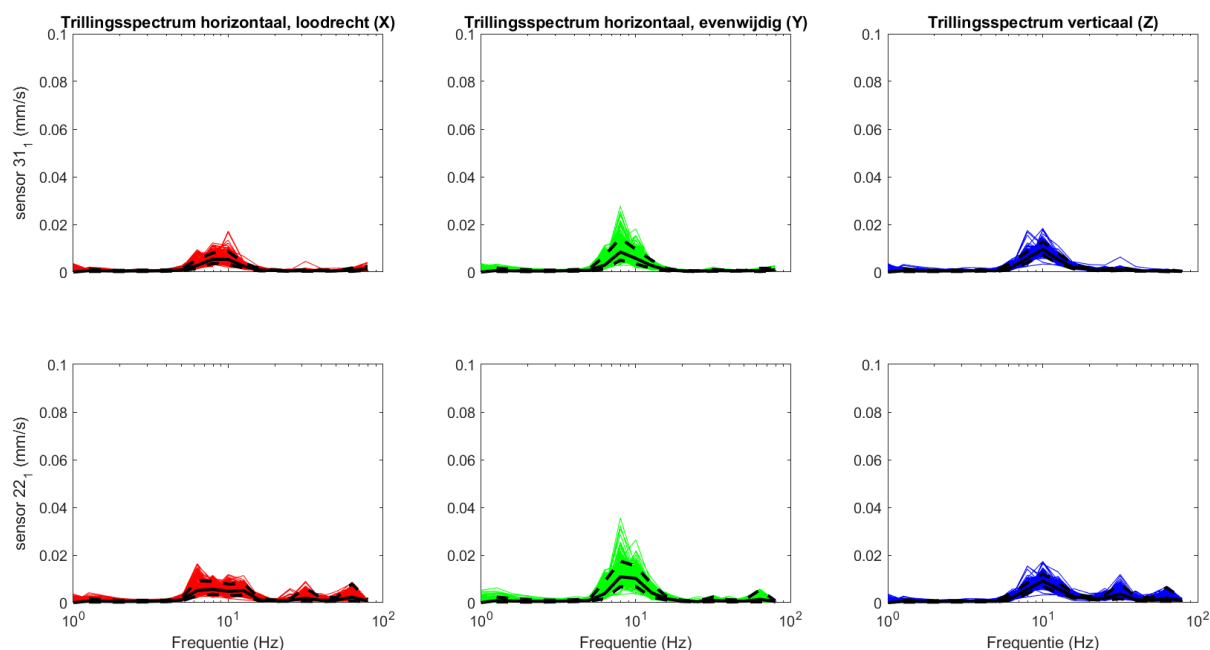
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 64, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 65 en Figuur 66.



Figuur 64: Opstelling sensoren



Figuur 65: Meetresultaten



Figuur 66: Trillingsspectra meting

VII.5.1 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

	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.5.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 is een berekening gemaakt voor de trillingen in de referentiesituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 36.

Tabel 36: Resultaten referentiesituatie 2017

	31_1, stijf punt			21_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

De trillingssterkte is niet veranderd ten opzichte van de referentiesituatie 2017.

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 37.

Tabel 37: Resultaten plansituatie

	32_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 stoptreinen	0.05	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07
Vmax RegioExpres	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.08
R, stoptreinen	3	3	3	3	3	3
R, RegioExpres	7	7	7	7	7	7

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.5.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentie en huidige situatie, maar de toename is beperkt. De gemiddelde trillingssterkte 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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.6 Zandweg 1 - 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:

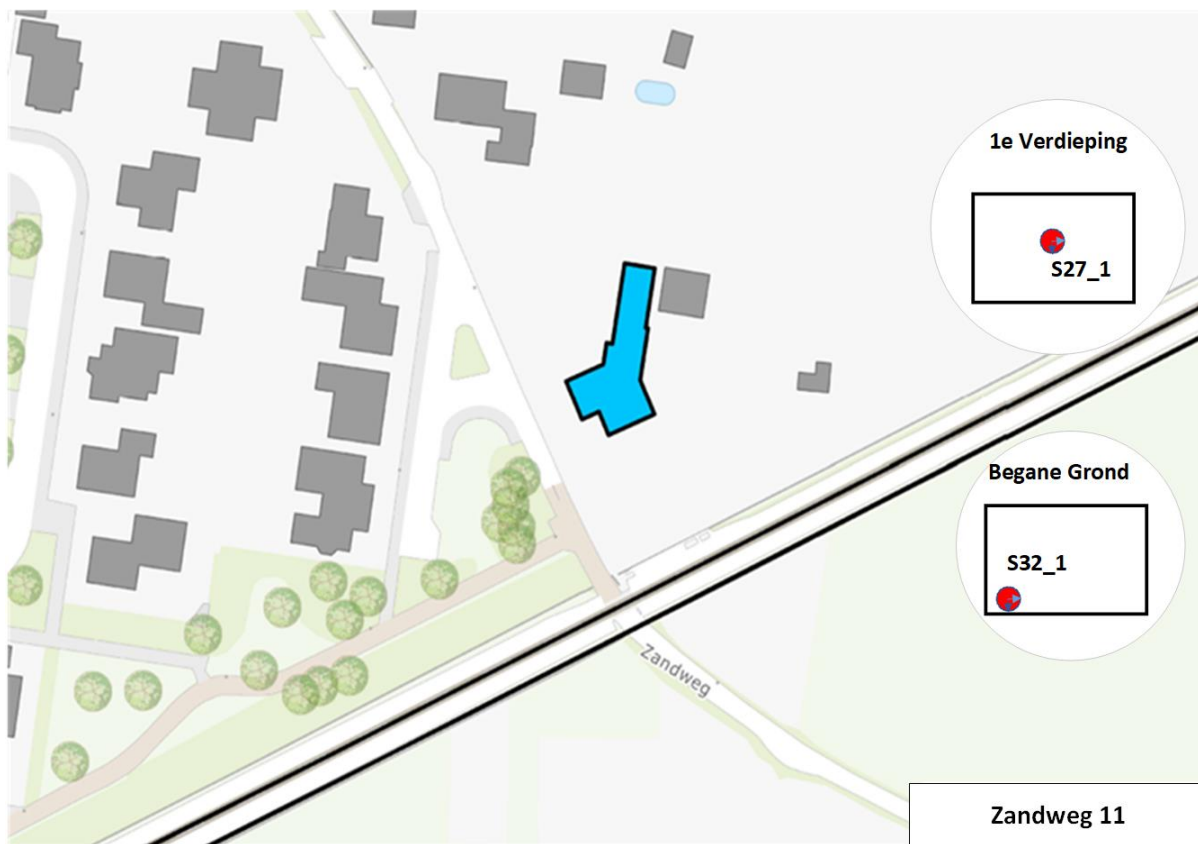
- Een driedimensionale trillingssensor (32_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (27_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 38.

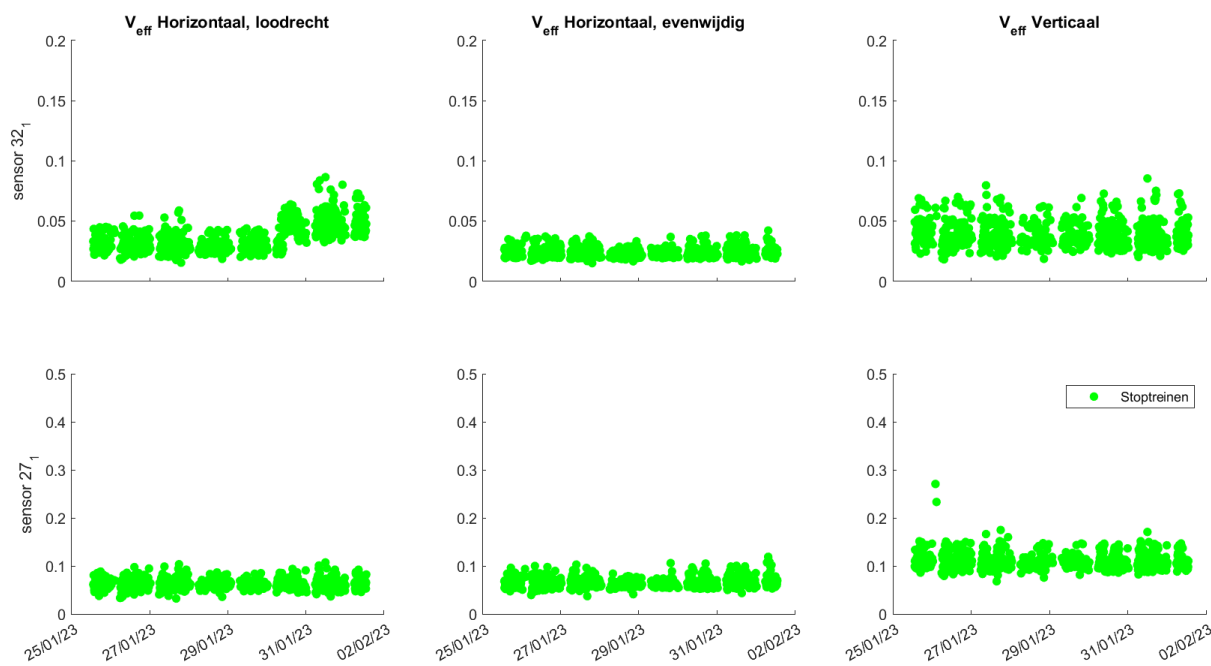
Tabel 38: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	<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>25 januari 2023 tot 01 februari 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 68</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 68</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 32_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D35 en D03) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 69</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

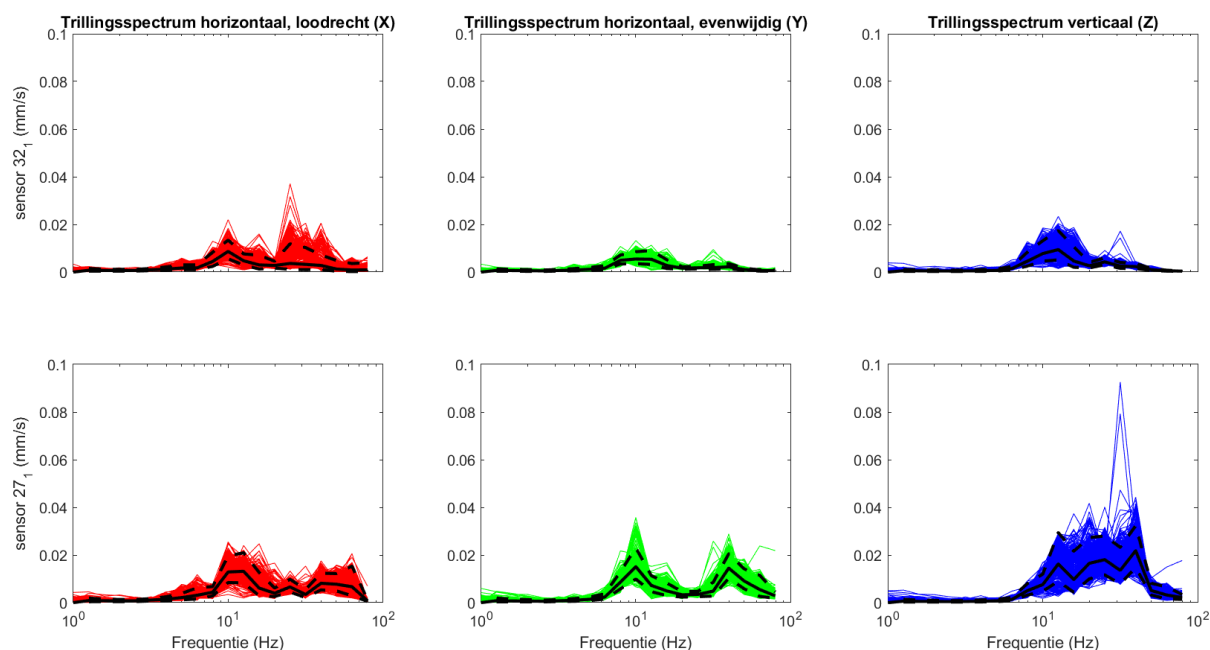
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 68, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 69 en Figuur 70.



Figuur 68: Opstelling sensoren



Figuur 69: Meetresultaten



Figuur 70: Trillingsspectra meting

VII.6.1 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

	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 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.07	0.05	0.08	0.13	0.13	0.22
R	2	2	2	2	2	2

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, vooral door de toename van de treinsnelheid.

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 41.

Tabel 41: Resultaten plansituatie

	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	0.03
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 stoptreinen	0.08	0.06	0.09	0.15	0.15	0.26
Vmax RegioExpres	0.08	0.06	0.09	0.15	0.16	0.27
R, stoptreinen	2	2	2	2	2	2
R, RegioExpres	5	5	5	5	5	5

De Q-waarde bedraagt 1.2. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.6.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en huidige situatie, maar de toename is lager dan de toegestane toename. De gemiddelde trillingssterkte

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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade 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 71.



Figuur 71: Gevel

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

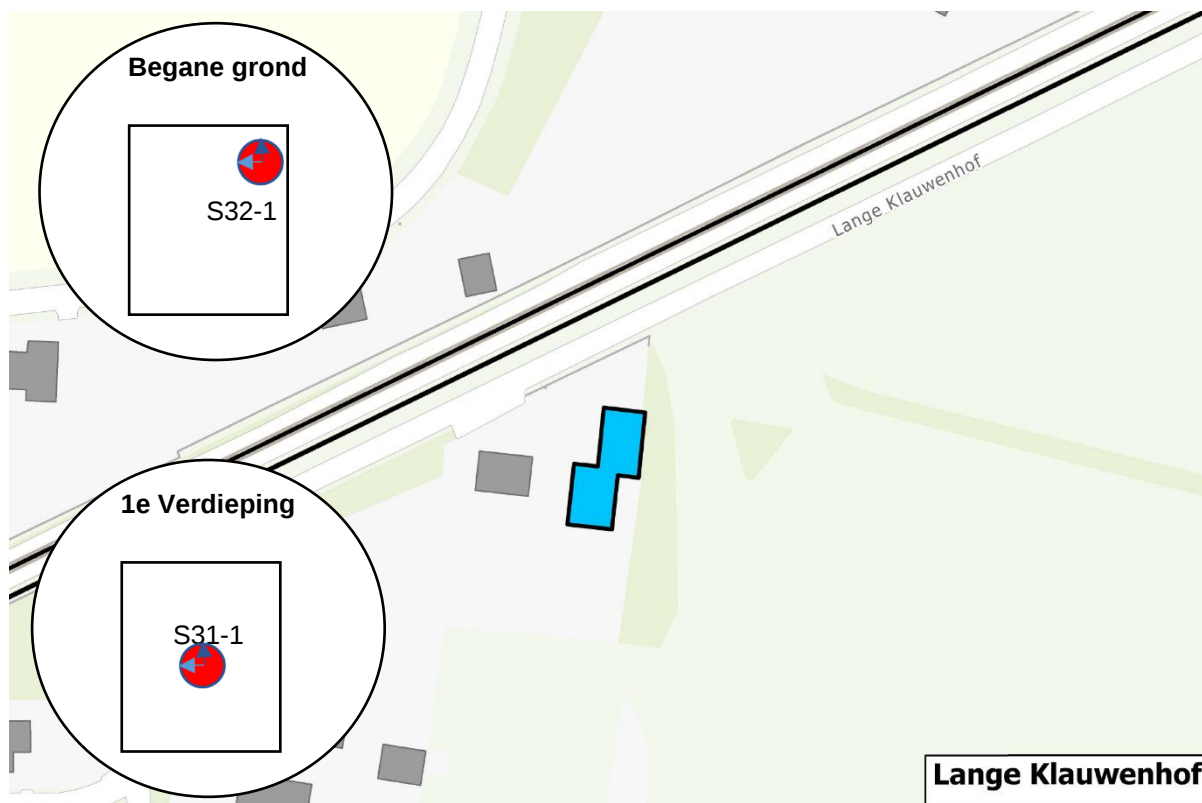
- Een driedimensionale trillingssensor (32_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (31_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 42.

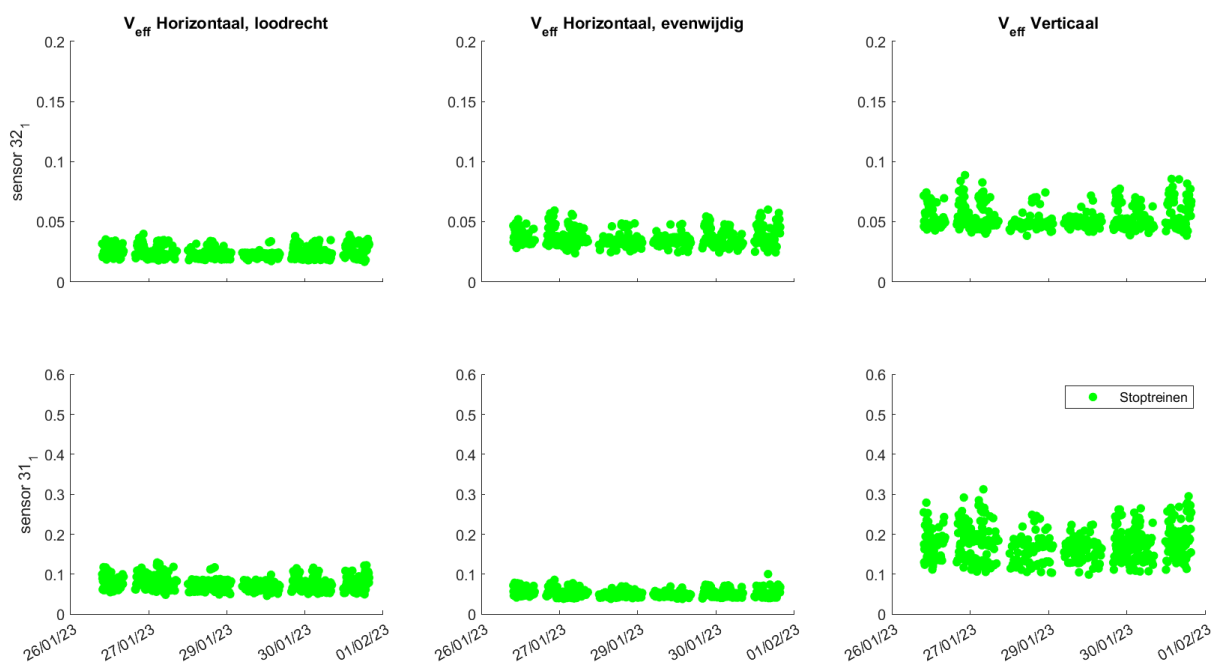
Tabel 42: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	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	26 januari 2023 tot 02 februari 2023
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 72
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 72
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons, 32_1 en 31_1
	Gebruikte registratieapparatuur	2 D-meetcomputer (D37 en D09) met 1 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 73
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	-

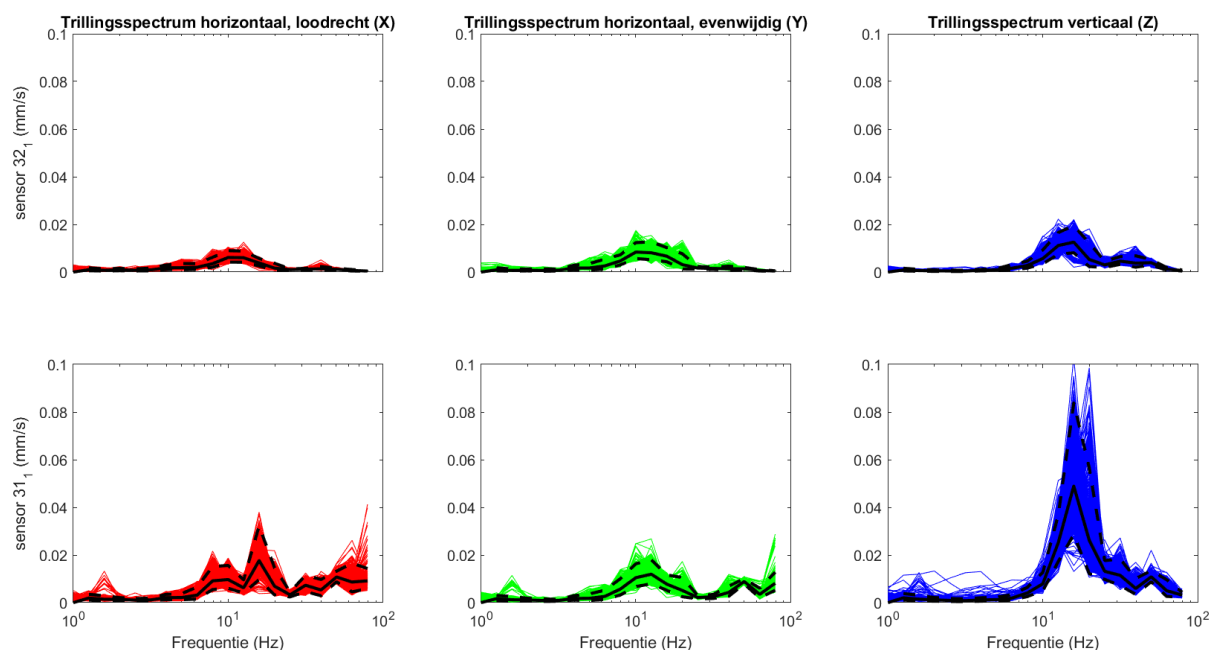
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 72, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 73 en Figuur 74.



Figuur 72: Opstelling sensoren



Figuur 73: Meetresultaten



Figuur 74: Trillingsspectra meting

VII.7.1 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			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 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.05	0.08	0.11	0.16	0.11	0.36
R	3	3	3	3	3	3

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, vooral door de toename van de treinsnelheid.

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 45.

Tabel 45: Resultaten plansituatie

	32_1, stijf punt			31_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.05
Vper, avond	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.04
Vper, nacht	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Vmax stoptreinen	0.07	0.10	0.14	0.22	0.14	0.44
Vmax RegioExpres	0.06	0.09	0.13	0.21	0.13	0.42
R, stoptreinen	3	3	3	3	3	3
R, RegioExpres	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.2. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017, en doordat de sporen dichterbij komen te liggen.

VII.7.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en huidige situatie, maar de toename blijft lager dan de toegestane toename. De gemiddelde

trillingssterkte 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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.8 Hengelder 2 - Zevenaar

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een kaart van de locatie van het gebouw is weergegeven in Figuur 75.



Figuur 75: Locatie gebouw

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

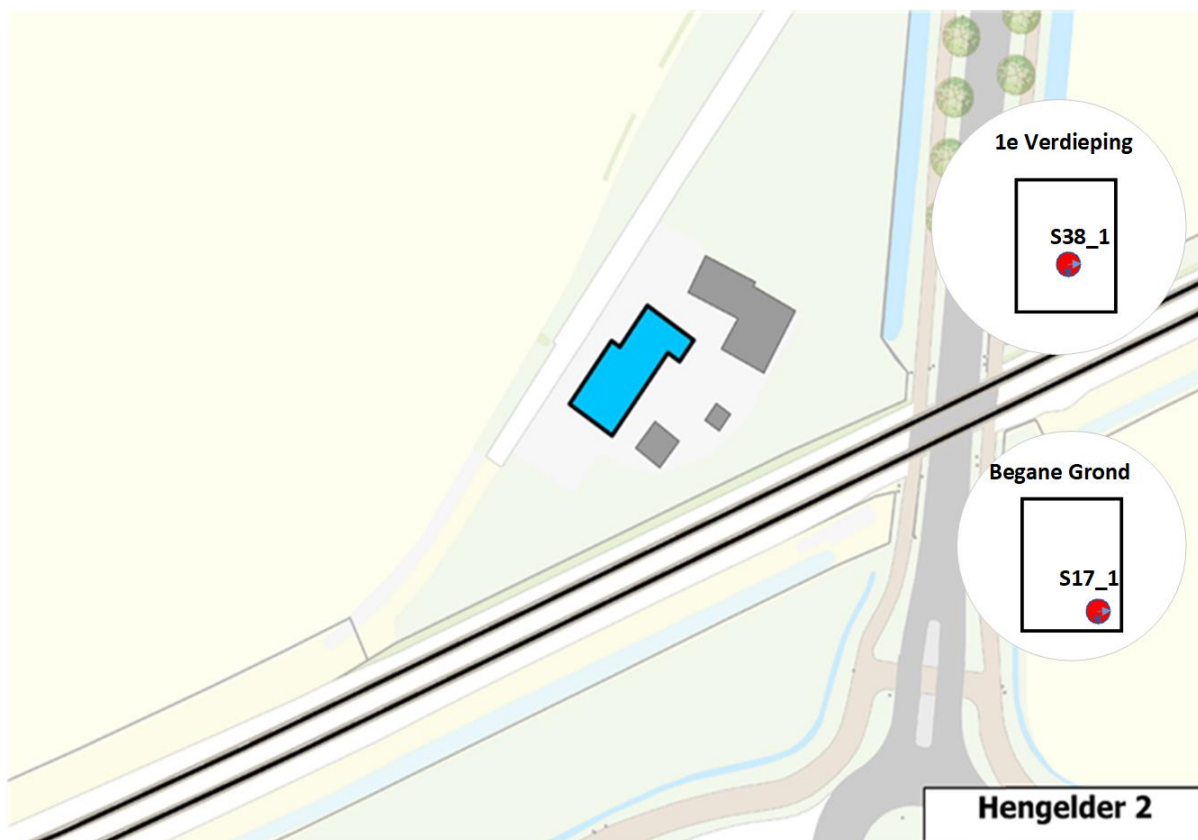
- Een driedimensionale trillingssensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (38_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 46.

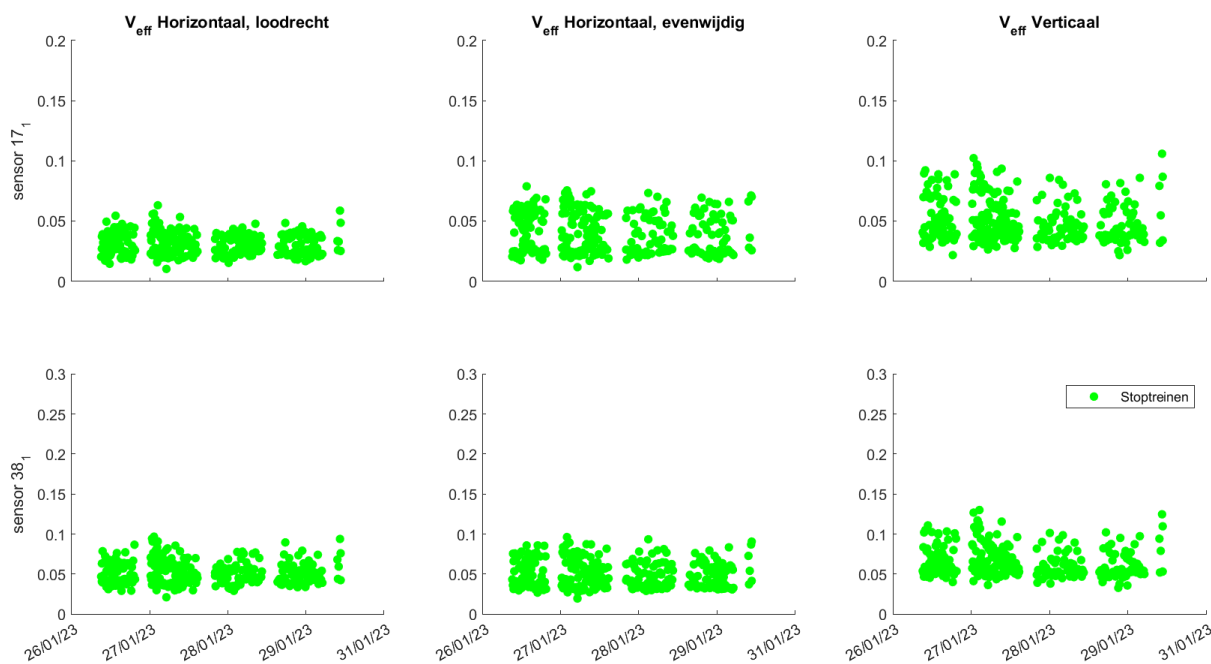
Tabel 46: Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	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>26 januari 2023 tot 01 februari 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 76</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 76</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 17_1 en 38_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D02 en D34) met 1 aangesloten kanalen</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	-

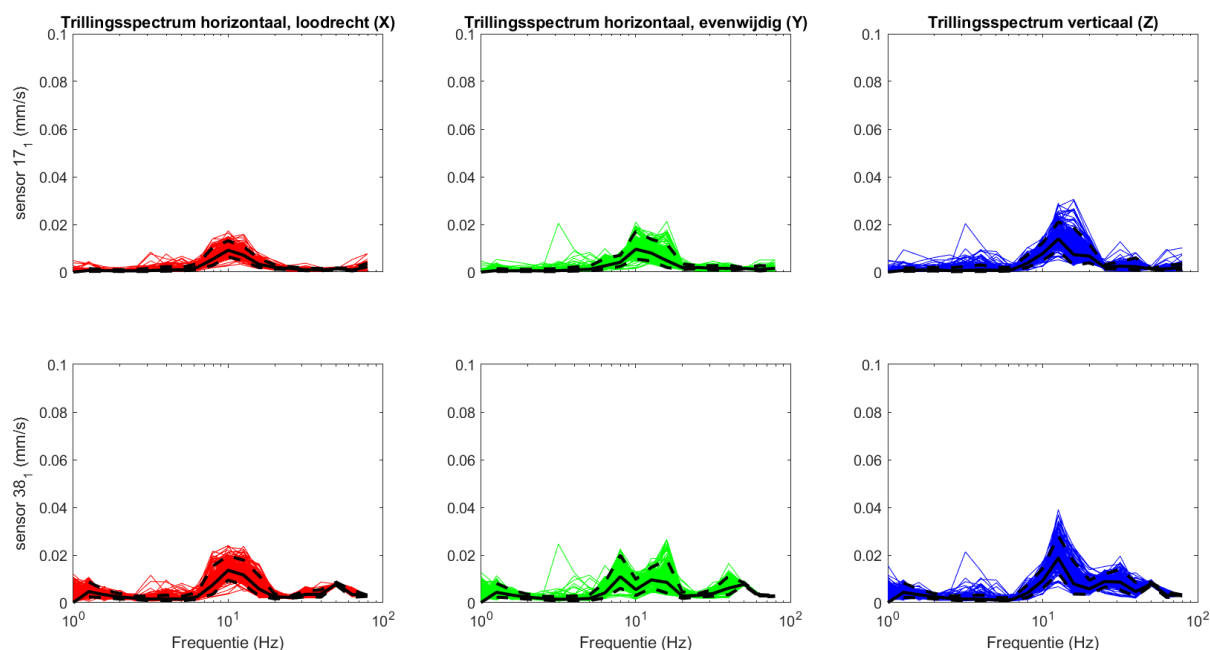
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 76, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 77 en Figuur 78.



Figuur 76: Opstelling sensoren



Figuur 77: Meetresultaten



Figuur 78: Trillingsspectra meting

VII.8.1 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

	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.8.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.08	0.11	0.11	0.11	0.15
R	4	4	4	4	4	4

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, vooral door de lichte 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 49.

Tabel 49: Resultaten plansituatie

	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 stoptreinen	0.08	0.09	0.12	0.13	0.13	0.18
Vmax RegioExpres	0.06	0.08	0.10	0.11	0.11	0.15
R, stoptreinen	4	4	4	4	4	4
R, RegioExpres	8	8	8	8	8	8

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.8.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en huidige situatie, maar de toename is lager dan 1.3. De gemiddelde trillingssterkte 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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.9 Oude Beekseweg 47 - Didam

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 79.



Figuur 79: Gevel

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

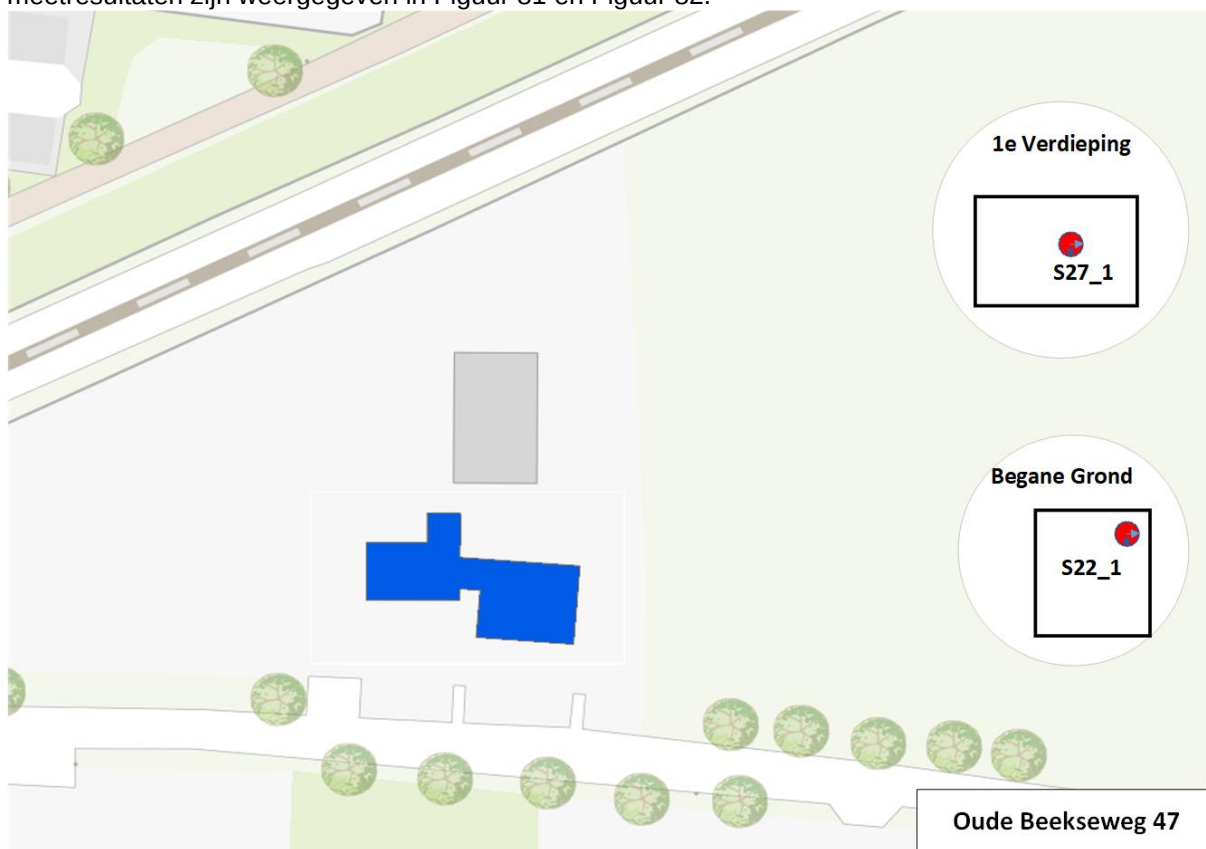
- Een driedimensionale trillingssensor (22_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (27_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 50.

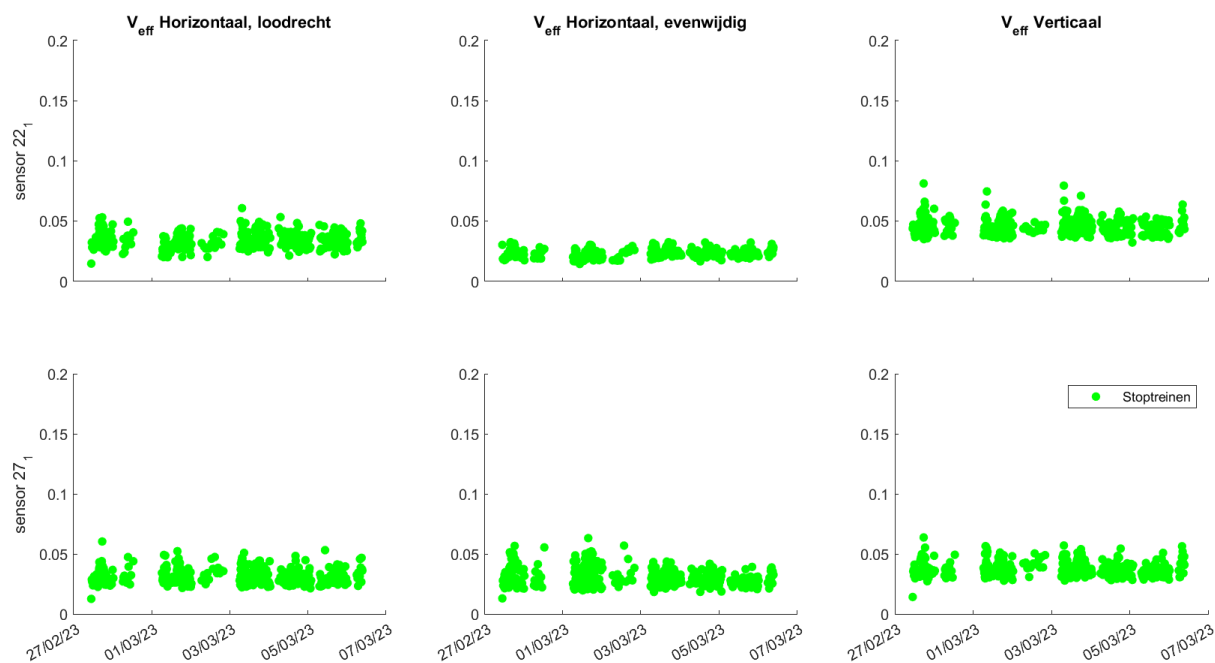
Tabel 50 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	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>27 februari 2023 tot 06 maart 2023</i>
4	Type trillingsbron	<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 80</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 80</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 22_1 en 27_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D34 en D37) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 81</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	-

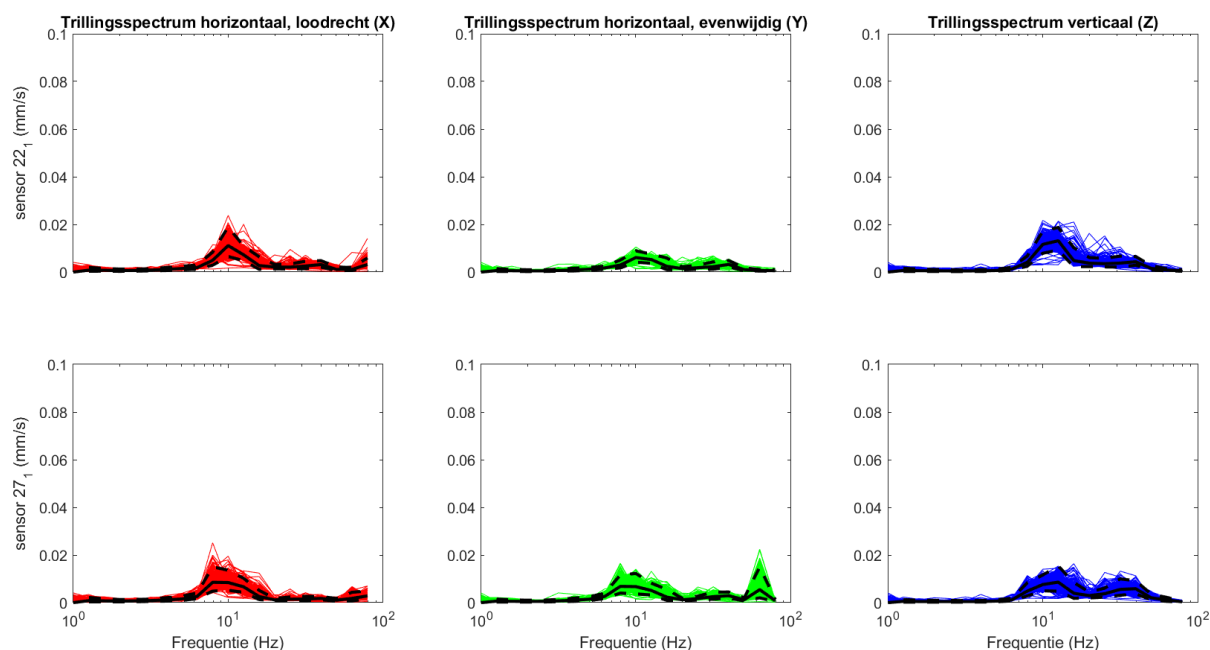
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 80, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 81 en Figuur 82.



Figuur 80: Opstelling sensoren



Figuur 81: Meetresultaten



Figuur 82: Trillingsspectra meting

VII.9.1 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

	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.9.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	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	0.06	0.04	0.08	0.06	0.06	0.07
R	3	3	3	3	3	3

De trillingssterkte is toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017, vooral door de toename van de treinsnelheid.

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 53.

Tabel 53: Resultaten plansituatie

	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 stoptreinen	0.08	0.05	0.11	0.07	0.07	0.09
Vmax RegioExpres	0.09	0.06	0.12	0.08	0.08	0.10
R, stoptreinen	3	3	3	3	3	3
R, RegioExpres	7	7	7	7	7	7

De Q-waarde bedraagt 1.4. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres sneller gaat rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.9.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de referentiesituatie 2017 en huidige situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de

plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie hoeven geen maatregelen te worden afgewogen omdat de trillingssterkte lager is dan de streefwaarde.

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

VII.10 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:

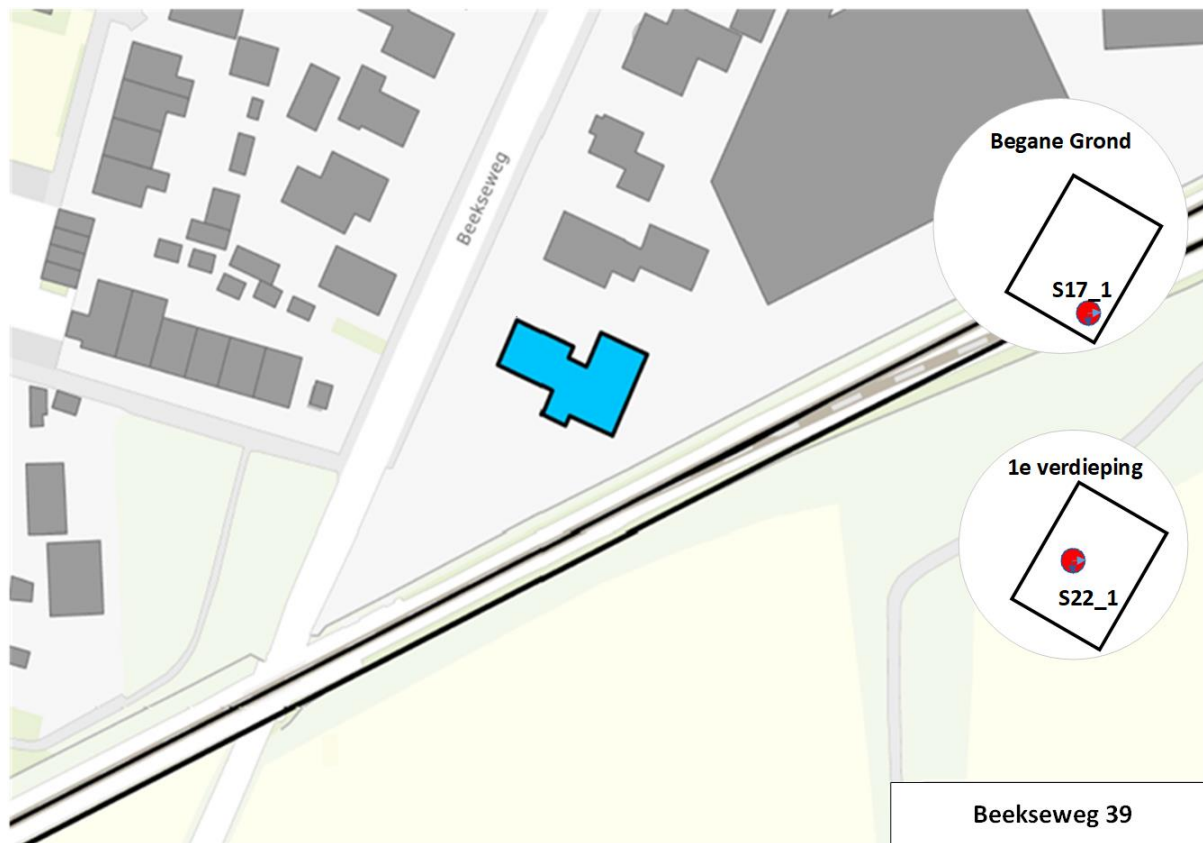
- Een driedimensionale trillingssensor (17_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (22_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 54.

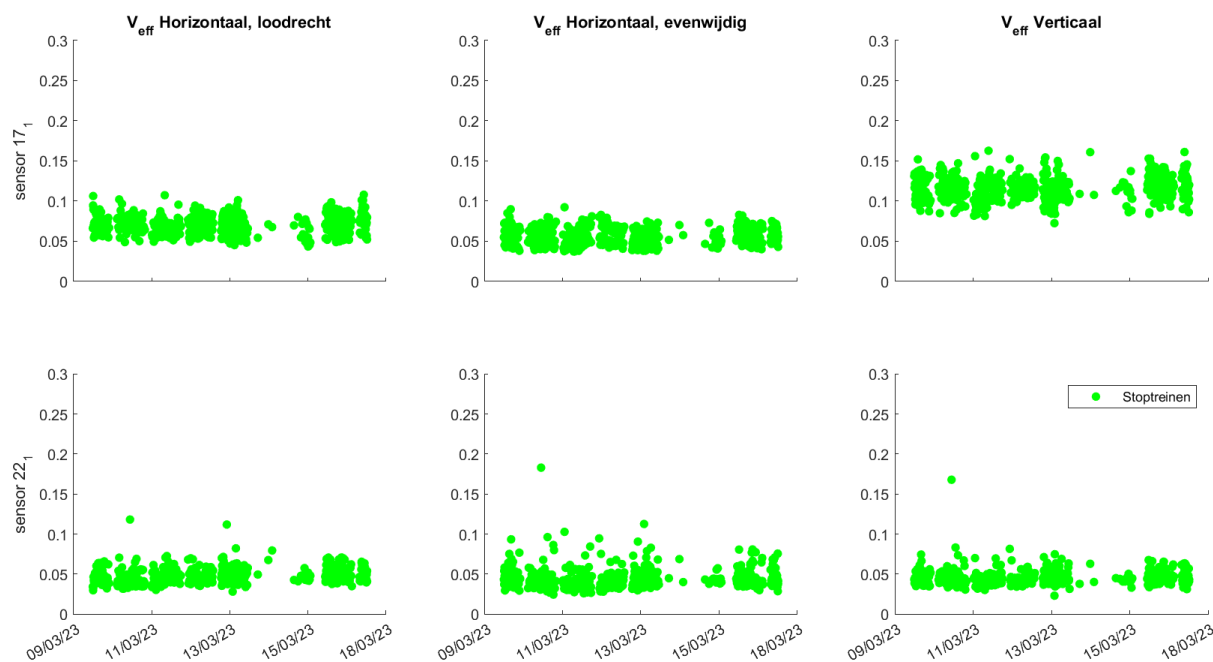
Tabel 54 Gegevens meting

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	Tijdsperiode meting	<i>09 maart 2023 tot 17 maart 2023</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</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-meetcomputer (D34 en D37) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 86</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>

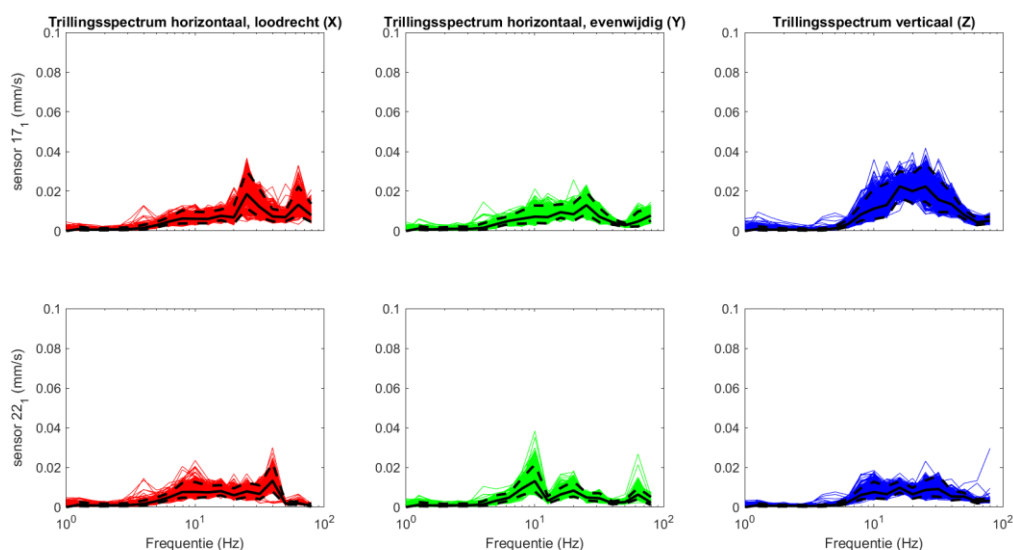
Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 84, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 85 en Figuur 86.



Figuur 84: Opstelling sensoren



Figuur 85: Meetresultaten



Figuur 86: Trillingsspectra meting

VII.10.1 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 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.10.2 Resultaten berekening referentiesituatie 2017

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de referentiesituatie 2017 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 2017

	17_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
Vper, dag	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Vper, avond	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01

	17_1, stijf punt			22_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
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 trillingssterkte is licht toegenomen t.o.v. de referentiesituatie uit 2017. In dit gebied is er een beperkte toename van de treinsnelheid, omdat geen aanpassingen in de scherpe boog bij Wehl toegepast worden.

VII.10.3 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} stoptreinen	0.16	0.12	0.25	0.11	0.10	0.11
V _{max} RegioExpres	0.16	0.12	0.24	0.11	0.10	0.11
R, stoptreinen	3	3	3	3	3	3
R, RegioExpres	6	6	6	6	6	6

De Q-waarde bedraagt 1.1. De trillingssterkte neemt toe, vooral doordat de RegioExpres en stoptreinen sneller gaan rijden in de plansituatie dan de stoptreinen in de referentiesituatie 2017.

VII.10.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie licht toe ten opzichte van de referentie en huidige situatie, maar de toename is beperkt. De trillingssterkte V_{max} is in de plansituatie lager dan de streefwaarde A1. De gemiddelde trillingssterkte 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 trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VII.11 Hof van Edinburgh 15 - 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:

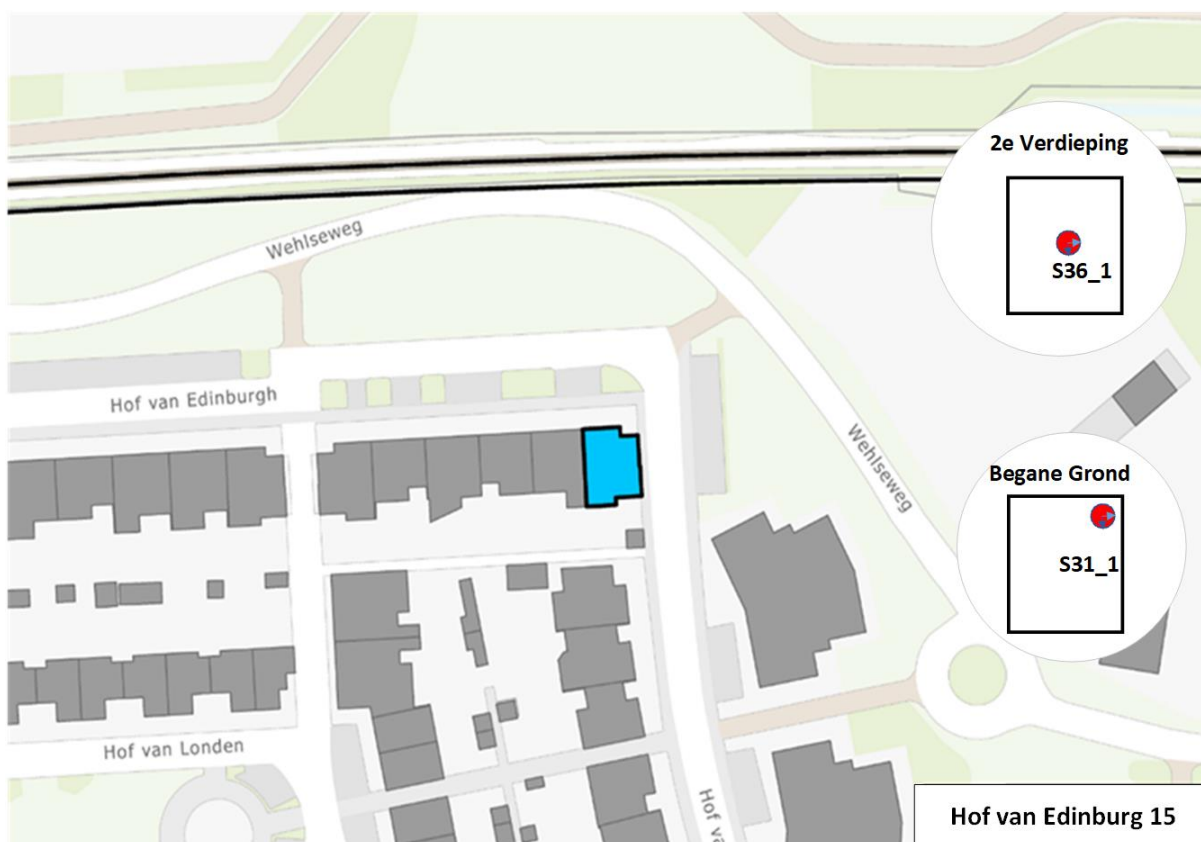
- Een driedimensionale trillingssensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (36_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

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	Tijdsperiode meting	<i>21 maart 2023 tot 30 maart 2023</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 31_1 en 36_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-meetcomputer (D09 en D03) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	
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 88.



Figuur 88: Opstelling sensoren

Uit een eerste analyse van de metingen blijkt dat de huidige trillingsniveaus op deze locatie veel lager zijn dan de waarde A1. Omdat de resultaten van deze locatie geen invloed hebben op de maatregelen, wordt de verwerking van de meetdata in de volgende versie toegevoegd.

VII.12 Hof van Edinburg 59 - Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 89.



Figuur 89: Gevel

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

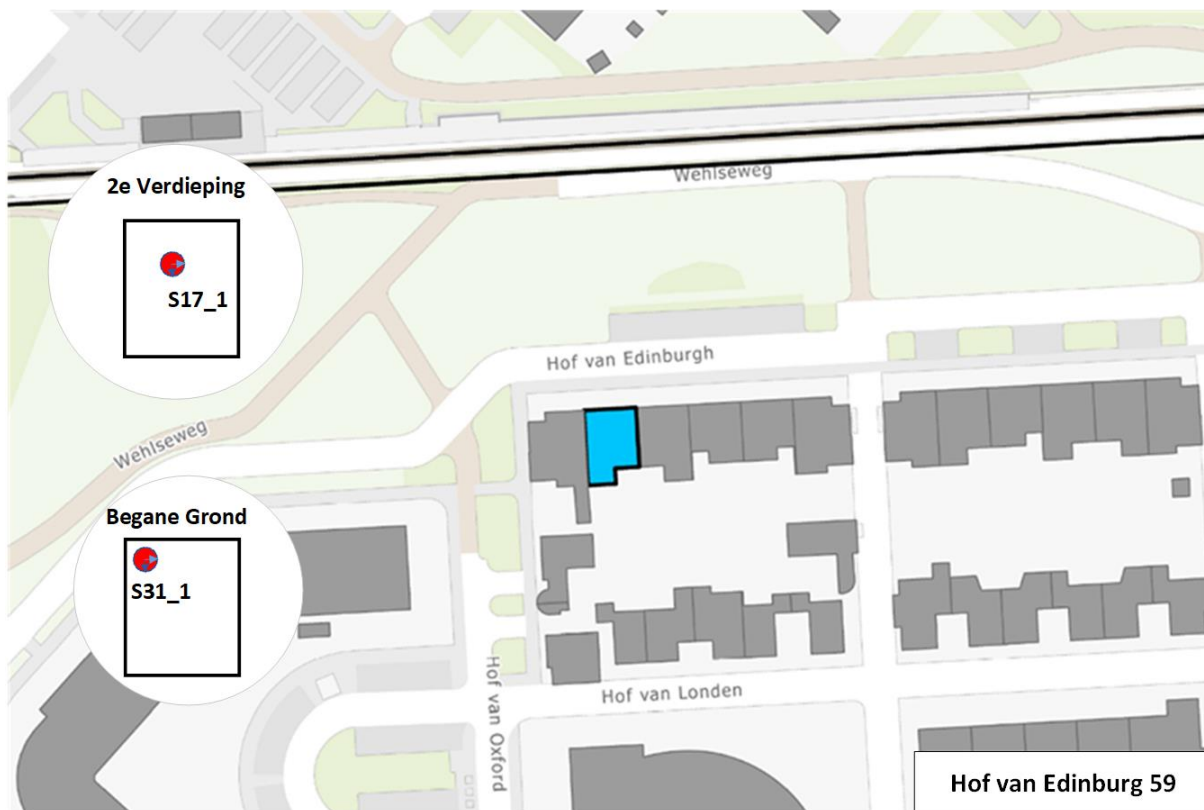
- Een driedimensionale trillingssensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (17_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

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 trillingsbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons, 31_1 en 17_1</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>2 D-metcomputer (D34 en D37) met 1 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	
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 90.



Figuur 90: Opstelling sensoren

Uit een eerste analyse van de metingen blijkt dat de huidige trillingsniveaus op deze locatie veel lager zijn dan de waarde A1. Omdat de resultaten van deze locatie geen invloed hebben op de maatregelen, wordt de verwerking van de meetdata in de volgende versie toegevoegd.

VII.13 Hof van Cambridge 42 - Doetinchem

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 91.



Figuur 91: Gevel

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

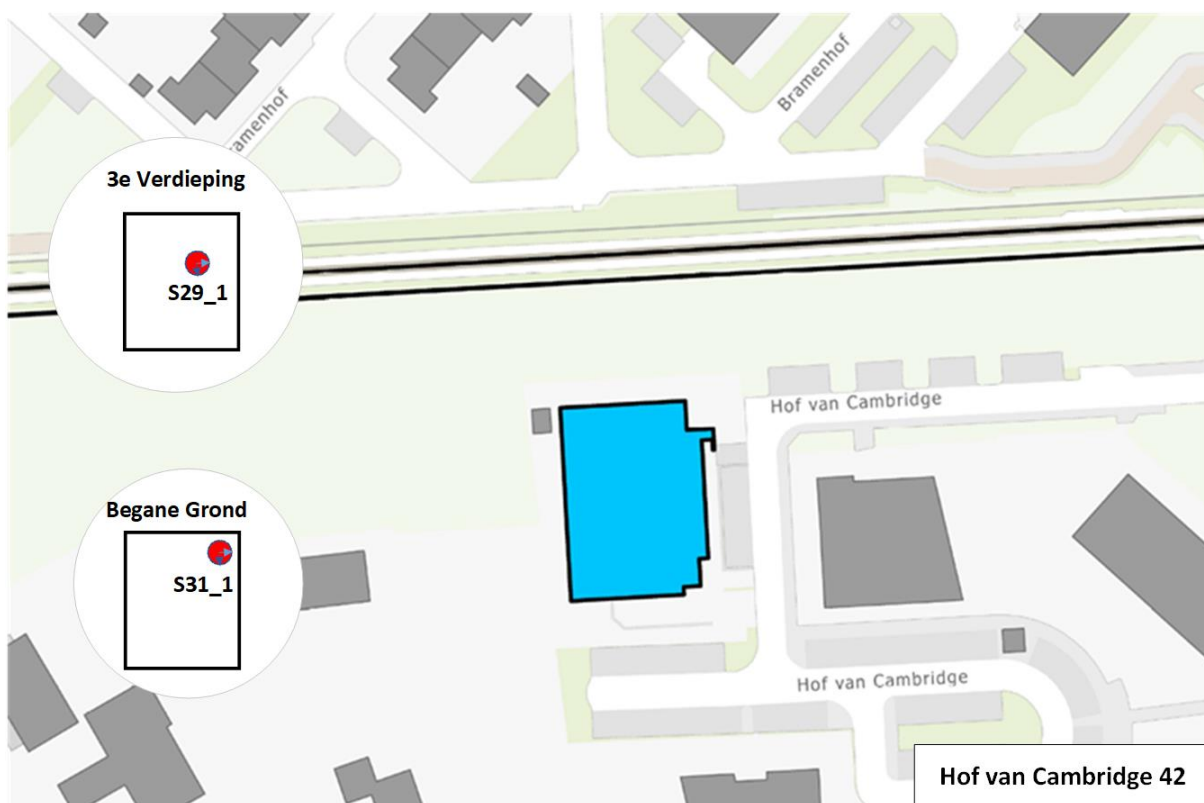
- Een driedimensionale trillingssensor (31_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (29_1) in het midden van de vloer op de 3^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 60.

Tabel 60 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 trillingsbron	<i>Treinen en lokaal vrachtverkeer</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Vierlaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	
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 kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	
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 92.



Figuur 92: Opstelling sensoren

Uit een eerste analyse van de metingen blijkt dat de huidige trillingsniveaus op deze locatie veel lager zijn dan de waarde A1. Omdat de resultaten van deze locatie geen invloed hebben op de maatregelen, wordt de verwerking van de meetdata in de volgende versie toegevoegd.

Bijlage VIII. Resultaten modelberekeningen

Deze bijlage bevat kaarten met de volgende onderdelen:

1. Trillingssterkte V_{max} in de referentiesituatie 2017, huidige situatie en de plansituatie
2. Gemiddelde trillingssterkte V_{per} in de referentiesituatie 2017, huidige situatie en de plansituatie
3. De overschrijdingen van de Bts in de plansituatie

Er zijn geen resultaten getoond voor de referentiesituatie 2035, deze resultaten zijn, behoudens de realisatie van nieuwbouw langs het spoor, gelijk aan die in de huidige situatie.

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) om de resultaten uit de modelberekeningen te corrigeren voor in woningen gemeten resultaten.

Bijlage IX. Maatregelenonderzoek

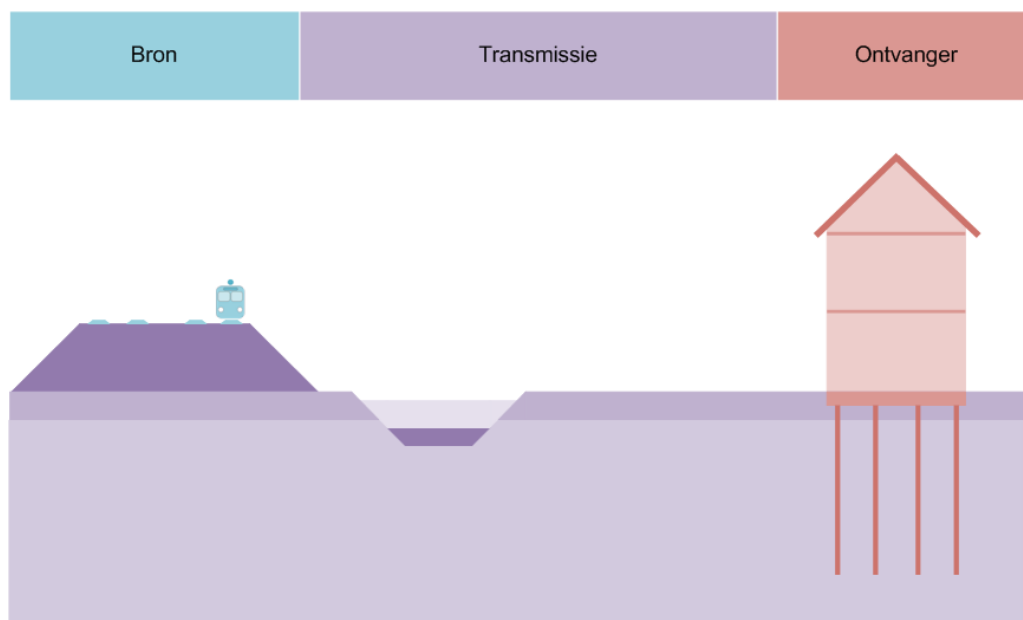
Deze bijlage bevat de resultaten van het uitgevoerde maatregelenonderzoek voor clusters waar op basis van het trillingsonderzoek een kans is op overschrijdingen. In deze bijlage gaan we eerst in op de mogelijk te nemen maatregelen, daarna op de gevolgde methodiek en tenslotte gaan we per cluster in op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

IX.2 Mogelijke maatregelen

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

1. Bij de bron (treinen²⁰ 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 93.



Figuur 93: Schematisch overzicht spoorstelsel

Er zijn twee mogelijke principes om de trillingshinder te reduceren:

- Het verhogen van de impedantie van de aangestoten constructie (de mate waarin een constructie in beweging kan worden gebracht). Dit kan bijvoorbeeld door het verhogen van de stijfheid van de constructie of het vergroten van de massa.
- 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 trillingssterkte niet of veel minder reduceren. Het uitvoeren van een maatregelenonderzoek vindt daarom altijd locatiespecifiek plaats.

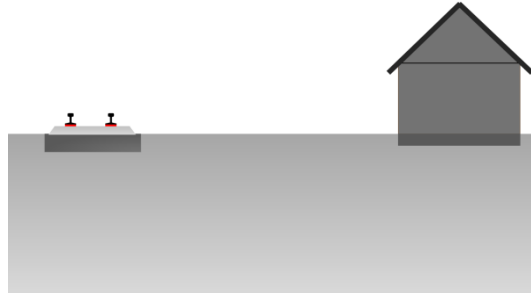
²⁰ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

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

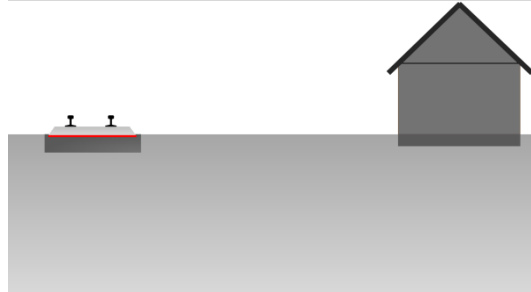
IX.1.1 Mogelijke maatregelen aan de bron

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

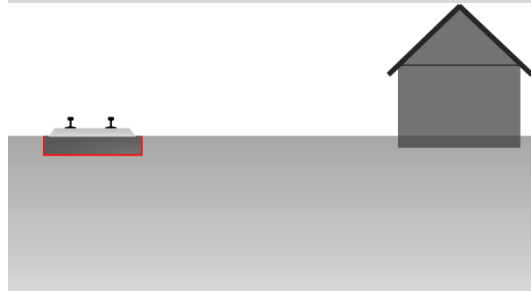
Railpads, een verende constructie tussen spoorstaaf en dwarsligger, vaak in de vorm van een rubberen plaat.



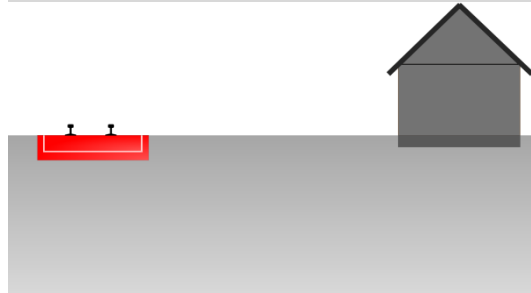
Under sleeper pads, een verende constructie tussen dwarsligger en ballast of betonplaat, vaak in de vorm van een rubberen plaat.



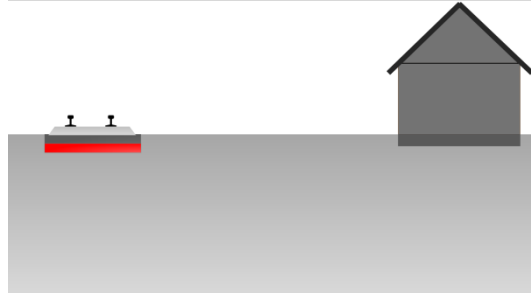
Ballastmatten, een verende constructie onder het ballast, vaak in de vorm van een rubberen mat. Om deze maatregel bij een aardebaansituatie toe te passen, dient de ballastmat aan de zijkant te worden opgesloten en is een goede afwatering van belang.



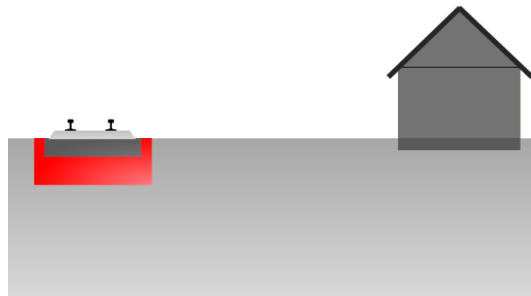
Floating slab track, een verende oplegging van het gehele spoorstelsel. Het effect hangt sterk af van de gekozen constructie (eigenfrequentie en demping).



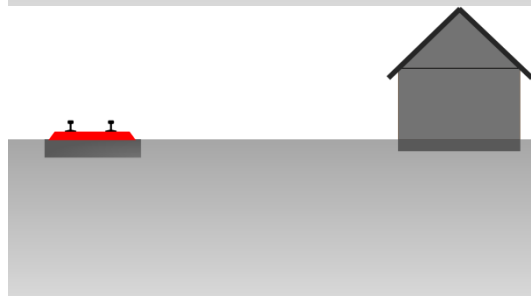
Slab track, een betonplaat onder het ballast. Deze maatregel heeft vaak alleen effect bij lage frequenties en een slappe bodem door de minimalisatie van zettingsverschillen in het spoor. De maatregel kan worden gecombineerd met een slappe ballastmat om meer effect te bereiken.



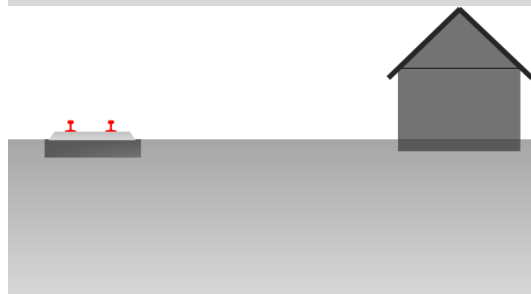
Aanpassen van de bodem onder het spoor, bijvoorbeeld door het toepassen van grondverbetering of het realiseren van een zettingsvrije plaat (onderheide betonnen plaat).



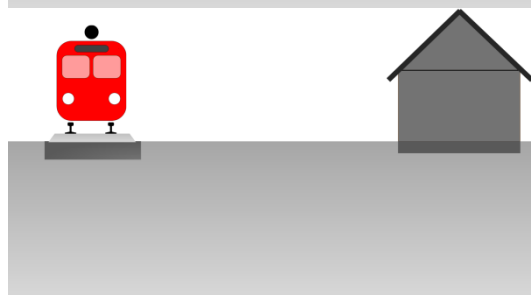
Aanpassing dwarsliggers, door de stijfheid of massa van de dwarsliggers aan te passen (grotere dwarsliggers, ander materiaal, holle dwarsliggers, wide sleepers, frame sleepers, laddertrack, etc.) kunnen de trillingen worden gereduceerd.



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 trillingssterkte.



Aanpassing aan voertuigen, bijvoorbeeld door het reduceren van de treinsnelheid, beter toezicht op de kwaliteit van het materieel of het aanpassen van de afveerconstructie van treinwagons.²¹



IX.1.2 Mogelijke maatregelen aan de transmissie of overdracht

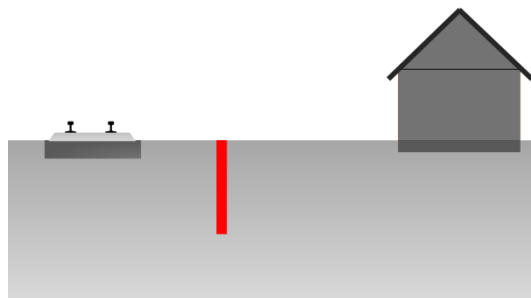
Bij maatregelen aan de transmissie (of de overdracht) kan een afname van de trillingen worden bereikt door de trillingen te absorberen of te reflecteren. Absorptie van trillingen is praktisch vrijwel niet uitvoerbaar, reflectie van trillingen kan worden bereikt door het introduceren van een fysieke barrière tussen de bron en de ontvanger. Een dergelijke barrière kan worden gerealiseerd met een zeer licht materiaal zoals EPS²² (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:

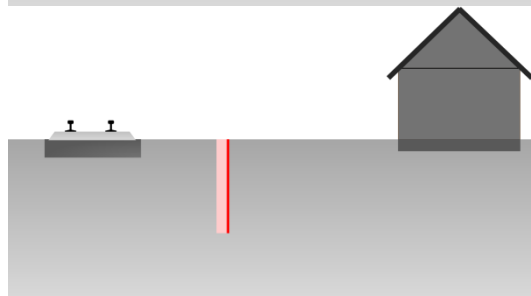
²¹ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

²² EPS is een kunststof bestaande uit geëxpandeerd polystyreen, in de volksmond bekend als piepschuim.

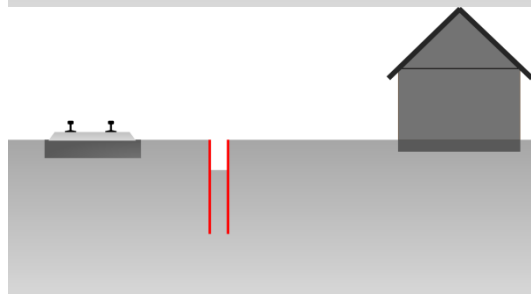
Trillingsreducerende ondergrondse constructie (TROC), bijvoorbeeld van beton, jetgrout, een damwand, prefab L-wand, Mix-In-Place of EPS. Een dergelijke constructie kan de trillingen absorberen (bij een zware constructie) of reflecteren, waardoor er een barrière ontstaat tussen bron en ontvanger.



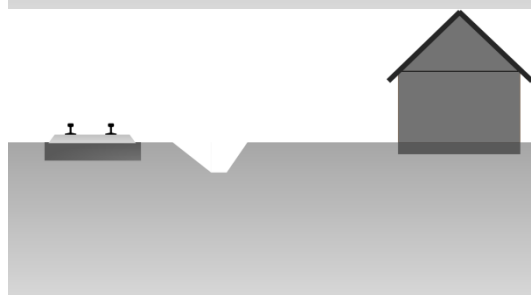
Beklede trillingsreducerende ondergrondse constructie (beklede TROC), waarbij de barrière wordt voorzien van een extra laag slap materiaal, bijvoorbeeld rubber, om een extra impedantiesprong te creëren. Deze maatregel heeft doorgaans meer effect dan een niet-beklede barrière.



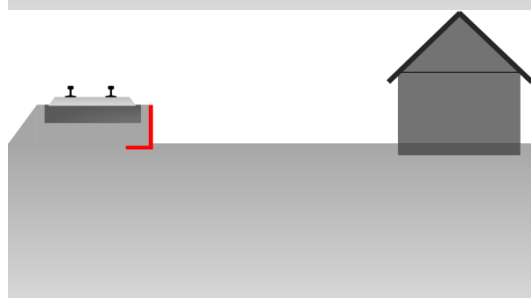
Toepassen van een sleuf en damwand(en), bij deze constructie wordt een smalle sloot of EPS-constructie gerealiseerd naast een of tussen twee damwanden. De verschillende materialen zorgen voor impedantiesprongen, waardoor reflectie van de trillingsgolven optreedt.



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:

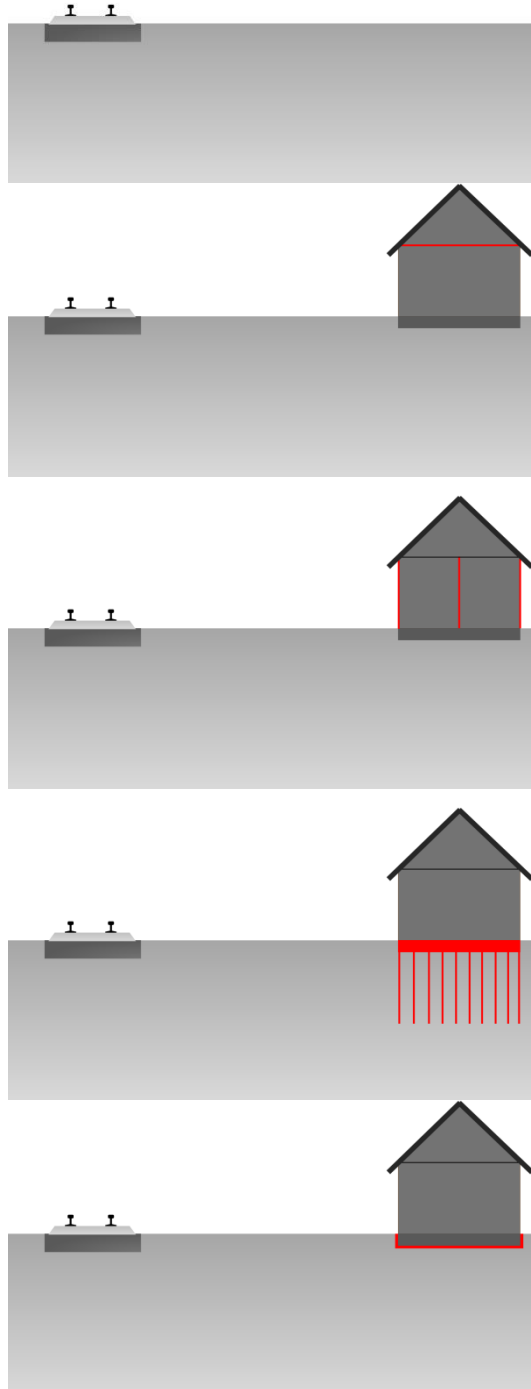
Amoveren, de gebouwen worden opgekocht en de bewoners of gebruikers verhuizen.

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.

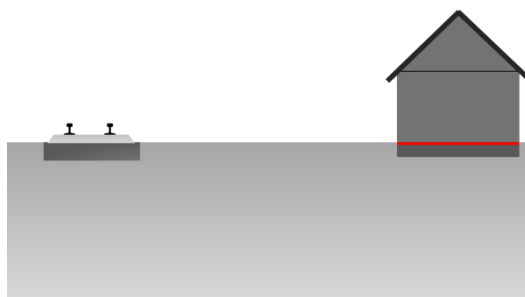
Verstijven van muren, hierbij worden buitenmuren verstevigd, of niet-constructieve binnenwanden vervangen door constructieve binnenwanden. Een andere mogelijkheid is het toevoegen van steunberen aan de buitenzijde van de woning, waardoor de woning breder wordt en een andere eigenfrequentie en demping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

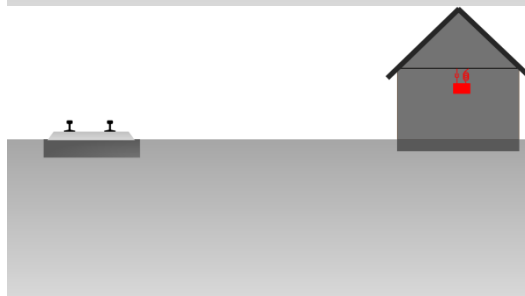
Inpakken van de fundering, vooral bij gebouwen die op staal zijn gefundeerd. Hierbij wordt de fundering ingepakt in een dempend materiaal, bijvoorbeeld rubber of EPS.



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 uitdempen 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 trillingsspectrum, omdat omliggende frequenties vaak worden opgeslingerd.



IX.2 Gevolgde methodiek

Om te komen tot een keuze voor een bepaalde trillingsmaatregel 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.
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 (prijsspeil 2023). Voor kantoren wordt een bedrag van € 671,- per werkplek gehanteerd (prijsspeil 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.

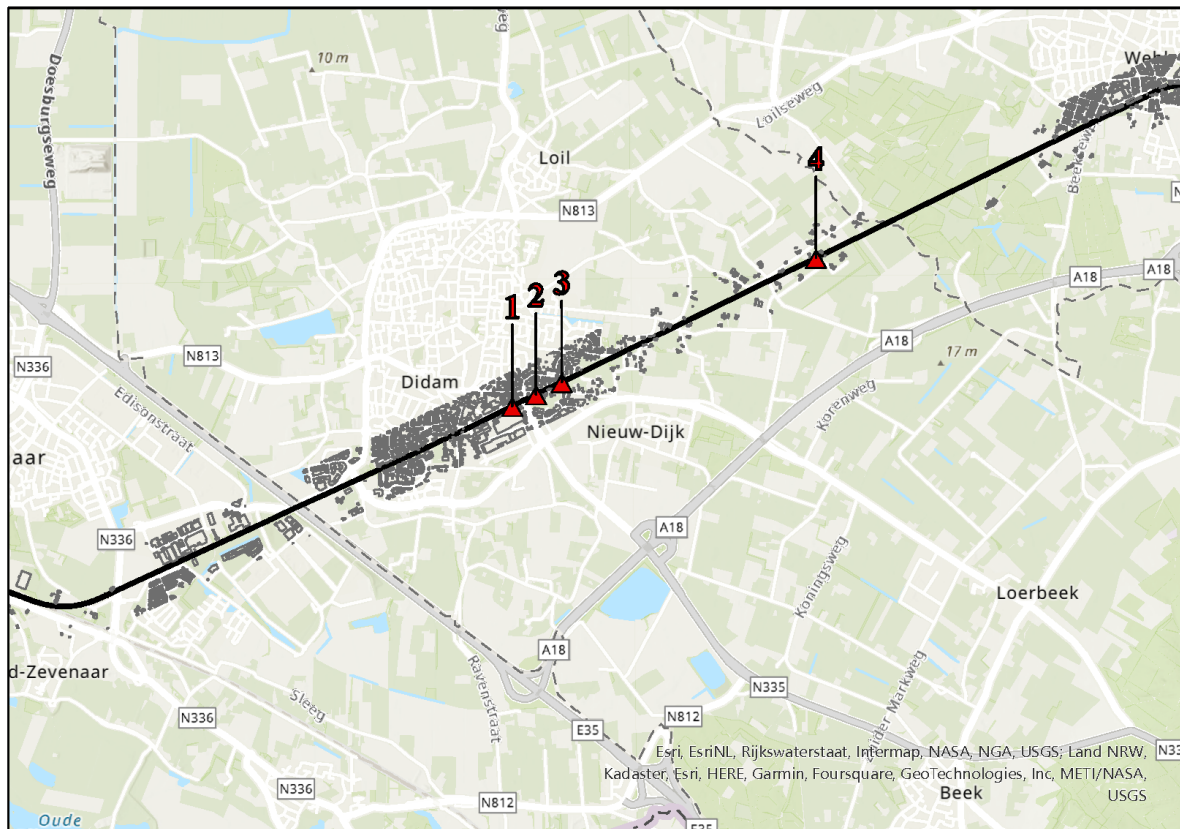
IX.3 Voorgestelde maatregelen

In deze paragraaf gaan we aan de hand van de bovengenoemde vier stappen in op de voorgestelde maatregelen per cluster. We starten met het definiëren van de clusters, gaan daarna in op een selectie van de maatregelen, rekenen het effect door en stellen een maatregel voor. Stap 1 van bovenstaande aanpak is opgenomen in de volgende subparagraaf, de andere drie stappen zijn samengenomen in de subparagraaf daarna.

IX.3.1 Clusters

In totaal zijn er 4 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

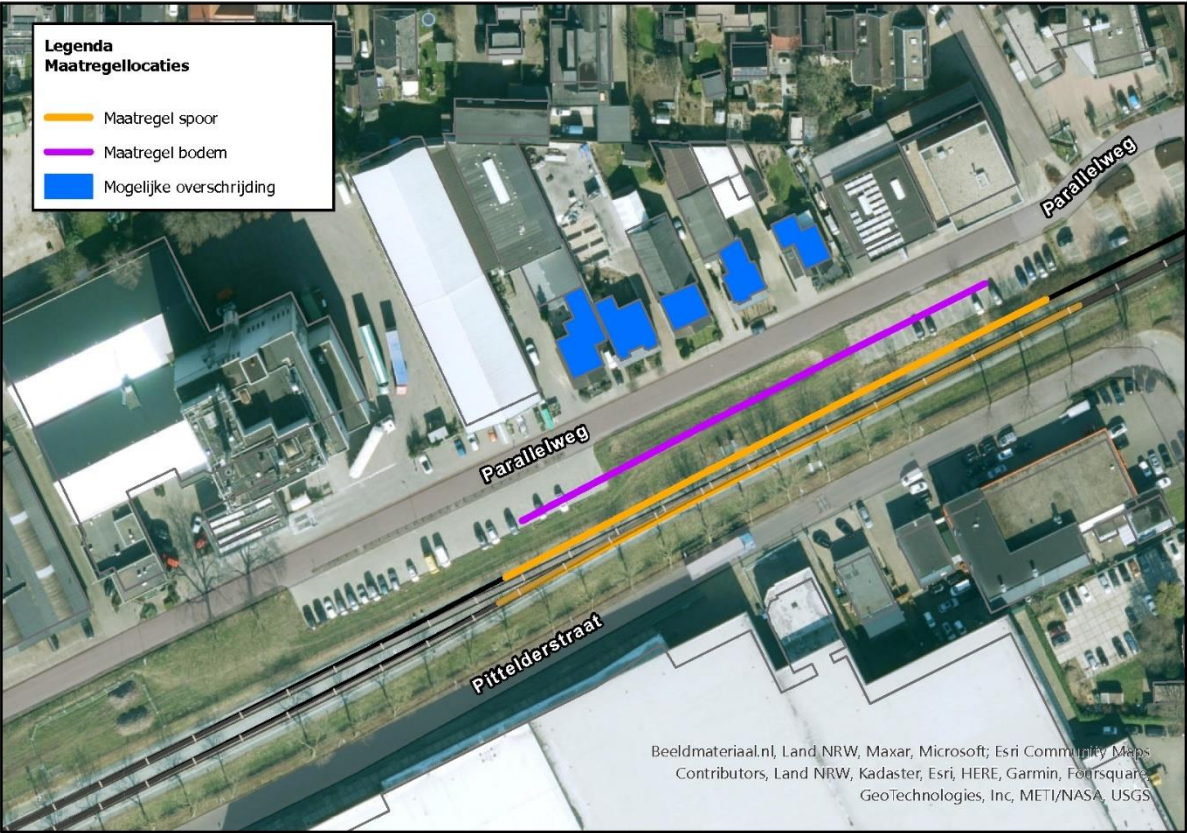
maatregellocaties zijn zodanig bepaald dat een object met een overschrijding altijd over een hoek van 45 graden wordt afgeschermd. Een overzicht met de locaties met overschrijdingen (met clusternummer, correspondeert met de hierna volgende tabellen) is weergegeven in Figuur 94.

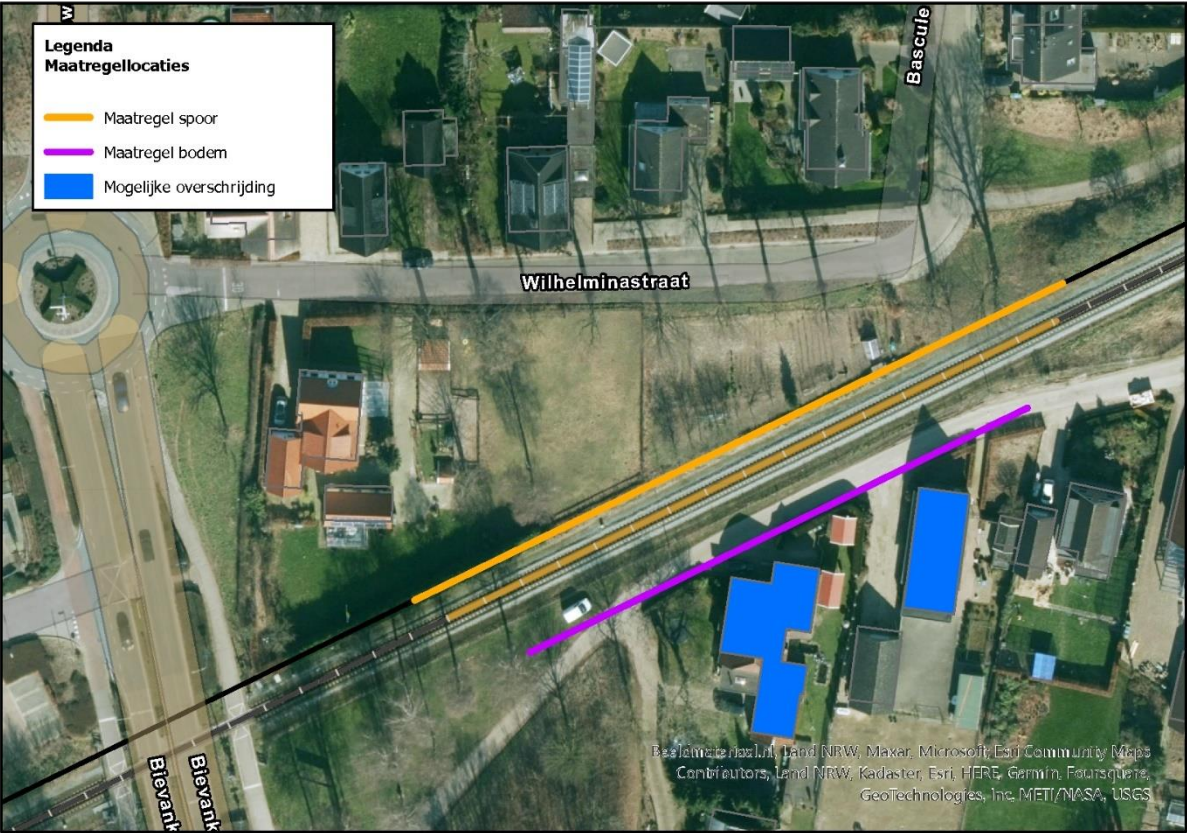


Figuur 94: Clusters met overschrijdingen

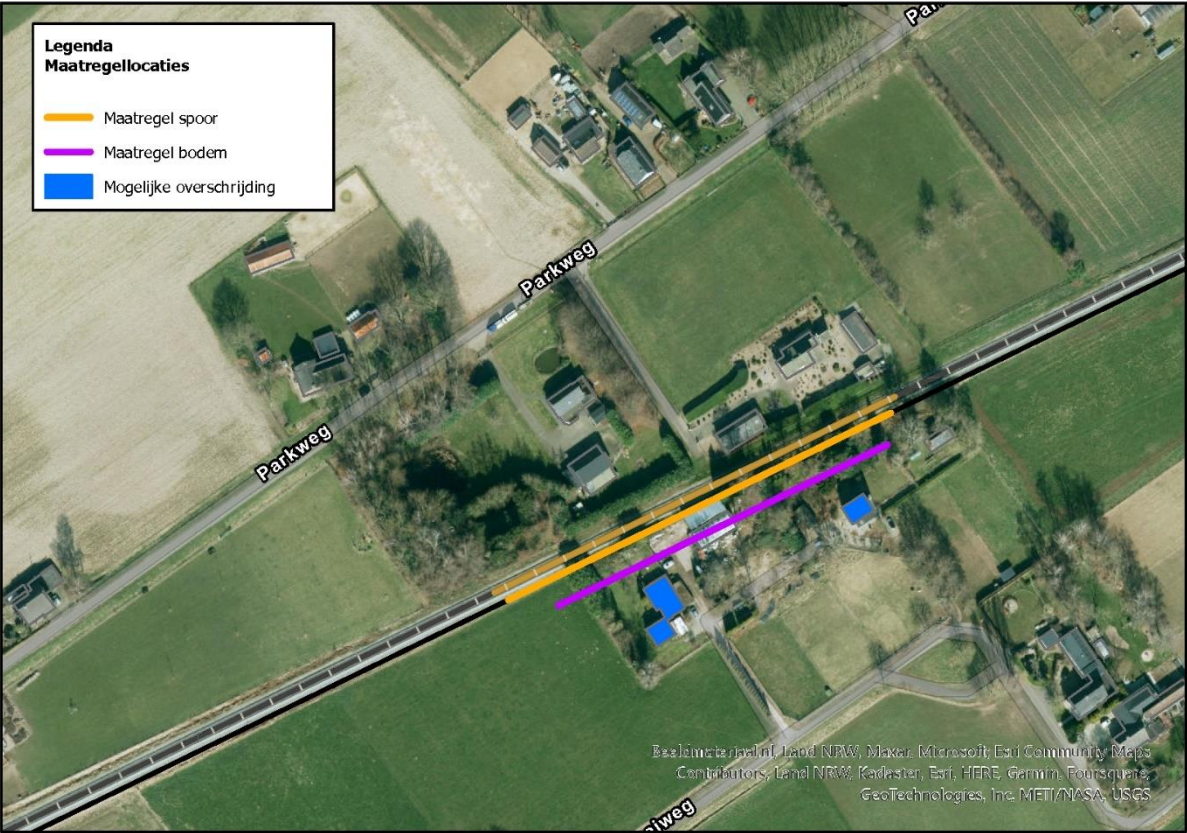
Per cluster is de volgende informatie gegeven:

- Een kaart met een luchtfoto van het cluster, inclusief de panden met een overschrijding en de locaties van bron- en transmissiemaatregelen.
- Een tabel met het aantal overschrijdingen, de maximaal benodigde reductie in V_{max} en V_{per} om te voldoen aan de streefwaarden (V_{max} niet groter dan 0.2 of toename Q niet groter dan 1.3, en V_{per} niet groter dan 0.10).
- Het 'beschikbare budget' voor maatregelen per strekkende meter bron- of transmissiemaatregel, op basis van paragraaf 2 lid 3. Dit bedrag wordt later gebruikt om een preselectie te maken van realistische maatregelen die nader onderzocht moeten worden. Dit vindt plaats in de volgende paragraaf.

Cluster	1
Clusternaam	Didam Parallelweg
	
Aantal overschrijdingen	5
Benodigde reductie $V_{\max}$	53%
Benodigde reductie V_{per}	0%
Lengte en budget bronmaatregelen	290 m, € 810 per m
Lengte en budget bodemaatregelen	120 m, € 1958 per m

Cluster	2
Clusternaam	Didam Oude Beekseweg 48A-50
	
Aantal overschrijdingen	2
Benodigde reductie $V_{\max}$	26%
Benodigde reductie V_{per}	0%
Lengte en budget bronmaatregelen	210 m, € 448 per m
Lengte en budget bodemaatregelen	80 m, € 1175 per m

Cluster	3
Clusternaam	Didam Eg-Zandweg
	
Aantal overschrijdingen	12
Benodigde reductie $V_{\max}$	24%
Benodigde reductie V_{per}	0%
Lengte en budget bronmaatregelen	590 m, € 956 per m
Lengte en budget bodemaatregelen	270 m, € 2089 per m

Cluster	4
Clusternaam	Didam Toppegaiweg 2-4
	
Aantal overschrijdingen	3
Benodigde reductie $V_{\max}$	7%
Benodigde reductie V_{per}	0%
Lengte en budget bronmaatregelen	310 m, € 455 per m
Lengte en budget bodemaatregelen	130 m, € 1085 per m

IX.3.2 Selectie van maatregelen

Voor een eerste preselectie van maatregelen is 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 61. Hierbij geldt dat een aantal maatregelen buiten de scope van het project vallen (m.n. maatregelen aan de voertuigen, rijsnelheid (omdat de verhoging van de rijsnelheid 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.

Tabel 61: 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 rijsnelheid	0	--	0	+	++	Nee, valt buiten scope project
Andere treintypes	0	--	0	--	++	Nee, valt buiten scope project
Transmissie maatregelen						
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

Type maatregel	Inpasbaar	Uitvoerbaar	Onderhoudbaar	Robuust	Effectiviteit	Mogelijk doelmatig
Bronmaatregelen						
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

Van de mogelijk doelmatige maatregelen is vervolgens de bandbreedte van de kosten bepaald. Deze kosten²³ zijn per strekkende meter (inclusief BTW) bepaald. Hieronder geven we per cluster en per mogelijk doelmatige maatregel uit Tabel 61 weer of de maatregel mogelijk inpasbaar is bij (een deel van) het specifieke cluster, wat de bandbreedte van de effectiviteit is (op basis van expert judgment) en wat de bandbreedte van de kosten is. 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 lager zijn dan het richtbedrag voor maatregelen.

Vervolgens is per cluster nader gekeken naar de effectiviteit van de 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.

²³ 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%), engineeringskosten (5%), onvoorziene kosten (5%) en PEAT (5%). Kosten voor grondverwerving, het verleggen van kabels en leidingen en eventuele aankoop van opstallen is hierin niet meegenomen. 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.

Cluster	1 -Didam Parallelweg			
Aantal overschrijdingen	5			
Benodigde reductie $V_{\max}$	53%			
Benodigde reductie V_{per}	0%			
Lengte en budget bronmaatregelen	290 m, € 810 per m			
Lengte en budget bodemaatregelen	120 m, € 1958 per m			
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
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee
TROC EPS zonder damwand	Ja	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorsloot	Ja	15% tot 65%	€ 920 tot € 1533 per m	Mogelijk

Hieronder is een overzicht gegeven van het aantal overschrijdingen bij de (mogelijk) doelmatige maatregelen, op basis van een gedetailleerde doorrekening.

Situatie	Geen	USP's	Spoorsloot	TROC EPS
Aantal panden met een overschrijding	5	5	5	5
Benodigde reductie $V_{\max}$	53%	53%	11%	36%
Benodigde reductie V_{per}	0%	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 315,135	€ 315,135	€ 315,135	€ 315,135
Lengte maatregel [m]	nvt	290	120	120
Kosten maatregel	nvt	€ 49,877	€ 147,139	€ 58,869
Mogelijk doelmatig?	nvt	Nee	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen voor deze locatie. De maatregelen passen weliswaar binnen het richtbedrag voor maatregelen, maar de reductie van de trillingen is onvoldoende.

Cluster	2 - Didam Oude Beekseweg 48A-50			
Aantal overschrijdingen	2			
Benodigde reductie V_{max}	26%			
Benodigde reductie V_{per}	0%			
Lengte en budget bronmaatregelen	210 m, € 448 per m			
Lengte en budget bodemaatregelen	80 m, € 1175 per m			
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
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee
TROC beton	Nee	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee
TROC jet-grout	Nee	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee
TROC damwand	Nee	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee
TROC prefab L-wand	Nee	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee
TROC damwanden met EPS	Nee	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee
TROC damwanden met sleuf	Nee	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee
TROC beklede betonwand	Nee	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee
TROC beklede prefab L-wand	Nee	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee
TROC mix-in-place wand	Nee	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee
TROC EPS zonder damwand	Nee	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Nee
Spoorstoot	Nee	15% tot 65%	€ 920 tot € 1533 per m	Nee

Hieronder is een overzicht gegeven van het aantal overschrijdingen bij de (mogelijk) doelmatige maatregelen, op basis van een gedetailleerde doorrekening.

Situatie	Geen	USP's
Aantal panden met een overschrijding	2	2
Benodigde reductie V_{max}	26%	42%
Benodigde reductie V_{per}	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 126,054	€ 126,054
Lengte maatregel [m]	nvt	210
Kosten maatregel	nvt	€ 116,093
Mogelijk doelmatig?	nvt	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen voor deze locatie. De maatregel past binnen het richtbedrag voor maatregelen, maar de reductie van de trillingen is onvoldoende.

Cluster	3 - Didam Eg-Zandweg			
Aantal overschrijdingen	12			
Benodigde reductie $V_{\max}$	24%			
Benodigde reductie V_{per}	0%			
Lengte en budget bronmaatregelen	590 m, € 956 per m			
Lengte en budget bodemmaatregelen	270 m, € 2089 per m			
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
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee
TROC beton	Ja	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee
TROC jet-grout	Ja	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee
TROC damwand	Ja	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee
TROC prefab L-wand	Ja	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee
TROC damwanden met EPS	Ja	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee
TROC damwanden met sleuf	Ja	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee
TROC beklede betonwand	Ja	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee
TROC beklede prefab L-wand	Ja	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee
TROC mix-in-place wand	Ja	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee
TROC EPS zonder damwand	Ja	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Mogelijk
Spoorsloot	Nee	15% tot 65%	€ 920 tot € 1533 per m	Nee

Hieronder is een overzicht gegeven van het aantal overschrijdingen bij de (mogelijk) doelmatige maatregelen, op basis van een gedetailleerde doorrekening.

Situatie	Geen	USP's	TROC EPS
Aantal panden met een overschrijding	12	12	12
Benodigde reductie $V_{\max}$	24%	40%	16%
Benodigde reductie V_{per}	0%	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 756,324	€ 756,324	€ 756,324
Lengte maatregel [m]	nvt	590	270
Kosten maatregel	nvt	€ 326,167	€ 132,456
Mogelijk doelmatig?	nvt	Nee	Nee

Er zijn geen doelmatige maatregelen voor deze locatie. De maatregelen passen weliswaar binnen het richtbedrag voor maatregelen, maar de reductie van de trillingen is onvoldoende. De woning aan de zuidzijde (Oude Beekseweg 45) wordt geamoveerd, waardoor voor deze woning geen maatregelen nodig zijn.

Cluster	4 - Didam Toppegaiweg 2-4			
Aantal overschrijdingen	3			
Benodigde reductie $V_{\max}$	7%			
Benodigde reductie V_{per}	0%			
Lengte en budget bronmaatregelen	310 m, € 455 per m			
Lengte en budget bodemmaatregelen	130 m, € 1085 per m			
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
Floating slab track	Ja	25% tot 90%	€ 13952 tot € 23254 per m	Nee
Slab track (betonplaat)	Ja	5% tot 60%	€ 1743 tot € 6529 per m	Nee
Slab track met ballastmat	Ja	20% tot 70%	€ 2345 tot € 3908 per m	Nee
Zettingsvrije plaat	Ja	10% tot 60%	€ 18983 tot € 31638 per m	Nee
Laddertrack	Ja	0% tot 15%	€ 3583 tot € 5971 per m	Nee
Wide sleeper track	Ja	0% tot 5%	€ 706 tot € 1176 per m	Nee
TROC beton	Nee	15% tot 50%	€ 11369 tot € 18948 per m	Nee
TROC jet-grout	Nee	10% tot 35%	€ 11472 tot € 19121 per m	Nee
TROC damwand	Nee	5% tot 20%	€ 6831 tot € 11386 per m	Nee
TROC prefab L-wand	Nee	15% tot 50%	€ 2396 tot € 7367 per m	Nee
TROC damwanden met EPS	Nee	10% tot 40%	€ 9667 tot € 16111 per m	Nee
TROC damwanden met sleuf	Nee	15% tot 45%	€ 12438 tot € 20729 per m	Nee
TROC beklede betonwand	Nee	25% tot 80%	€ 16078 tot € 26796 per m	Nee
TROC beklede prefab L-wand	Nee	15% tot 55%	€ 6193 tot € 10321 per m	Nee
TROC mix-in-place wand	Nee	0% tot 20%	€ 3876 tot € 6460 per m	Nee
TROC EPS zonder damwand	Nee	15% tot 65%	€ 368 tot € 613 per m	Nee
Spoorsloot	Nee	15% tot 65%	€ 920 tot € 1533 per m	Nee

Maatregelen in de bodem zijn niet realiseerbaar vanwege de ligging op particulier terrein. Hieronder is een overzicht gegeven van het aantal overschrijdingen bij de (mogelijk) doelmatige maatregelen, op basis van een gedetailleerde doorrekening.

Situatie	Geen	USP's
Aantal panden met een overschrijding	3	0
Benodigde reductie $V_{\max}$	7%	0%
Benodigde reductie V_{per}	0%	0%
Budget voor maatregelen	€ 189,081	€ 189,081
Lengte maatregel [m]	nvt	310
Kosten maatregel	nvt	€ 171,376
Mogelijk doelmatig?	nvt	Ja

Under Sleeper Pads (USP's) zijn kosteneffectief op deze locatie en daarmee doelmatig. Met deze maatregel zijn er geen overschrijdingen meer in dit cluster.

 samen werkt het