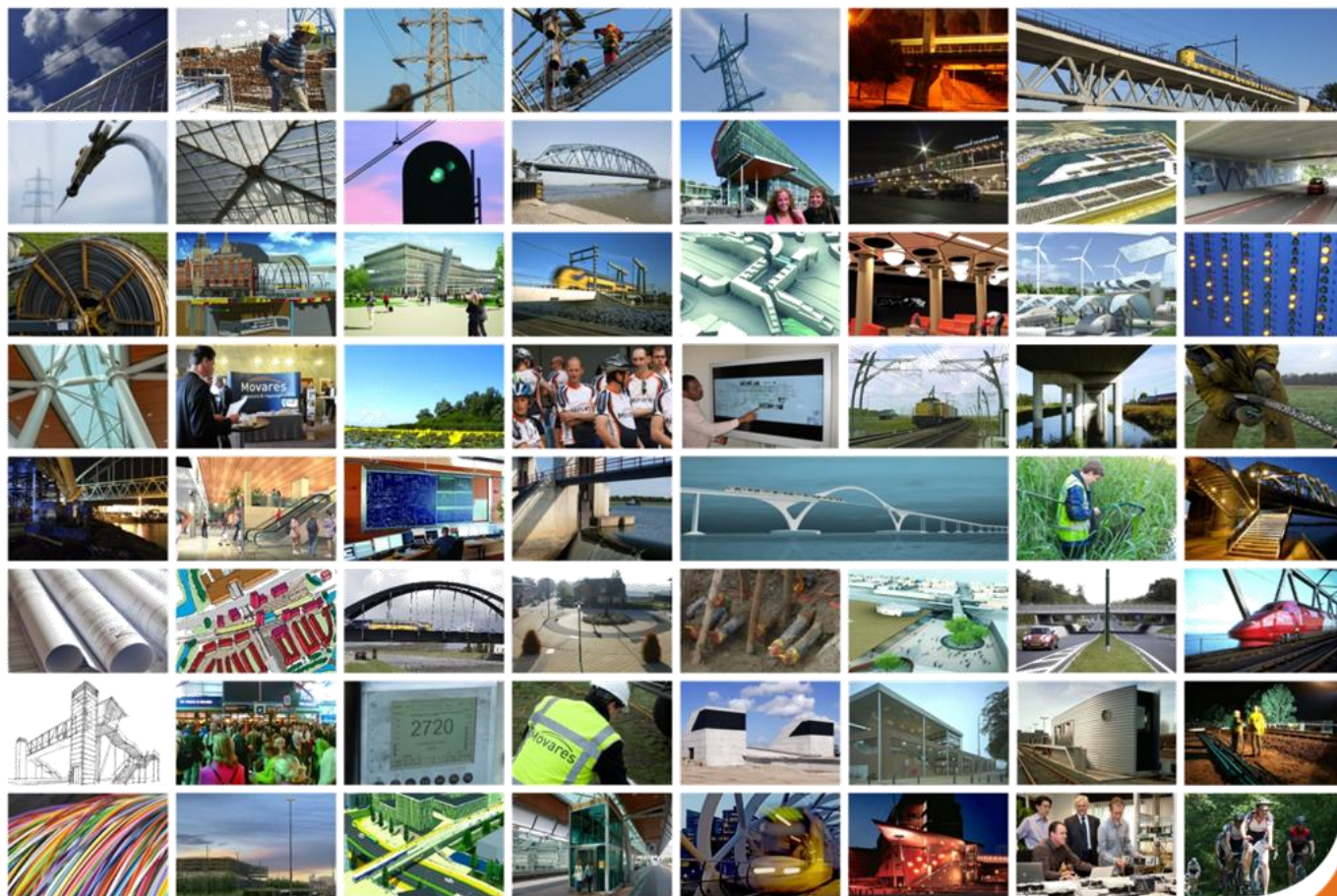




D79-CSM-KA-1700090

23 mei 2017- Versie 2.0

Autorisatieblad

Trillingsonderzoek Ede

Nieuwbouw Park de Blokken

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Sman, CG van der	✓	23-05-2017
Gecontroleerd door	Stuit, HG	✓	23-05-2017
Vrijgegeven door	Stuit, HG	✓	23-05-2017

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Samenvatting

De gemeente Ede is bezig met een bestemmingsplan om woningen te realiseren in het project Park de Blokken, op het terrein rondom Verlengde Blokkenweg 14. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de woningen niet ondenkbaar. In dit onderzoek bepalen we daarom de trillingsbelasting in de geplande woningen in Ede. Indien nodig, geven we vervolgens een advies over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden.

Uit de metingen en daarop gebaseerde trillingsprognoses blijkt dat in een woning met gemiddelde constructieve eigenschappen (50%-waarde) geen trillingshinder te verwachten is. De grenswaarde voor V_{max} wordt echter wel overschreden voor woningen met ongunstige constructieve eigenschappen (95%-waarde), met name door goederentreinen. Overschrijdingen van de streefwaarden in de SBR-B richtlijn zijn daarom niet uit te sluiten.

Op basis van deze resultaten, trekken we de conclusie dat trillingshinder in de te bouwen woningen goed voorkomen kan worden, door tijdens het ontwerp van de woningen rekening te houden met trillingen. We adviseren u de aannemer of projectontwikkelaar als eis mee te geven dat de woningen voldoen aan de streefwaarden voor SBR-B. Wanneer meer details over de constructie van de woningen bekend zijn, is het mogelijk een nauwkeuriger prognose van de trillingsniveaus in de woningen te maken. Met een dergelijke berekening kan dan worden aangetoond dat in de te bouwen woningen aan de streefwaarden volgens SBR-B wordt voldaan. Op die manier borgt u dat de woningen wat betreft trillingen een goed woon- en leefklimaat bieden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Aanpak	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Omgeving	6
2.3 Bouwlocatie	7
2.4 Overige uitgangspunten	8
3 Beoordelingskader	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Grootheden	9
3.3 Streefwaarden	9
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	9
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	10
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	10
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	10
4 Meetresultaten	12
4.1 Inleiding	12
4.2 Meetresultaten	12
5 Analyse en berekeningen	14
5.1 Prognosemethode	14
5.2 Resultaten	17
5.3 Betrouwbaarheid	19
5.4 Voorkomen van trillingshinder	19
6 Conclusies	21
Colofon	22
Mogelijke maatregelen aan de bron	ii
Mogelijke maatregelen aan de transmissie	iii
Mogelijke maatregelen aan de ontvanger	v

Bijlage I – Gegevens van de meting

Bijlage II – Bodemopbouw

Bijlage III - Trillingsmaatregelen

Bijlage IV - Nadere toelichting onderzoeksaanpak en duiding onderzoeksresultaten

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De gemeente Ede is bezig met een bestemmingsplan om woningen te realiseren in het project Park de Blokken, op het terrein rondom Verlengde Blokkenweg 14. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de woningen niet ondenkbaar. ProRail heeft de gemeente Ede hierop geattendeerd:

Omdat woningbouw gepland is dichtbij het spoor kan trillinghinder voor de (toekomstige) bewoners ontstaan vanwege het spoorgebruik. ProRail verzoekt om het aspect trillinghinder voor de geplande woningen vanwege het bestaande gebruik van het spoor te onderzoeken en de uitkomsten mee te nemen bij de vaststelling van het (ontwerp)bestemmingsplan. Verder wordt geadviseerd om in de uitwerking van het plan eisen mee te geven ten aanzien van de constructie van de gebouwen, zodat trillinghinder in de gebouwen vanwege het spoorgebruik, zo min mogelijk wordt ervaren.

In het kader van het vast te stellen bestemmingsplan, heeft u ons gevraagd om een trillingsonderzoek uit te voeren waarmee inzicht wordt gekregen in de volgende onderdelen:

- De verwachte impact van trillingen door treinverkeer op de te realiseren woningen.
- Indien noodzakelijk, mogelijke maatregelen om trillingshinder in de te realiseren woningen te voorkomen.

1.2 Doel

Doel van het huidige onderzoek is om de trillingsbelasting in de geplande woningen in Ede te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden.

1.3 Aanpak

Trillingen van spoorverkeer zijn locatiespecifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van de toekomstige bouwvlakken. In deze meting stellen wij de uitdamping van de trillingen met de afstand vast (hoe verder van het spoor, hoe lager de trillingen). Deze meting heeft een beperkte meetduur van enkele uren;
2. Op basis van de bouwgegevens (aantal bouwlagen, type fundatie), historische meetgegevens over de spreiding in trillingen door treinen en de resultaten van de metingen geven wij vervolgens een advies over de te verwachten trillingshinder in de woningen.
3. Wanneer trillingshinder in de woningen niet uit te sluiten is, geven we globale constructieve richtlijnen om trillingshinder in de woningen te voorkomen.

1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader voor trillingshinder staat beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat een analyse van de meetresultaten en advies t.a.v. globale constructieve maatregelen om trillingshinder te voorkomen. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies.

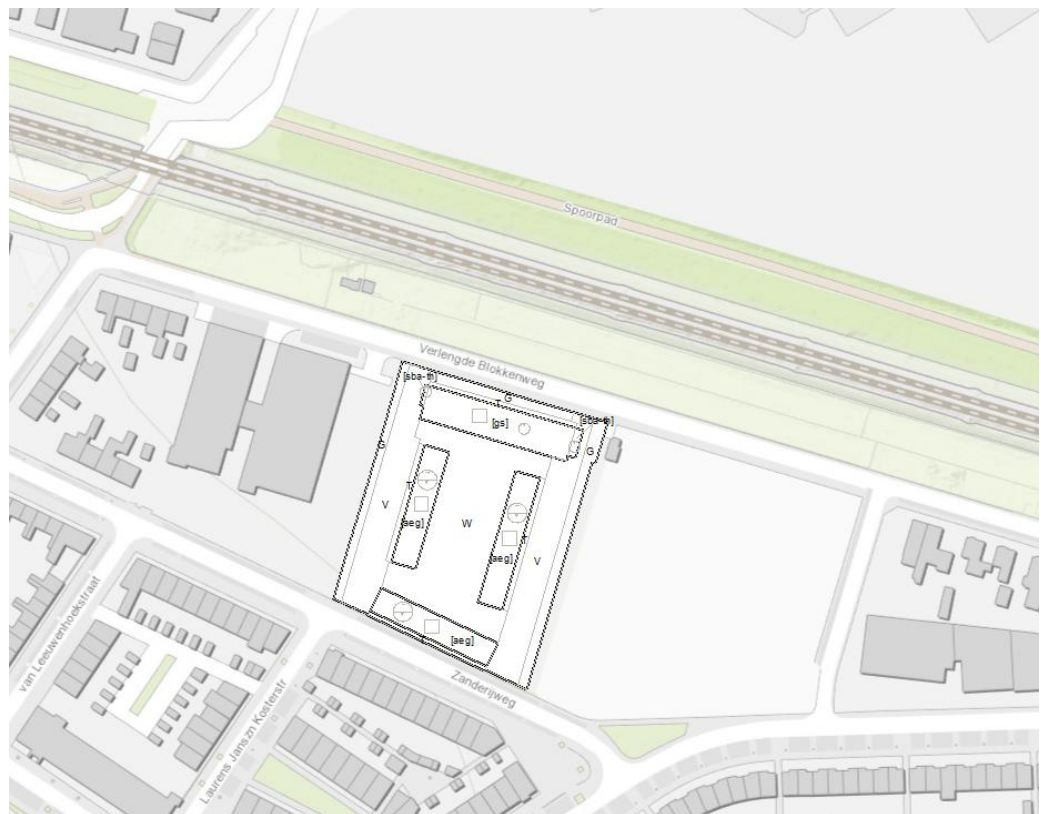
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

2.2 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich langs de spoorlijn Arnhem - Utrecht, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. De kortste afstand van woningen tot het spoor is ongeveer 45 meter.



Figuur 2-1 Plan nieuwbouw Park de Blokken, Ede

De rijsnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1. Op dit traject rijden reizigerstreinen van het type VIRM, ICE en sprinter. De verschillen tussen deze treinen voor het aspect trillingen zijn echter gering. We maken daarom in dit onderzoek alleen onderscheid tussen reizigerstreinen en goederentreinen.

Tabel 2-1 Rijsnelheden treinverkeer

Corridor	Type trein	Snelheid
Arnhem - Utrecht	VIRM (Reizigerstrein)	120 – 140 km/h
	Goederentrein	80 – 100 km/h

Het aantal treinen gedurende dag, avond en nacht op de corridor Arnhem - Utrecht is weergegeven in Tabel 2-2. We gaan hierbij uit van de intensiteiten na de realisatie van het project Ede OV-Knoop, omdat de realisatie van deze wijzigingen vóór het goedkeuren van het bestemmingsplan al bekend zijn.

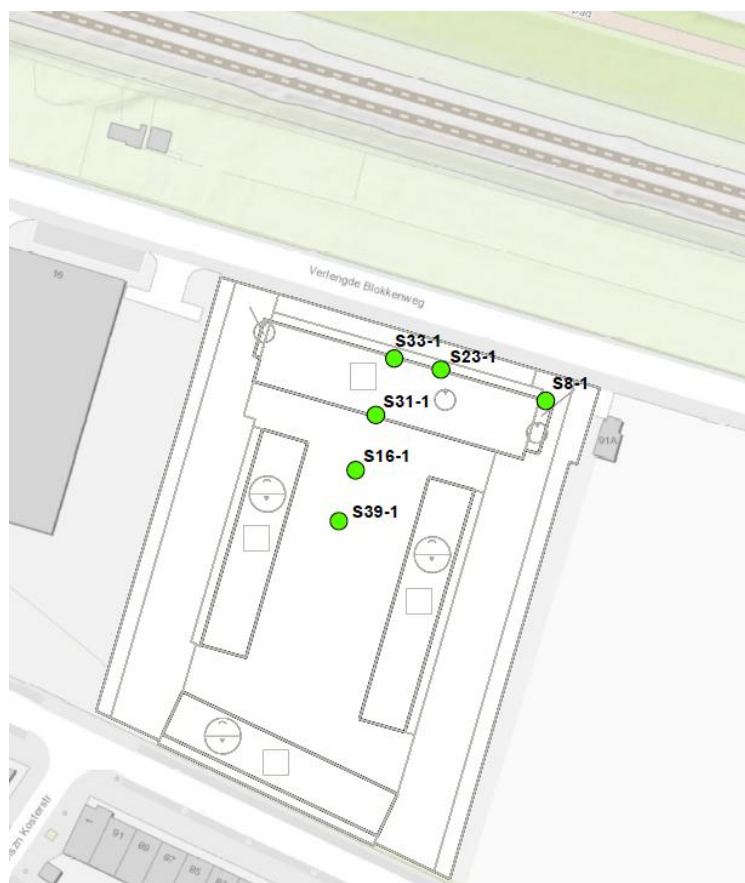
Tabel 2-2 Intensiteiten treinverkeer per uur per richting na realisatie Ede OV-Knoop

Type trein	Dag	Avond	Nacht
Intercity	6.00	6.00	1.93
ICE	1.00	1.00	0.32
Sprinter	2.00	2.00	0.64
Goederentrein	0.07	0.08	0.05

Nabij het onderzoeksgebied bevinden zich geen andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingssterkte. Andere bronnen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

2.3 Bouwlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveldniveau op de locatie van de geplande nieuwbouw aan de Verlengde Blokkenweg. De te bouwen panden liggen op een afstand van minimaal 45 meter tot het dichtstbijzijnde spoor. Het spoor ligt hier op maaiveldniveau. Een overzicht van de locatie met daarop de geplande bouw- en meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. De afstanden van de sensoren tot het dichtstbijzijnde spoor zijn gegeven in Tabel 2-3.



Figuur 2-2 Overzicht van de meetlocatie met de geplande bebouwing en de meetpunten.

Tabel 2-3 *Afstanden sensoren tot het spoor*

Sensornummer	Afstand tot het spoor
23-1	45 m
33-1	45 m
8-1	45 m
31-1	55 m
16-1	65 m
39-1	75 m

De eigenschappen van de bebouwing, gebruikt voor dit onderzoek, staan in Tabel 2-4.

Tabel 2-4 *Eigenschappen bebouwing*

Parameter	Omschrijving
<i>Geplande bebouwing</i>	Maximum bouwhoogte bebouwing dichtst bij spoor: 7 m Maximum bouwhoogte bebouwing loodrecht op spoor: 10 m Fundering op staal
<i>Afstand tot het spoor</i>	45 m

2.4 Overige uitgangspunten

Voor dit onderzoek is verder gebruik gemaakt van de volgende aangeleverde informatie:

- *Tekening E16019, Bestemmingsplan Ede Park de Blokken*, van Gemeente Ede, afdeling Ruimtelijke Ontwikkeling, van 2 maart 2017

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd. Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

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

Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor achten wij schade onwaarschijnlijk op een afstand van 45 meter tot het spoor. Er is daarom niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

3.2 Grootheden

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte V_{max} . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden, zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de $v_{eff, max}$. Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de V_{max} . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit V_{per} , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

3.3 Streefwaarden

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
3. A3, de streefwaarde voor de trillingsintensiteit V_{per} .

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;
3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

3.3.1. Nieuwe of bestaande situatie

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Omdat het om nieuwe gebouwen gaat langs een bestaande spoorlijn, wordt

het onderzoeksgebied beoordeeld als nieuwe situatie, zie par. 10.3 van de SBR B-richtlijn.

3.3.2. Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk.

Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

3.3.3. Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties *Gezondheidszorg*, *Wonen*, *Kantoor*, *Bijeenkomsten* en *Kritische werkruimte*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 voor nieuwe situaties. De huidige onderzoekslocatie heeft bestemming *wonen*, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-1.

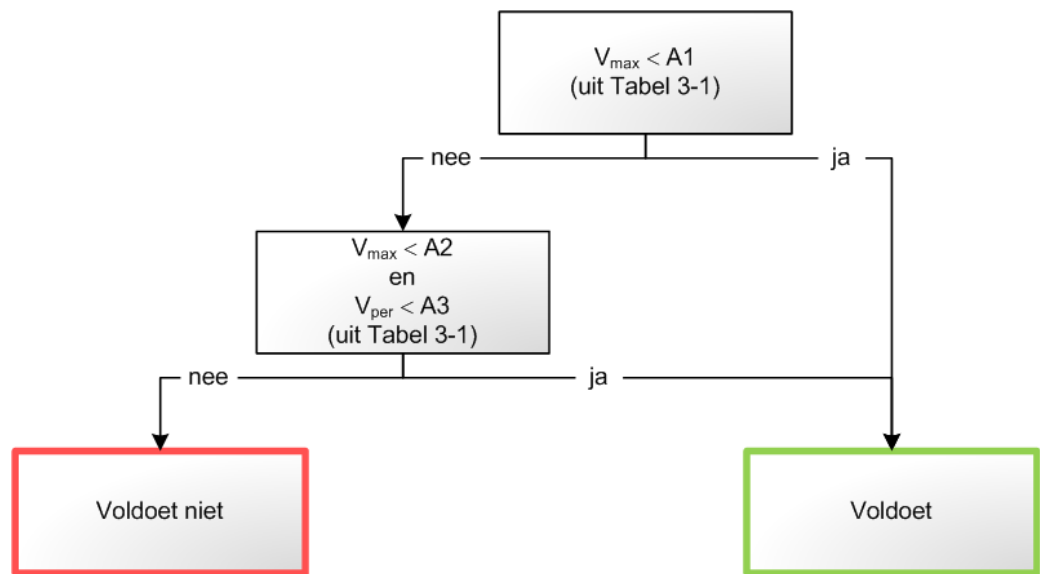
Tabel 3-1 Streefwaarden¹⁾ nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Wonen</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Kantoor</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Bijeenkomsten</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	-.--	0.1	0.1	-.--

¹⁾ Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15, enz.

3.4 Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



Figuur 3-1 Stroonschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

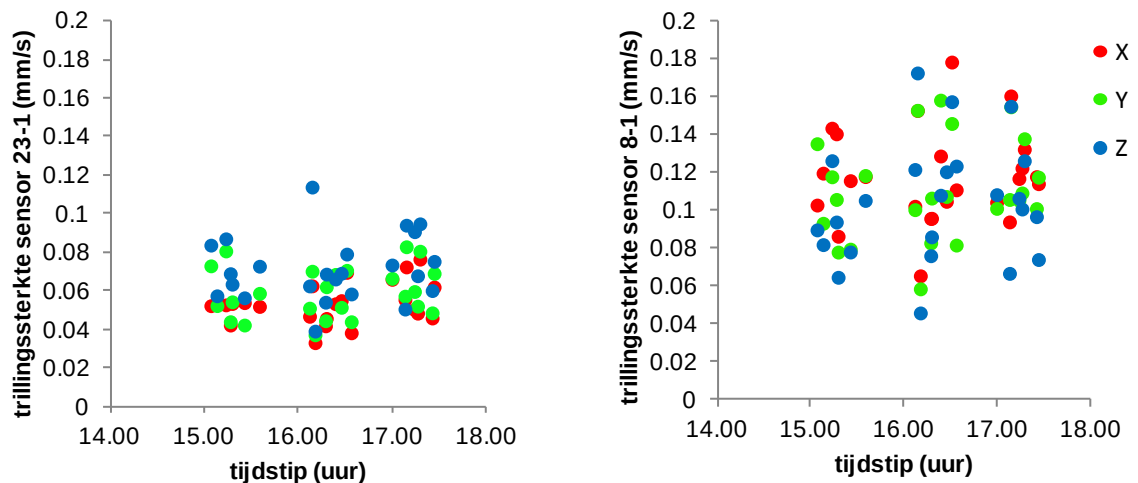
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de meting beschreven. In de meetperiode zijn 24 treinpassages van reizigerstreinen gemeten, er zijn geen goederentreinen gepasseerd.

4.2 Meetresultaten

De gemeten trillingssnelheden van treinen tijdens de meting zijn voor de sensoren het dichtst bij het spoor weergegeven in Figuur 4-1. De meetsignalen van sensor 33-1 bleken onbruikbaar, en zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

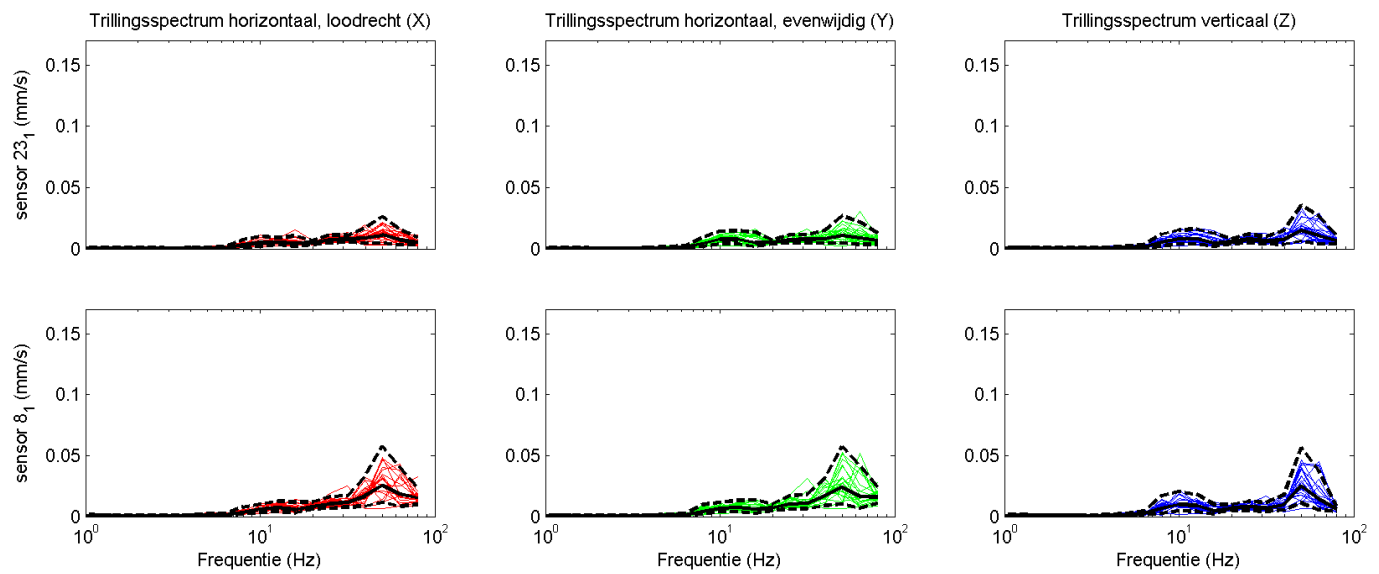
De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).



Figuur 4-1 Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd, voor sensoren 23-1 en 8-1.

Het trillingsspectrum van de gemeten treinen in deze periode is weergegeven in Figuur 4-2. Hieruit blijkt dat de trillingen op maaiveldniveau in alle drie de richtingen vergelijkbaar zijn. Ook zijn hoogfrequente trillingen (> 20 Hz) dominant, maar vanaf 6 Hz is al trillingsenergie aanwezig.



Figuur 4-2 *Trillingsspectra van gemeten treinpassages voor sensor 23-1 en 8-1, het dichtst bij het spoor.*

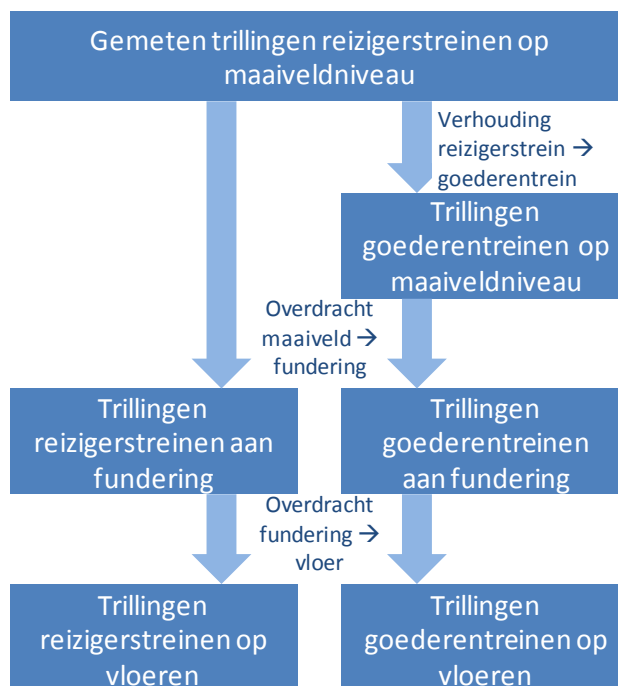
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de meting zijn gecombineerd met informatie over de te bouwen gebouwen, informatie over variatie tussen trillingsniveaus in woningen, toekomstige treinintensiteiten en gegevens over trillingsniveaus van verschillende typen treinen. Hiermee is van elk meetpunt een prognose gemaakt van de trillingssterktes op de vloeren van de nieuwbouwwoningen op die locatie. Bij de prognose maken we onderscheid tussen reizigerstreinen (gemeten) en goederentreinen (niet gepasseerd tijdens de meetperiode). Daarnaast brengen we variatie in woningen in rekening, door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingen in de woningen en geldt voor woningen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar wel reëel. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterkte en geldt voor woningen met ongunstige constructieve eigenschappen.

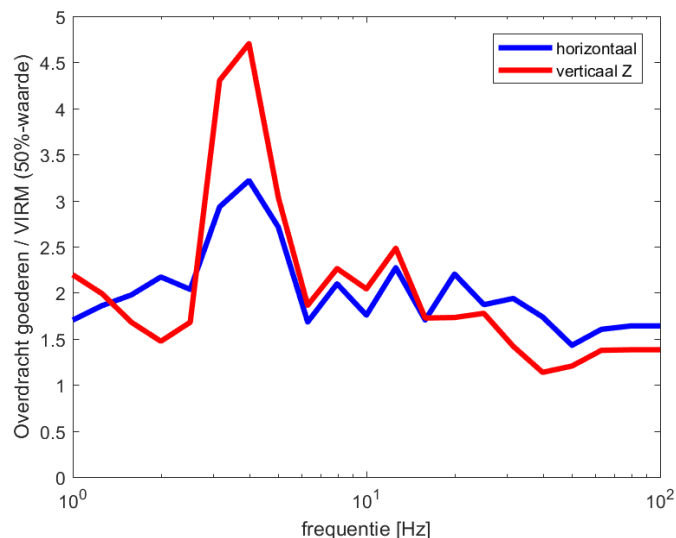
De prognoses zijn per sensor gemaakt volgens het stroomschema in Figuur 5-1. De waarde op de vloer geeft het trillingsniveau op midden vloer recht boven de sensor.



Figuur 5-1 Methode voor bepalen van trillingssterktes op midden vloerveld per sensor.

Tijdens de maaiveldmeting zijn alleen reizigerstreinen gepasseerd. Om trillingen van goederentreinen te bepalen, gebruiken we de gemiddelde verhouding tussen reizigerstreinen en goederentreinen in Figuur 5-2 en passen we een snelheidscorrectie toe. Deze verhouding is gebaseerd op langeduurmetingen, uitgevoerd op verschillende

locaties in Nederland¹. Vervolgens bepalen we op basis van gegevens over de spreiding van trillingsniveaus van goederentreinen de waarde voor een maatgevende goederentrein. Met deze maatgevende goederentrein rekenen we verder.

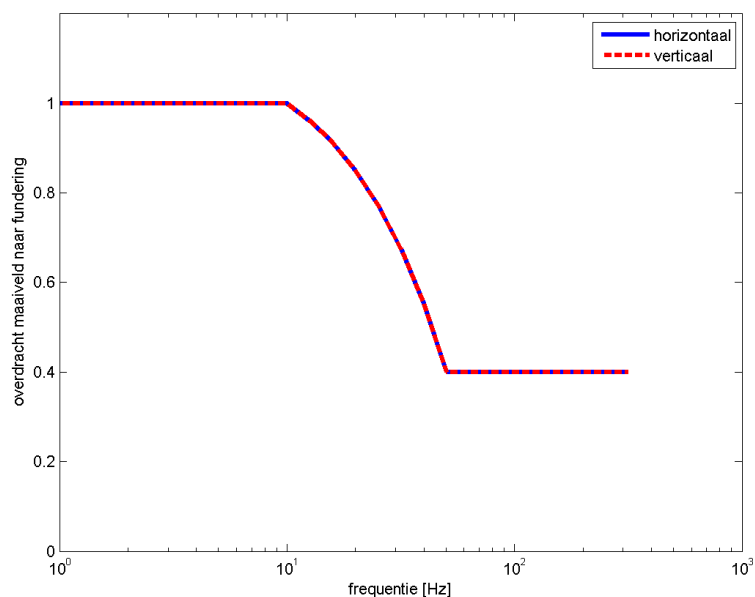


Figuur 5-2 Verhouding tussen trillingen van reizigerstreinen (type VIRM) en goederentreinen, bepaald uit metingen aan treinverkeer.

Een document van VROM² geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering. Deze richtlijnen zijn in dit stadium van het onderzoek geschikt om een voldoende nauwkeurige predictie te maken. Voor een fundering op staal is de overdracht van het maaiveld naar de fundering weergegeven in Figuur 5-3. Deze theoretische waarden komen goed overeen met praktijkwaarden uit metingen, en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden.

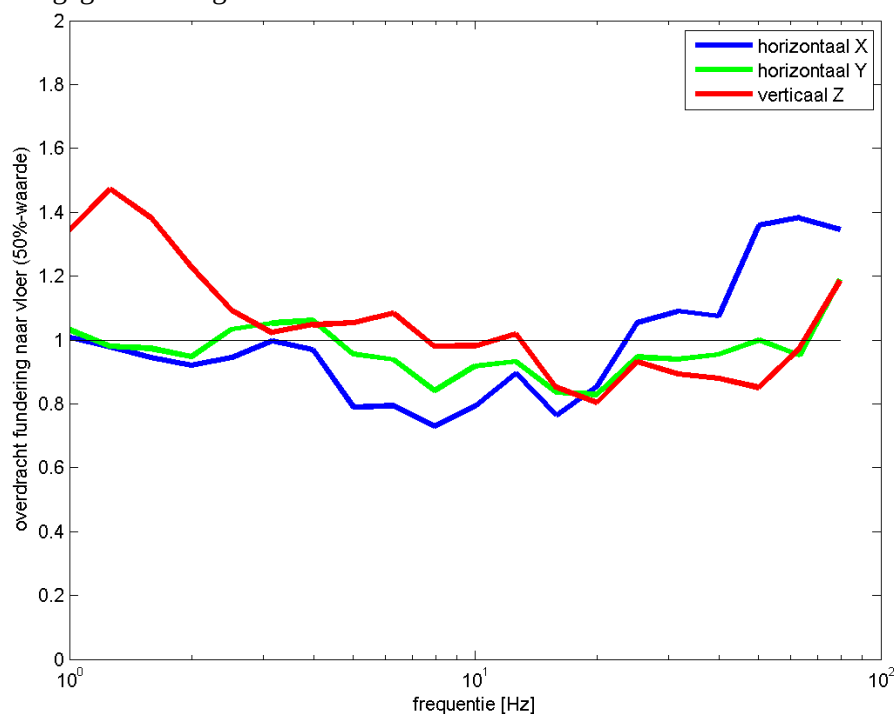
¹ Handleiding trillingsmodel VibraDyna, Movares Nederland B.V, opgesteld door ir. P.M. Boon, februari 2012, GEO-PB-120001945 – Versie 1.0

² Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.

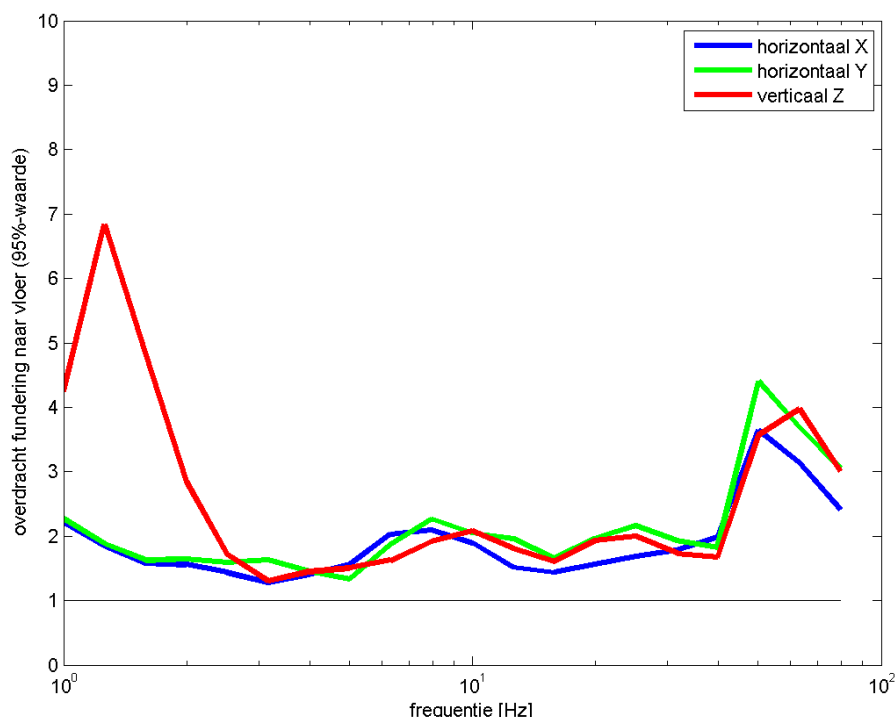


Figuur 5-3 Overdracht van de trillingssterkte van maaiveld naar de fundering voor een fundering op palen.

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van het type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Omdat deze nog niet bekend zijn, baseren we de overdracht (weergegeven als zogenaamd tertsbandspectrum) van fundering naar midden-vloerveld op metingen die we de afgelopen jaren hebben uitgevoerd in woningen met bouwjaren tussen 1975 en heden. De gemiddelde overdracht - gebruikt voor het bepalen van de 50%-waarde - is weergegeven in Figuur 5-4. De 95%-waarde van de overdracht - gebruikt voor het bepalen van de 95%-waarde van de trillingen- is weergegeven in Figuur 5-5.



Figuur 5-4 Gemiddelde overdracht van trillingen van de fundering naar midden vloerveld, bepaald uit metingen in woningen met bouwjaren tussen 1975 en heden.



Figuur 5-5 95%-waarde voor overdracht van trillingen van de fundering naar midden vloerveld, bepaald uit metingen in woningen met bouwjaren tussen 1975 en heden.

5.2 Resultaten

De V_{max} van de trillingen op maaiveld van de twee meest dichtbij gelegen sensoren zijn weergegeven in Tabel 5-1. Overschrijdingen van de streefwaarden zijn oranje gearceerd: op maaiveld zijn de trillingen dus hoger dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.

Tabel 5-1 Meetresultaten en beoordeling op maaiveld

	45 m, maaiveld, sensor 23-1			45 m, maaiveld, sensor 8-1		
	H1	H2	V	H1	H2	V
$V_{max, gemeten}$	0.07	0.08	0.11	0.18	0.16	0.17

Vervolgens is voor alle meetpunten een prognose gemaakt van de trillingssterktes in de woningen op de vloeren. De resultaten van de prognoses zijn samengevat weergegeven in Tabel 5-2 (V_{max}) en Tabel 5-3 (V_{per}). Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn in de tabel oranje gearceerd wanneer er alleen een overschrijding optreedt van de (strengere) streefwaarden voor de nacht, en rood als ook de (minder strenge) streefwaarden voor de dag worden overschreden.

In de resultaten voor de 50%-waarde blijven de trillingen ruim onder de streefwaarden voor V_{per} en V_{max} . In een woning met ‘gemiddelde’ constructieve eigenschappen is dus geen trillingshinder te verwachten. De grenswaarde voor V_{max} wordt echter wel overschreden in de 95%-waarde van de resultaten, zowel voor reizigerstreinen als voor goederentreinen. Overschrijdingen van de streefwaarden in de SBR-B richtlijn zijn

daarom niet uit te sluiten. De trillingssterkte, en daarmee het aantal overschrijdingen van de streefwaarden, neemt af op grotere afstand van het spoor.

Als we kijken naar de 95%-waarden, zijn goederentreinen de voornaamste oorzaak van de overschrijding van de streefwaarde voor V_{max} . Op alle afstanden van het spoor geeft de 95%-waarde van V_{max} voor goederentreinen een overschrijding. De V_{max} van reizigerstreinen overschrijdt de grenswaarde alleen op de locatie het dichtst bij het spoor. De V_{per} wordt alleen overschreden in de woningen het dichtst bij het spoor. De verwachting op basis van deze resultaten is dat wanneer de V_{max} aan de streefwaarden voldoet, ook de streefwaarden voor V_{per} gehaald worden.

Tabel 5-2 Resultaten V_{max} voor reizigerstreinen en goederentreinen, 50%-waarde en 95%-waarde

50% waarde	<i>V_{max}, prognose reizigerstreinen</i>			<i>V_{max}, prognose goederentreinen</i>		
	X	X	X	X	Y	Z
Sensor 23-1, 45 m	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.09
Sensor 8-1, 45 m	0.10	0.07	0.07	0.11	0.08	0.09
Sensor 31-1, 55 m	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07
Sensor 16-1, 65 m	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07
Sensor 39-1, 75 m	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.08
95% waarde	<i>V_{max}, prognose reizigerstreinen</i>			<i>V_{max}, prognose goederentreinen</i>		
	X	X	X	X	Y	Z
Sensor 23-1, 45 m	0.10	0.14	0.18	0.24	0.30	0.41
Sensor 8-1, 45 m	0.24	0.26	0.26	0.47	0.51	0.47
Sensor 31-1, 55 m	0.09	0.10	0.16	0.21	0.23	0.33
Sensor 16-1, 65 m	0.08	0.09	0.13	0.19	0.21	0.32
Sensor 39-1, 75 m	0.08	0.07	0.11	0.15	0.21	0.35

Tabel 5-3 Resultaten V_{per} , 50%-waarde en 95%-waarde

50% waarde	<i>V_{per}, dag</i>			<i>V_{per}, avond</i>			<i>V_{per}, nacht</i>		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Sensor 23-1, 45 m	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sensor 8-1, 45 m	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sensor 31-1, 55 m	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sensor 16-1, 65 m	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sensor 39-1, 75 m	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
95% waarde	<i>V_{per}, dag</i>			<i>V_{per}, avond</i>			<i>V_{per}, nacht</i>		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Sensor 23-1, 45 m	0.01	0.03	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02
Sensor 8-1, 45 m	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04
Sensor 31-1, 55 m	<0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	<0.01	0.01	0.02
Sensor 16-1, 65 m	<0.01	0.01	0.02	<0.01	0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.01
Sensor 39-1, 75 m	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01

5.3 Betrouwbaarheid

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2. Desondanks zijn er een aantal parameters die kunnen leiden tot andere uitkomsten dan zoals boven beschreven:

1. Wijzigingen in de sporenlay-out, het spoorgebruik of de rijsnelheid van de treinen. In dat geval dient ProRail echter trillingsonderzoek uit te voeren;
2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe. In dit onderzoek is al rekening gehouden met de toekomstige treinintensiteiten volgens project Ede OV-Knoop.
3. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer, deze spoorligging hangt samen met de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 15 procent in de trillingen;
4. De prognoses zijn gebaseerd op de gegevens van de bebouwing zoals weergegeven in hoofdstuk 2. Omdat de exacte detaillering van de bebouwing nog niet bekend is, heeft ook dit invloed op het onderzoek. De werkelijke trillingen kunnen daarom zowel iets hoger als iets lager uitvallen.

Bovengenoemde onzekerheden hebben geen grote invloed op de conclusies van het onderzoek, namelijk dat het met de huidige indeling van het bouwvlak mogelijk is te voldoen aan de streefwaarden voor nieuwe gebouwen uit de SBR B-richtlijn.

5.4 Voorkomen van trillingshinder

Uit de prognoses blijkt dat met de gemiddelde verwachte trillingsniveaus – in woningen met gemiddelde constructieve eigenschappen – wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B. De grote variatie in mogelijke bouwtypen resulteert echter in een grote spreiding tussen de 50%-waarde en 95%-waarde. Overschrijdingen van de streefwaarden zijn op basis van de 95%-waarde niet uit te sluiten. Overschrijdingen van de grenswaarden worden voornamelijk veroorzaakt door goederentreinen, overschrijdingen door reizigerstreinen blijven beperkt tot de rijwoningen het dichtst bij het spoor.

Op basis van deze resultaten, trekken we de conclusie dat trillingshinder in de te bouwen woningen voorkomen kan worden, door tijdens het ontwerp van de woningen rekening te houden met trillingen. Om een goed woon- en leefklimaat in de nieuwbouwwoningen te borgen, adviseren we u de aannemer of projectontwikkelaar als eis mee te geven dat de woningen voldoen aan de streefwaarden voor SBR-B.

In Bijlage III staat een overzicht van mogelijke maatregelen om trillingshinder te verminderen. Hieronder noemen we enkele algemene constructieve richtlijnen (of maatregelen) om trillingssterktes in gebouwen te verlagen, die in dit project waarschijnlijk voldoende effectief zijn in het voorkomen van trillingshinder:

- Verkleinen van de maximale overspanning van vloeren: Wanneer vloeren kleinere lengtes overspannen, is de amplitude van de bewegingen van het midden van de vloeren kleiner. Dit heeft een positief effect op het verlagen van trillingen.
- Eigenfrequentie van vloeren <8 Hz of >12 Hz: Als de eigenfrequentie van de vloeren samenvalt met de dominante frequentie van passerende treinen, worden trillingen extra versterkt. In dit geval moet de eigenfrequentie van de vloeren daarom lager dan 8 Hz of hoger dan 12 Hz gekozen worden, .
- Fundering op trillingsisolatie: Door de fundering in te pakken met dempende materialen, zoals rubber, worden trillingen minder goed overgedragen van

maaiveld naar de fundering. Daarmee verlagen de trillingsniveaus in de woningen.

- Keuze voor vloeren met hogere demping: Door te kiezen voor vloeren met een hogere demping, worden de trillingen minder versterkt rond de eigenfrequentie. Daardoor zal er sprake zijn van lagere trillingsniveaus in de woningen.

Wanneer meer details over de constructie van de woningen bekend zijn, is het mogelijk een nauwkeuriger prognose van de trillingsniveaus in de woningen te maken, voor de bouw start. Met een dergelijke berekening aan het ontwerp kan dan worden aangetoond dat de te bouwen woningen, met de getroffen maatregelen, voldoen aan de streefwaarden volgens SBR-B.

Bij trillingsonderzoeken wordt gesproken over doelmatige maatregelen als de maatregelen de trillingen tot onder de streefwaarden terugbrengen, en de maatregelen gezien de beoogde effectiviteit een aanvaardbaar kostenniveau hebben. Met bovenstaande richtlijnen lijkt het mogelijk om tegen relatief lage kosten te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-B. Wanneer uit gedetailleerdere berekeningen blijkt dat de woningen niet voldoen aan de streefwaarden, zijn aanvullende zwaardere (maar kostbare) maatregelen nog mogelijk. Een overzicht hiervan staat in Bijlage III.

6 Conclusies

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de trillingen in nieuw te bouwen woningen in Ede – Park de Blokken vast te stellen. Uit de trillingsprognoses blijkt dat de verwachte trillingssterktes (50%-waardes) in de woningen voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Overschrijdingen van deze streefwaarden zijn echter niet zijn uit te sluiten op basis van de berekende 95%-waardes.

Door tijdens de verdere planuitwerking rekening te houden met trillingen is trillingshinder goed te voorkomen. We adviseren u daarom de aannemer of projectontwikkelaar als eis mee te geven dat de te bouwen woningen voldoen aan de streefwaarden volgens de SBR-B. De grote variatie in mogelijke bouwtypen resulteert in een grote spreiding tussen de 50%-waarde en 95%-waarde. Wanneer meer details over de constructie van de woningen bekend zijn, is het mogelijk een nauwkeuriger prognose van de trillingsniveaus in de woningen te maken. Met een dergelijke berekening kan dan worden aangetoond dat in de te bouwen woningen aan de streefwaarden volgens SBR-B wordt voldaan. Daarmee is een aanvaardbaar woon- en leefklimaat wat betreft trillingen geborgd.

Enkele algemene constructieve richtlijnen (of maatregelen) om trillingssterktes in gebouwen te verlagen, zijn als volgt:

- Verkleinen van de maximale overspanning van vloeren: Wanneer vloeren kleinere lengtes overspannen, is de amplitude van de bewegingen van het midden van de vloeren kleiner. Dit heeft een positief effect op het verlagen van trillingen.
- Het verstijven van vloeren en muren: In stijvere vloeren en muren zijn de trillingsamplitudes kleiner dan in slappe vloeren en muren. Verstijven van vloeren en muren draagt daardoor bij aan het verlagen van trillingssterktes in woningen.
- Inpakken van de fundering met een dempend materiaal: Door de fundering in te pakken met dempende materialen, zoals rubber, worden trillingen minder goed overgedragen van maaiveld naar de fundering. Daarmee verlagen de trillingsniveaus in de woningen.
- Keuze voor vloeren met hogere damping: Door te kiezen voor vloeren met een hogere damping, worden de trillingen minder versterkt rond de eigenfrequentie. Daardoor zal er sprake zijn van lagere trillingsniveaus in de woningen.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Ede
dhr. Rikkert Snitselaar

Uitgave Movares Nederland B.V.

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

Utrecht

Telefoon +31 (0)30-265 3661

Ondertekenaar HG Stuit
Consultant

Projectnummer RM004961

Kenmerk D79-CSM-KA-1700090

© 2017, Movares Nederland B.V.

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

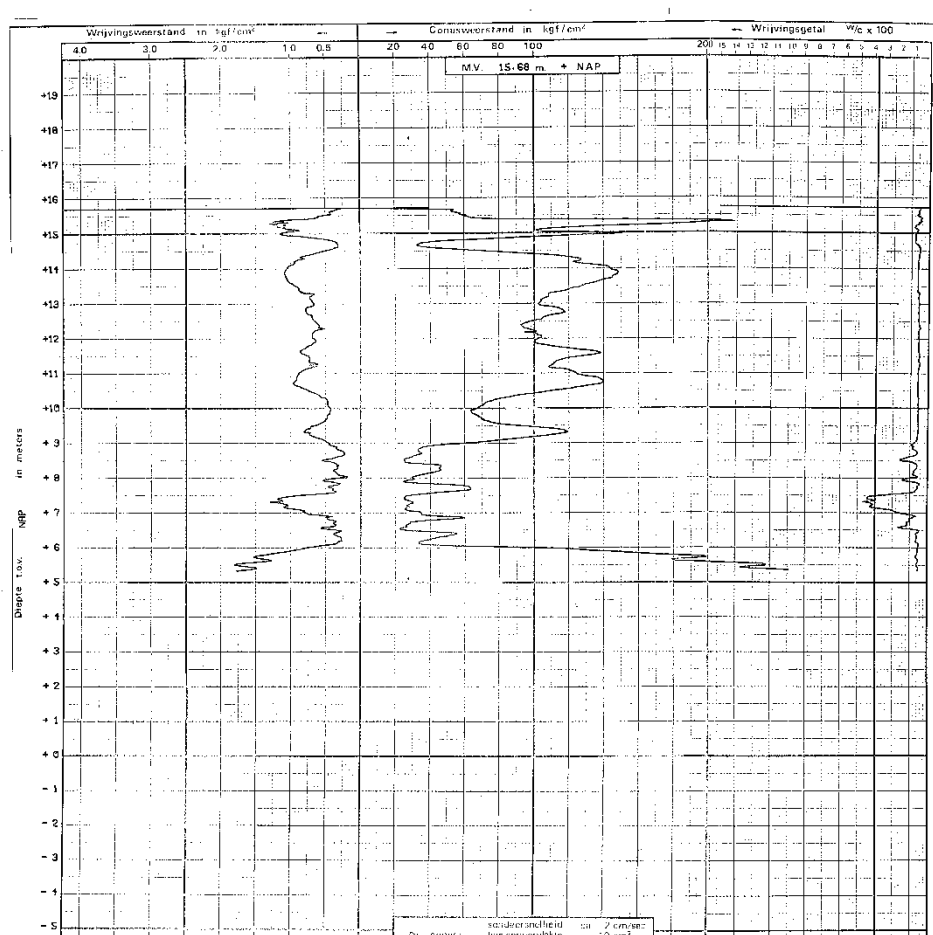
Bijlage I – Gegevens van de meting

Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de meting.

Locatie		Ede, Verlengde Blokkenweg 14
1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511SX Utrecht
	Verantwoordelijk persoon	Ir. Charley van der Sman e-mail: charley.vd.sman@movares.nl tel: 06-30657612
2	Meting uitgevoerd	Ir. Bram Smit
3	Tijdspanne meting	13 april 2017
4	Type trillingsbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Zie hoofdstuk 2
6	Locatie metingen	Zie hoofdstuk 2
7	Geotechnische gegevens	Zie bijlage II
8	Meetposities	Zie hoofdstuk 2
9	Gebruikte meetopnemers	Sensor 8-1 (SP151029/08), kalibratie is geldig tot 16-06-2017 Sensor 16-1 (SP161211/16_1), kalibratie is geldig tot 30-07-2018 Sensor 23-1 (SP161211/23_1), kalibratie is geldig tot 30-07-2018 Sensor 31-1 (SP161211/31_1), kalibratie is geldig tot 30-07-2018 Sensor 39-1 (SP161211/39_1), kalibratie is geldig tot 30-07-2018
	Gebruikte registratieapparatuur	Webcam gekoppeld aan meetcomputer
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	USB-DUX met Raspberry PI
10	Overzicht meetwaarden	Zie hoofdstuk 4
11	Motivatie classificatie gebouw	n.v.t.
12	Overzicht relevante omstandigheden	Zie hoofdstuk 2

Bijlage II – Bodemopbouw

De bodemopbouw – zandlagen - is weergegeven in Figuur II - 1. Deze sondering is gemaakt in de buurt van de meetlocatie en is beschikbaar via het DinoLoket onder sonderingsnummer S39F00029.



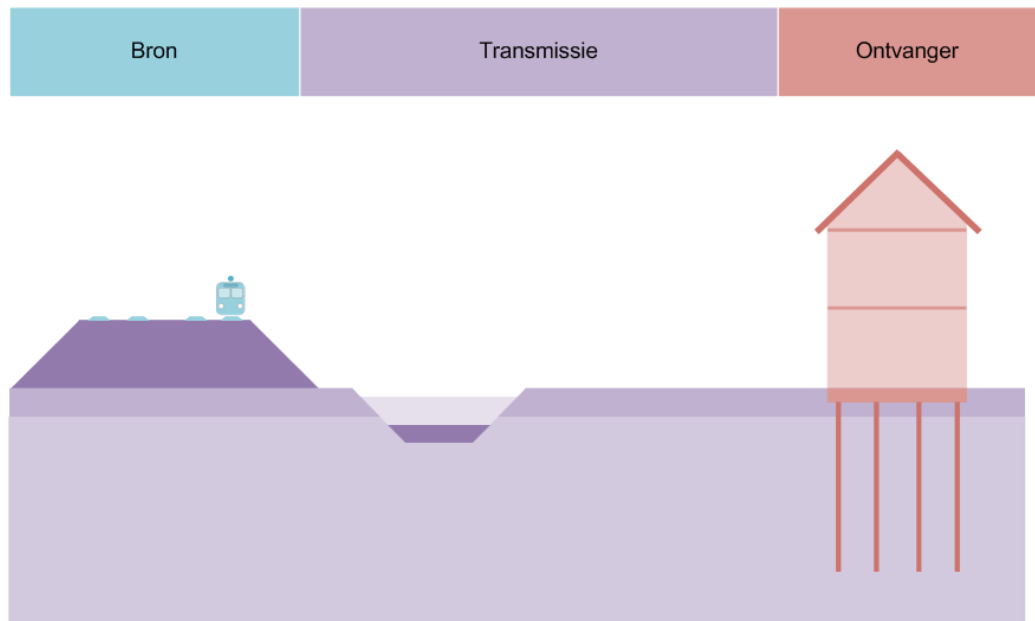
Figuur II - 1 Sondering in de buurt van de meetlocatie

Bijlage III - Trillingsmaatregelen

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

1. Bij de bron (treinen³ 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 III-1.



Figuur III-1 Schematisch overzicht spoorstelsel

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

Er zijn twee mogelijke principes om de trillingshinder te reduceren:

- Het verhogen van de impedantie van de aangestoten constructie (de mate waarin een constructie in beweging kan worden gebracht). Dit kan bijvoorbeeld door het verhogen van de stijfheid van de constructie of het vergroten van de massa;
- 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 ten gevolge van treinverkeer moeilijk, zeker als de trillingen afkomstig zijn van goederentreinen. 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.

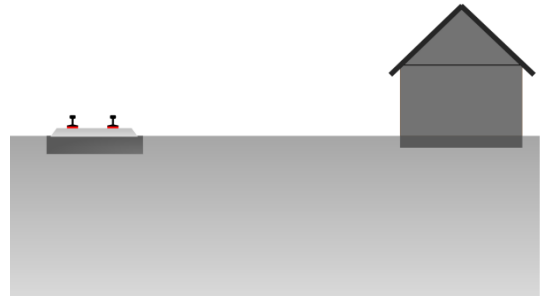
³ ProRail noch het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) kan spoorwegondernemingen dwingen om ander materieel te rijden of bepaalde vervoerders snelheidsbeperkingen op te leggen. Hoewel deze maatregelen dus effectief kunnen zijn, zijn dit momenteel juridisch gezien geen maatregelen die kunnen worden ingezet.

Verschillende types maatregelen worden in de onderstaande subparagrafen nader toegelicht.

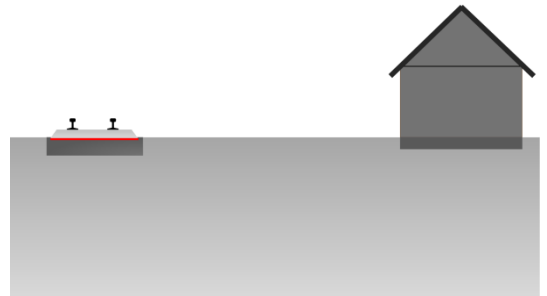
Mogelijke maatregelen aan de bron

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

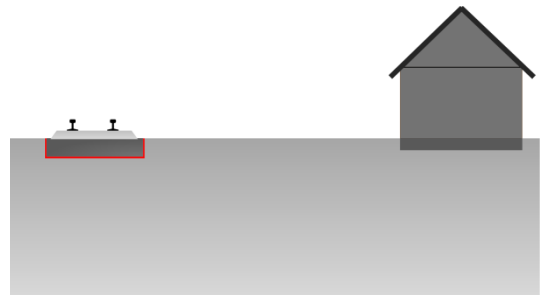
Railpads, een verende constructie tussen spoorstaaf en dwarsligger, vaak in de vorm van een rubberen plaat. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 40 Hz en is daardoor onvoldoende effectief voor goederentreinen, waarbij de dominante frequentie vaak tussen de 3 en 10 Hz ligt.



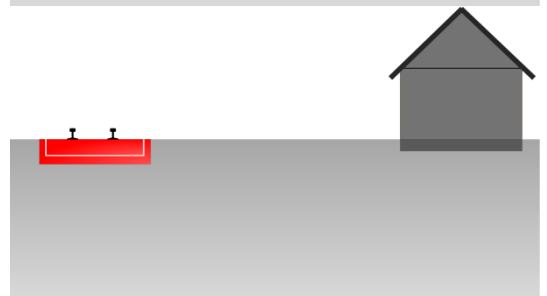
Under sleeper pads, een verende constructie tussen dwarsligger en ballast of betonplaat, vaak in de vorm van een rubberen plaat. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 25 Hz, en is daardoor onvoldoende effectief voor goederentreinen.



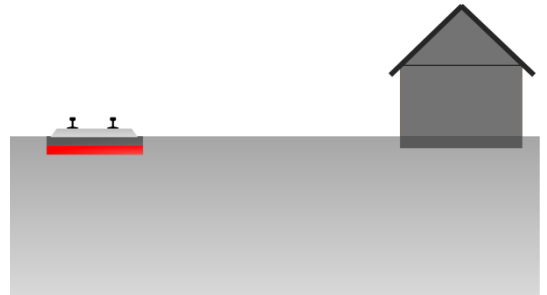
Ballastmatten, een verende constructie onder het ballast, vaak in de vorm van een rubberen mat. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 20 Hz, en is daardoor onvoldoende effectief voor goederentreinen.



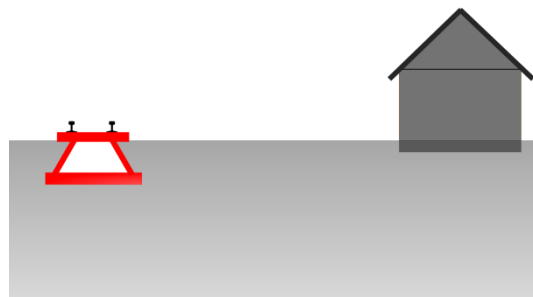
Floating slab track, een verende oplegging van het gehele spoorstelsel. Deze maatregel heeft effect bij frequenties boven de 5 Hz, en kan daardoor voldoende effectief zijn voor goederentreinen. Het effect hangt sterk af van de gekozen constructie (eigenfrequentie en demping).



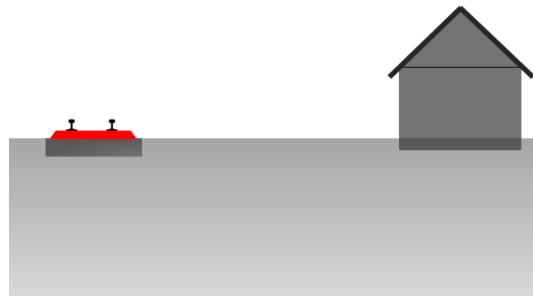
Slab track, een betonplaat onder het ballast. Deze maatregel heeft vaak alleen effect bij lage frequenties en een slappe bodem door de minimalisatie van zettingsverschillen in het spoor.



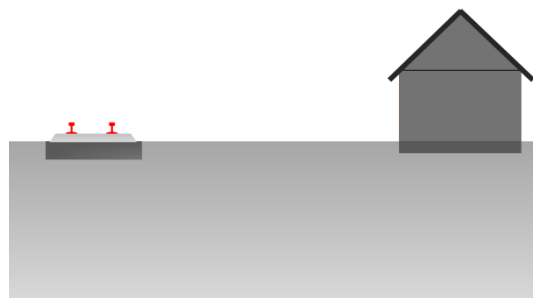
Decktrack, een betonnen constructie onder het spoor. Deze maatregel is vergelijkbaar met een slab track en heeft doorgaans alleen effect bij lage frequenties en een slappe bodem door de minimalisatie van zettingsverschillen in het spoor.



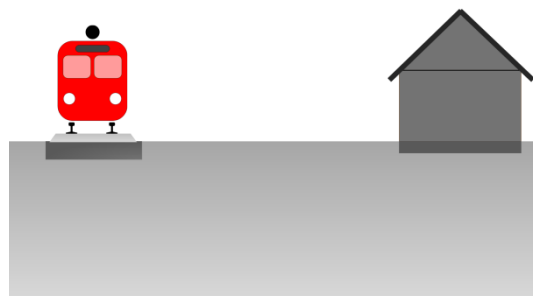
Aanpassing dwarsliggers, door de stijfheid of massa van de dwarsliggers aan te passen (grotere dwarsliggers, ander materiaal, holle dwarsliggers, etc.) kunnen de trillingen worden gereduceerd. Deze maatregel hebben effect bij frequenties boven de 8 Hz, en is daarom meestal onvoldoende effectief voor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



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.



Mogelijke maatregelen aan de transmissie

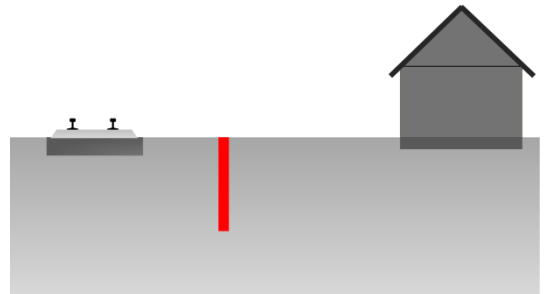
Bij maatregelen aan de transmissie (of de overdracht) kan reductie van trillingshinder worden bereikt door de trillingen te absorberen of te reflecteren. Absorptie van trillingen is praktisch vrijwel niet uitvoerbaar, reflectie van trillingen kan worden bereikt door het introduceren van een fysieke barrière tussen de bron en de ontvanger. Een dergelijke barrière kan worden gerealiseerd met een zeer licht materiaal zoals EPS⁴ (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

⁴ EPS is een kunststof bestaande uit geëxpandeerd polystyreen, in de volksmond bekend als piepschuim.

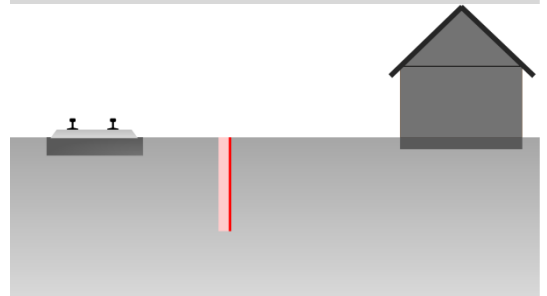
ontwerpen van maatregelen aan de transmissie dient daarom altijd locatiespecifiek te worden uitgevoerd, zodat de lokale bodemkarakteristieken worden meegenomen.

Mogelijke transmissiemaatregelen zijn onder meer:

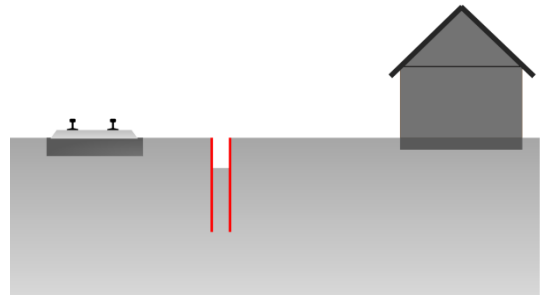
Ondergrondse trillingsreducerende constructie (OTC), bijvoorbeeld van beton of EPS. Een dergelijke constructie kan de trillingen absorberen (bij een zware constructie) of reflecteren, waardoor er een barrière ontstaat tussen bron en ontvanger.



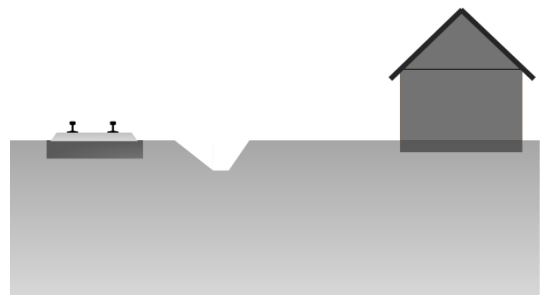
Beklede ondergrondse trillingsreducerende constructie (beklede OTC), waarbij de barrière wordt voorzien van een extra laag slap materiaal, bijvoorbeeld rubber, om een extra impedantiesprong te creëren. Deze maatregel heeft doorgaans meer effect dan een niet-beklede barrière.



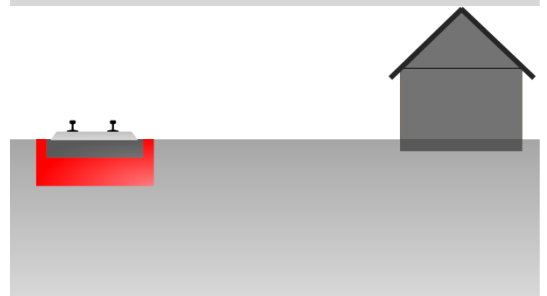
Toepassen van een sleuf en damwand(en), bij deze constructie wordt een smalle sloot of EPS-constructie gerealiseerd naast een of tussen twee damwanden. De verschillende materialen zorgen voor impedantiesprongen, waardoor reflectie van de trillingsgolven optreedt.



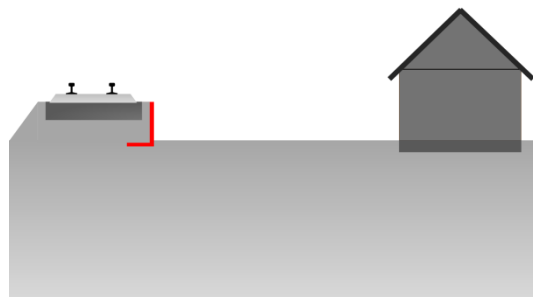
Sloot, hierbij wordt een fysieke onderbreking gecreëerd in het pad van de trillingen tussen bron en ontvanger.



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



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



Voor al deze maatregelen geldt dat het effect voor reizigerstreinen groter is dan voor goederentreinen. Afhankelijk van de lokale bodemopbouw kunnen de maatregelen ook effect hebben voor goederentreinen. Het effect van een maatregel wordt daarom altijd frequentieafhankelijk doorgerekend, om rekening te houden met dit verschil in effect.

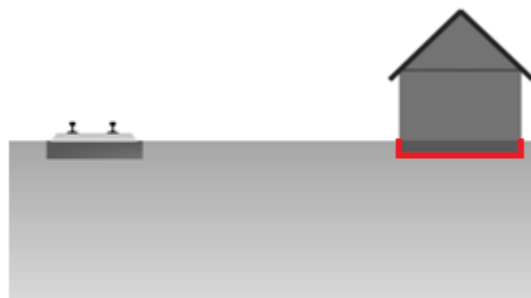
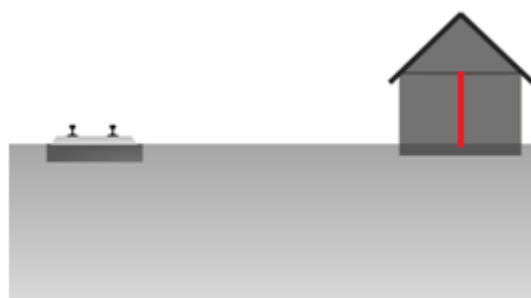
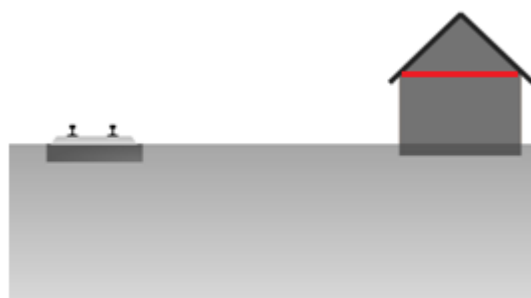
Mogelijke maatregelen aan de ontvanger

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:

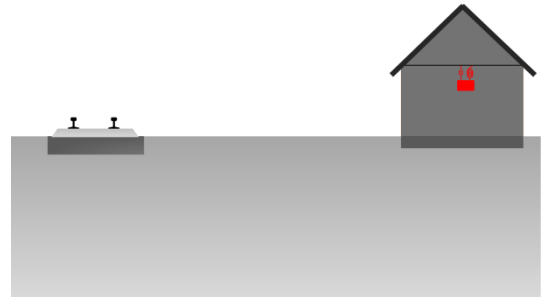
Verstijven of verslappen van vloeren en wanden, waardoor de eigenfrequentie van de vloeren en wanden verandert. Wanneer de eigenfrequentie van de woning samenvalt met de dominante frequentie van trillingen uit de bron, worden deze extra versterkt. Het veranderen van de eigenfrequentie van de vloeren en wanden kan trillingshinder daarom reduceren.

Overspanning vloeren aanpassen, waardoor de eigenfrequentie van de vloeren verandert. Wanneer de eigenfrequentie van de woning samenvalt met de dominante frequentie van trillingen uit de bron, worden deze extra versterkt. Het veranderen van de eigenfrequentie van de vloeren kan trillingshinder daarom reduceren.

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



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



Bijlage IV - Nadere toelichting onderzoeksaanpak en duiding onderzoeksresultaten

- De prognoses voor trillingsniveaus op de verdiepingsvloeren liggen in de lijn der verwachtingen. In metingen aan woningen op gelijke afstand op het spoor en met vergelijkbare grondopbouw als in Ede vinden we trillingsniveaus vergelijkbaar met de waarden in dit rapport. De waarden zijn dus normale waarden voor woningen langs het spoor.
- De verwachting is dat er geen overschrijdingen van de streefwaarden uit de SBR-B zullen optreden. Maar omdat er op dit moment nog weinig bekend is over de exacte constructiewijze, is er de onzekerheid in de verwachte trillingsniveaus nog hoog. In het worst-case-scenario zijn overschrijdingen door passages van goederentreinen daarom op dit moment nog niet uit te sluiten. Zelfs in het geval van het worst-case-scenario is de frequentie waarmee overschrijdingen van de streefwaarde voorkomt echter laag: er passeren weinig goederentreinen en slechts een gedeelte van de goederentreinen veroorzaakt trillingen die hoger zijn dan de streefwaarde. Tijdens de verdere ontwerputwerking, als er meer bekend wordt over de constructiewijze, kan de trillingsprognose worden geactualiseerd om te komen tot een nauwkeuriger trillingspredictie. Op die manier is het effect van ontwerpkeuzes op trillingsniveaus inzichtelijk te maken en kan in de ontwerpfase worden geborgd dat de te bouwen woningen aan de streefwaarden volgens SBR-B voldoen.
- Het aantal passerende goederentreinen in Ede is heel gering. Voor een meting met voldoende nauwkeurigheid is een meetduur van ca. 3 maanden noodzakelijk. Dergelijke inspanningen (qua tijd en geld) staan niet in relatie tot de daarmee bereikbare toename in de nauwkeurigheid van de predicties. Het onderzoek is uitgevoerd in lijn met andere onderzoeken, en gebaseerd op de meest recente inzichten op het gebied van trillingen. In het onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de verhouding tussen goederen- en reizigerstreinen van het type VIRM, deze verhouding is door ons op meerdere locaties in Nederland gemeten. Van deze verhouding kennen we zowel de verwachtingswaarde als de spreiding (die o.m. afhankelijk is van variaties in bodem- en spooropbouw en goederentreintype). Op een zandbodem zoals in Ede is deze verhouding goed bekend (op basis van langdurige onderzoeken langs de spoorlijn Utrecht-Arnhem), en op basis daarvan meegenomen in het onderzoek. We gebruiken daarbij zowel de verwachtingswaarde als de bovengrens, op basis van de gemeten spreidingsniveaus. Dit levert een predictie op die voldoende nauwkeurigheid kent voor bijv. bestemmingsplannen. Vanzelfsprekend levert een langdurige meting aan goederentreinen een predictie op met minder onzekerheid, maar hier staan grote onderzoeksinspanningen tegenover.
- Er zijn metingen met meerdere sensoren uitgevoerd, waarbij de worst-case resultaten zijn gebruikt voor de conclusies. Op deze manier wordt de trillingssterkte niet onderschat. In de verdere bouwkundige uitwerking van het plan kan op een hoger detailniveau naar trillingen in de constructie gekeken worden en kunnen – indien nodig – doeltreffende maatregelen worden getroffen om te voldoen aan de richtlijnen uit de SBR-B richtlijn.

