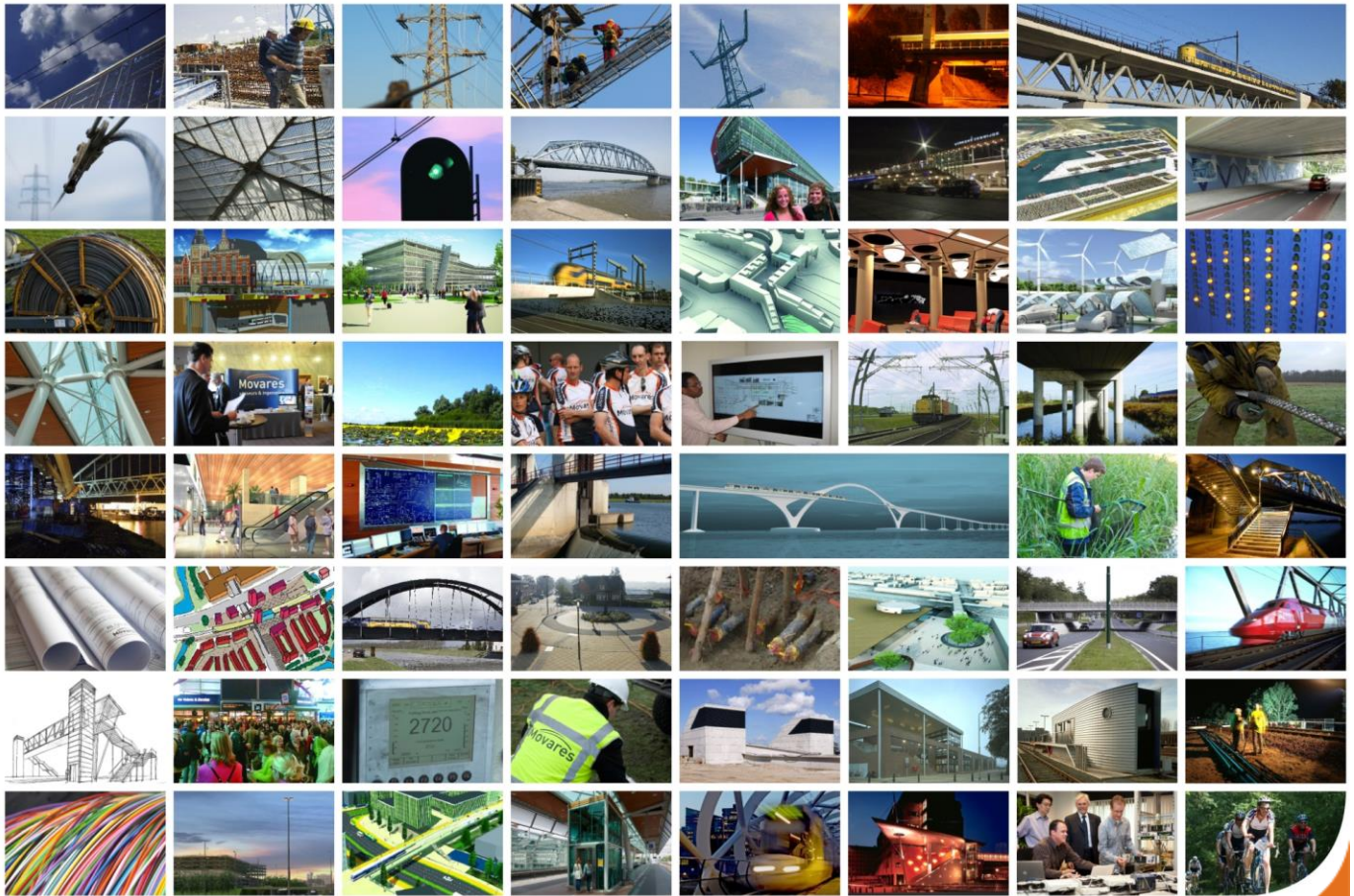




18 mei 2020 - Versie 4.0

Autorisatieblad

Plangebied Dorst-Oost

Verkenkend onderzoek trillingen door railverkeer

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	██████	✓	8-03-2021
Gecontroleerd door	██████	✓	9-03-2021
Vrijgegeven door	██████████	✓	9-03-2021

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

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	Auteur: ██████. Controle: ██████ Vrijgave: ██████	29-05-2019	Eerste eindversie aan opdrachtgever.
1.3	Wijzigingen: ██████. Controle: ██████. Vrijgave: ██████.	31-03-2020	Eerste conceptversie na 1.0 aan opdrachtgever. Commentaar van Ruimte voor Ruimte en gemeente Oosterhout verwerkt.
1.4	Wijzigingen: ██████. Controle: ██████ Vrijgave: ██████.	21-04-2020	Definitieve versie, met versienummer 2.

3	Aanpassing: [REDACTED]. Controle: [REDACTED]. Vrijgave: [REDACTED].	18 mei 2020	Laatste wijzigingen.
4	Aanpassing: [REDACTED]. Controle: [REDACTED]. Vrijgave: [REDACTED].	8 mrt 2021	Correctie tekstfout in conclusie.

Samenvatting

In opdracht van Ruimte voor Ruimte CV heeft Movares voor het plangebied Dorst-Oost een onderzoek naar trillingen door railverkeer uitgevoerd.

Ruimte voor Ruimte ontwikkelt in de gemeente Oosterhout het plangebied Dorst-Oost te Dorst. Het gaat om een gebied van circa 10 hectare, waar maximaal 160 woningen worden gerealiseerd. Het betreft een gedifferentieerd programma van rijwoningen, twee-onder-één-kapwoningen en kavels voor vrijstaande woningen. Het plangebied is gelegen nabij de spoorlijn Breda-Tilburg.

Doel van het huidige onderzoek is bepalen van de trillingsbelasting als gevolg van railverkeer in de geplande woningen, vaststellen of maatregelen nodig zijn en, indien nodig, een advies geven over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden. Hiervoor heeft Movares metingen en berekeningen uitgevoerd.

Op basis van metingen op maaiveldniveau op de geplande bouwlocatie is een prognose gemaakt van de verwachten trillingsniveaus op midden vloerveld in de woningen. De resultaten zijn getoetst aan de streefwaarden uit de richtlijn SBR-B. Ook is een kwalitatieve beoordeling van de kans op schade als gevolg van trillingen door railverkeer uitgevoerd aan de hand van de richtlijn SBR-A.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan, zonder maatregelen, een overschrijding van de streefwaarden voor trillingshinder in de woningen in het plangebied niet worden uitgesloten. Dit komt vooral doordat er relatief hoge trillingen ontstaan in de bodem door de passerende treinen en doordat deze trillingen (met name rond 10 Hz) slecht uitdoven met toename van de afstand.

Het is daarom nodig om maatregelen te treffen. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- 1) Afveren van de woningen, inclusief het toevoegen van damping aan veren tussen de woning en de fundering.
- 2) Toepassen van een trillingsscherm (of een vergelijkbare maatregel tussen het spoor en de woningen).
- 3) Indien geen trillingsmaatregelen worden getroffen: niet bouwen binnen 100 à 200 m vanaf het spoor, afhankelijk van het type woning.

Uit deze mogelijkheden adviseren wij: afveren van de woningen, inclusief het toevoegen van damping aan veren tussen de woning en de fundering. De tweede optie, een trillingsscherm, adviseren wij niet, vanwege de nadelen van deze maatregel. De derde optie, niet bouwen binnen 100 à 200 m van het spoor, is strijdig met het plan van Ruimte voor Ruimte.

Daarnaast is het van belang om de volgende stelregels te hanteren:

1. Beperk de vloeroverspanningen. Pas bij grote vloeroverspanningen stijvere vloeren toe (bijv. breedplaatvloeren). Vermijd sowieso de toepassing van houten vloeren, en ook combinatievloeren worden afgeraden door de geringere stijfheid van dit vloertype.
2. Vermijd houtskeletbouw of vliesgevels, deze hebben een relatief slappe constructie waardoor de trillingen in de woning worden versterkt.
3. Constructies van het in het werk gestort beton hebben de voorkeur boven prefab constructiemethodes, omdat de dynamische stijfheid van in het werk gestorte constructies hoger is, waardoor de trillingen minder goed worden doorgegeven.

Schade aan de nieuw te bouwen woningen als gevolg van de trillingen is niet aannemelijk.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Aanpak	5
1.4 Leeswijzer	6
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Plangebied	7
2.3 Meetposities	8
2.4 Geplande bebouwing	8
3 Beoordelingskader	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Grootheden	10
3.3 Streefwaarden	11
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	11
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	11
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	11
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	12
4 Meetresultaten	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Meetresultaten	13
4.3 Verkeersgegevens	14
5 Analyse en berekeningen	15
5.1 Prognosemethode	15
5.1.1. <i>Overdracht tussen meetpunten</i>	16
5.1.2. <i>Overdracht in gebouwen</i>	17
5.2 Resultaten	18
5.2.1. <i>Verwachte trillingen in woningen</i>	18
5.2.2. <i>Bovengrens trillingen in woningen</i>	19
5.3 Betrouwbaarheid	20
5.3.1. <i>Afweging</i>	20
5.3.2. <i>Aanvullende maatregelen</i>	20
5.3.3. <i>Kwalitatieve toets schade door trillingen</i>	24
5.3.4. <i>Samenvatting</i>	24
6 Conclusies en aanbevelingen	25
Colofon	26

Bijlage I - Gegevens van de metingen

i

Bijlage II - Meetresultaten

iii

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ruimte voor Ruimte ontwikkelt in de gemeente Oosterhout het plangebied Dorst-Oost te Dorst. Het gaat om een gebied van circa 10 hectare, waar maximaal 160 woningen worden gerealiseerd. Het betreft een gedifferentieerd programma van rijwoningen, twee-onder-één-kapwoningen en kavels voor vrijstaande woningen. Het plangebied is gelegen nabij de spoorlijn Breda-Tilburg.

1.2 Doel

Ruimte voor Ruimte heeft Movares benaderd met vragen op het gebied van geluidhinder en trillingshinder. De vragen over trillingen zijn:

- Zijn er ter plaatse van de geprojecteerde objecten spoorwegtrillingen?
- Leiden deze trillingen tot hinder?
- Welke oplossingsrichtingen zijn er voor het voorkomen van trillingshinder in de geplande woningen, afhankelijk van de afstand tot de spoorlijn? Bij de oplossingen zijn maatregelen binnen de infrastructuur van het spoor in dit onderzoek uitgesloten.

1.3 Aanpak

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

1. Uitvoeren van een trillingsmeting op het maaiveld ter plaatse van het plangebied. Deze meting heeft uit twee onderdelen bestaan:
 - a. Een meting van het tijdsverloop van de trillingen gedurende een week. Dit is conform de aanbevolen meetperiode voor een representatieve meting uit de SBR-B richtlijn. Door deze meetduur zijn alle treintypen inclusief goederentreinen geregistreerd. Speciaal de goederentreinen vertonen een grote variatie in passeertijd, zwaarte etc.; dit maakt de lange meetduur noodzakelijk. Deze meting vond plaats op 20 meter afstand van het hart van het dichtstbijzijnde spoor. Een afstand van 20 meter geeft een representatief beeld van de trillingen, omdat de nabije-veldeffecten vanaf afstanden van 20 meter en verder verdwenen zijn. (Vanaf die afstand volgt de uitdemping van de trillingen met de afstand een wiskundige curve, de Barkancurve, die ons in staat stelt de demping van het signaal met de afstand te berekenen uit metingen op verschillende afstanden tot het spoor. Tot die afstand zijn de trillingsgolven nog niet tot ontwikkeling gekomen, waardoor het niveau een grillig verloop met de afstand.)
 - b. Een meting waarmee wij de uitdemping van de trillingen van treinverkeer met de afstand hebben vastgesteld. Hoe verder immers van het spoor, des te lager de trillingsniveaus. Deze meting heeft een beperkte meetduur van enkele uren, voldoende om de eigenschappen van de bodem en de uitdemping met de afstand vast te stellen. Per passage is de uitdemping berekend, en vervolgens is de gemiddelde uitdemping met de afstand bepaald.
2. Vanuit de gemeten trillingsniveaus op het maaiveld hebben wij een prognose gemaakt van de trillingsniveaus in de geplande woningen. Hiertoe hebben wij gebruik gemaakt van overdrachtsfuncties behorende bij de constructieve

eigenschappen van de woningen. Vanwege de fase van ontwikkeling van het gebied zijn deze constructieve eigenschappen nog niet precies bekend. Daarom hebben wij op basis van onze ervaring een aantal verschillende en representatief geachte constructietypen beschouwd.

3. De geprognoseerde trillingsniveaus in de woningen hebben wij getoetst aan de streefwaarden in de SBR B-richtlijn. Hieruit volgt of er hinder plaatsvindt en in welke mate. De mate van hinder is afhankelijk van de afstand tot de spoorlijn.
4. Op basis van deze prognoseresultaten geven wij een advies over of, en zo ja, hoe trillingshinder in de woningen kan worden voorkomen, afhankelijk van de afstand tot de spoorlijn.
5. Tevens hebben wij een kwalitatieve beoordeling van de kans op schade als gevolg van trillingen door railverkeer uitgevoerd aan de hand van de richtlijn SBR-A.

[1.4 Leeswijzer](#)

De opbouw van het rapport volgt deels de hierboven beschreven aanpak. Eerst geeft hoofdstuk 2 een beschrijving van de situatie. Vervolgens is in hoofdstuk 3 het beoordelingskader voor trillingshinder te lezen. De meetresultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 4. De analyse van deze resultaten en het advies over oplossingsrichtingen bevindt zich in hoofdstuk 5. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

2.1 Inleiding

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

2.2 Plangebied

Het plangebied bevindt zich ten oosten van de kern Dorst in de gemeente Oosterhout en ten zuiden van de spoorlijn Breda-Tilburg. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt.



Figuur 2-1: Ligging van plangebied (bron: Google ArcGIS)



Figuur 2-2: Stedenbouwkundige schets van plangebied (bron: Ruimte voor Ruimte)

Ten tijde van dit onderzoek zijn de exacte bouwlocaties nog niet bekend. In de plannen is rekening gehouden met een veiligheidszone van 30 meter breedte, gelegen tussen de spoorlijn en het bouwvlak en waarbinnen geen woningen gebouwd mogen worden.

Na realisatie van de woningen zullen in de nabijheid van het onderzoeksgebied naar verwachting geen andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingssterkte zijn. In dit onderzoek zijn andere bronnen daarom niet meegenomen.

2.3 Meetposities

De posities van de trillingssensoren zijn weergegeven in Figuur 2-3. De witte stippen staan voor twee sensoren die gedurende 7 dagen het tijdsverloop van de trillingen gemeten hebben. Zij zijn op 20 meter van het hart van het dichtstbijzijnde spoor geplaatst. De gestreepte stippen symboliseren twee langsraaien en twee dwarsraaien die gedurende vier uur de ruimtelijke afhankelijkheid van de trillingen hebben gemeten. De langsraaien liggen op 20 meter van het hart van het dichtstbijzijnde spoor en hebben elk een 'spanwijdte' van ongeveer 100 meter. De sensoren van de dwarsraaien bevinden zich op 30, 40, 50 en 60 meter.



Figuur 2-3: Posities van de trillingssensoren

2.4 Geplande bebouwing

De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet exact bekend. Er wordt voor dit onderzoek gerekend met een aantal verschillende bouwhoogtes en beukmaten, representatief voor grondgebonden woningen. In dit onderzoek is gerekend met de eigenschappen zoals opgenomen in Tabel 2-1. Voor trillingen zijn de constructieve eigenschappen van belang, en niet het type woning. De woningen bevinden zich in het plangebied op minimaal 30 meter afstand van het hart van het dichtstbijzijnde spoor. (De Regeling basisnet definieert een plasbrandaandachtsgebied tot 30 m vanaf de buitenste spoorstaaf. Dat is de veiligheidszone waarbinnen niet wordt gebouwd.)

Omdat een predictie altijd bepaalde onzekerheden met zich mee brengt (door onzekerheden in het predictiemodel, het gedrag van de te gebruiken materialen en verschillen tussen de uiteindelijke as-built situatie en de ontwerpsituatie), is zowel een verwachte trillingssituatie als een maximale trillingssituatie berekend per type, op basis van de gegeven eigenschappen. Hierbij is per gebouw de meest kritische woonlaag beschouwd.

Naar verwachting wordt de toekomstige bebouwing op staal gefundeerd. Dit betekent dat de woningen niet op heipalen staan.

Tabel 2-1 *Eigenschappen bebouwing. De beukmaat is in de richting van de overspanning van de vloeren.*

Type	Hoogte	Beukmaat	Vloertype	Constructietype
A_5	9m	5m	Kanaalplaatvloer	Wanden-kanaalplaat
A_7	9m	7m	Kanaalplaatvloer	Wanden-kanaalplaat
B_7	6m	7m	Kanaalplaatvloer	Wanden-kanaalplaat

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

Treinverkeer kan trillingen in gebouwen veroorzaken. 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 is schade als gevolg van passerende treinen onwaarschijnlijk op een afstand van meer dan 30 meter tot het spoor. Er is daarom niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Wel zal er op grond van de gemeten trillingen nog een kwalitatieve toets plaatsvinden of er daadwerkelijk geen schade te verwachten is, aan de hand van 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 indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze waarde berekenen wij als volgt:
 - Onze trillingssensoren meten de trillingen in drie onderling loodrechte richtingen: twee horizontale richtingen (x en y) en één verticale richting (z). De sensoren geven analoge (continue) signalen af. Een trillingssignaal is de snelheid waarmee iets beweegt, gemeten in millimeter per seconde (mm/s).
 - Deze analoge signalen registreren we met een meetcomputer. Binnen de computer worden de signalen gedigitaliseerd met een frequentie van 1 kHz. Per sensor slaan we dus elke duizendste seconde een trillingswaarde in de x-richting, een trillingswaarde in de y-richting en een trillingswaarde in de z-richting op.
 - Per sensor en per richting groeperen we deze waarden in perioden van 30 seconden. Voor elke periode berekenen we de zogenaamde 'maximale effectieve waarde'. Deze waarde is dimensieloos en heeft als symbool $v_{eff, max, 30, i}$.
 - Per sensor en per richting bepalen we vervolgens de maximale waarde die in een periode van één week te verwachten is. Het symbool voor deze waarde is $v_{eff, max, stat}$. Dit gebeurt met een statistische methode. Deze houdt rekening met het feit dat de metingen toevallig gedaan zouden kunnen zijn in een week die qua trillingen wat rustiger is dan normaal. De methode zorgt er daarmee voor dat de waarde voldoende betrouwbaar is.
 - We hebben nu één maximale waarde per sensor en per richting. In de verzameling van al deze waarden zoeken we naar de grootste waarde.

Deze is de pieksterkte van de trillingen, een dimensieloze grootheid, met het symbool V_{max} . (Analoog hieraan heeft bijvoorbeeld ook geluid een pieksterkte en hebben de geluidsboxen van de stereo-installatie een piekvermogen.)

- Technisch-inhoudelijk wordt dit hele procedé beschreven in paragrafen 9.2, 9.3 en 9.6 van de SBR B-richtlijn.

2. Zoals geluidsboxen niet alleen een piekvermogen maar ook een continue vermogen hebben, hebben ook trillingen niet alleen een pieksterkte maar ook een continue sterkte. Deze heet in het jargon de 'trillingsintensiteit', met het symbool V_{per} . Deze is een indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. de waarde ervan is hoger naarmate er in een bepaalde tijdsperiode meer passages van trillingsbronnen (in geval van dit project: treinen) zijn en naarmate de trillingssterkte van de afzonderlijke passages hoger is. Paragraaf 9.8 van de SBR B-richtlijn beschrijft hoe de waarde V_{per} berekend wordt.

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. In overleg met de gemeente Oosterhout worden de trillingen in dit project getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties.

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. In de beoordeling is

gekeken naar gebouwen met bestemming *wonen*, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-1.

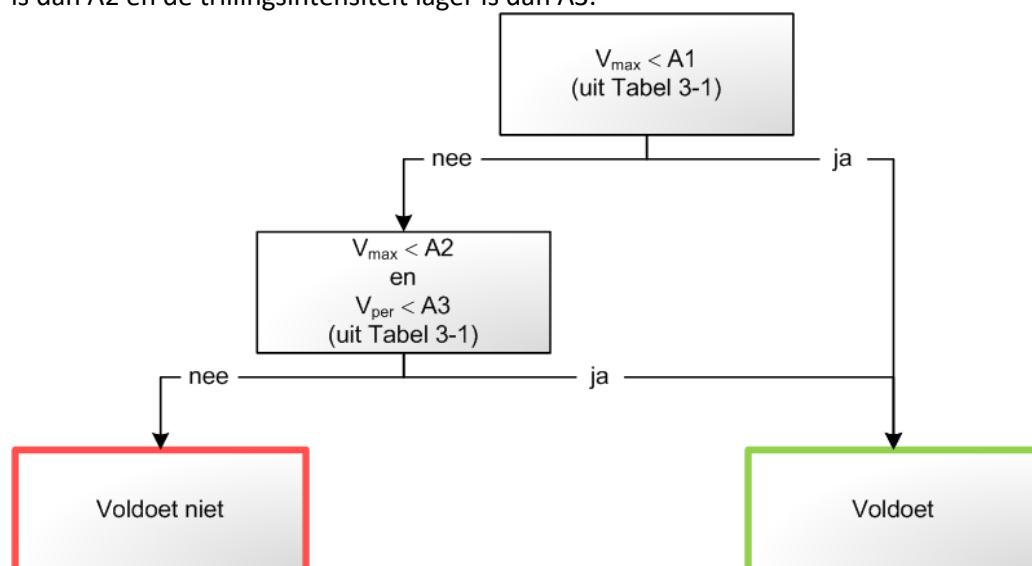
Tabel 3-1 Streefwaarden bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2 ¹⁾	0.8	0.1	0.2 ¹⁾	0.4	0.05
Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.05
Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.15	0.6	0.07
Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.15	0.6	0.07
Kritische werkruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

¹⁾ Een streefwaarde van 0.2 betekent een waarde kleiner dan 0.25

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 Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

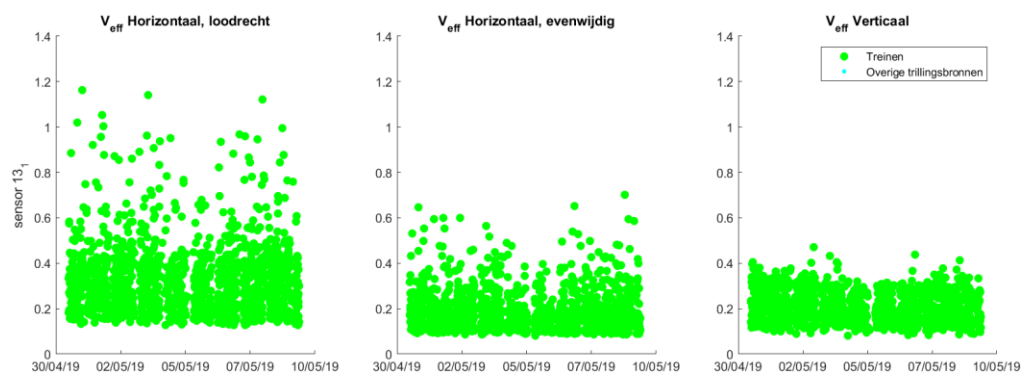
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een korte meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingsniveaus binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een lange meting met twee meetpunten, om de variatie van de trillingen over de tijd vast te stellen. Op deze manier ontstaat een representatief beeld van de trillingen over een looptijd van een week.

4.2 Meetresultaten

De gemeten trillingssnelheden van de treinen tijdens de lange meting (30-4-2019 tot 9-5-2019) zijn per richting weergegeven in Figuur 4-1. De meetperiode was hiermee ruim 1 week, en ruim voldoende voor een representatieve periode van 1 week. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 20 m afstand van het spoor. 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).

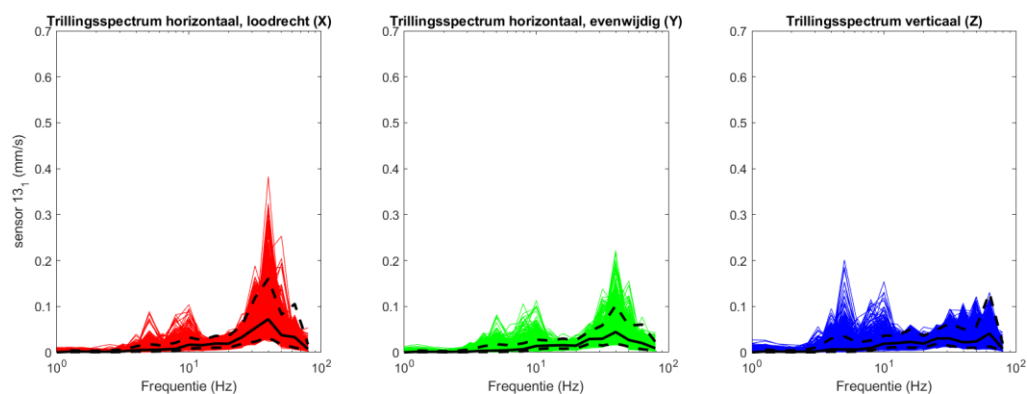


Figuur 4-1 Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd

Het trillingsspectrum van de gemeten treinen op maaiveld is weergegeven in Figuur 4-2.

Het valt op dat er significante trillingen te zien zijn bij frequenties boven de 30 Hz, voornamelijk in de horizontale richtingen. Dit heeft te maken met horizontale resonanties bovenin de bodem of bij de sensor, die niet representatief zijn voor de trillingen die via de fundering een gebouw binnen komen. De verticale trillingen laten wel een realistisch beeld zien. Onze praktijkervaring leert dat de verticale trillingen meestal maatgevend zijn¹, daarom is de rest van dit onderzoek gebaseerd op alleen de verticale trillingen.

¹ Er is geen aanwijzing gevonden die wijst op een sterke horizontale component van de trillingen door treinverkeer, zoals bijvoorbeeld een bocht in het spoor.



Figuur 4-2 *Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting*

4.3 Verkeersgegevens

Gedurende de metingen is geregistreerd welk treinverkeer gepasseerd is. Er waren geen snelheidsrestricties van kracht. Dit betekent dat goederentreinen meestal ca. 80 tot 90 km/uur reden, en reizigerstreinen maximaal 140 km/uur. Het aantal passages gedurende meetperiode staat in onderstaande tabel.

Tabel 4-1 Aantal treinpassages gedurende meetperiode (30-4-2019 tot 9-5-2019), 2 rijrichtingen samen

	Dag (7.00 – 19.00 uur)	Avond (19.00 – 23.00 uur)	Nacht (23.00 – 7.00 uur)
Goederen	170	64	78
IC TRAXX	399	141	78
Sprinter	298	109	69
IC overig	387	127	92

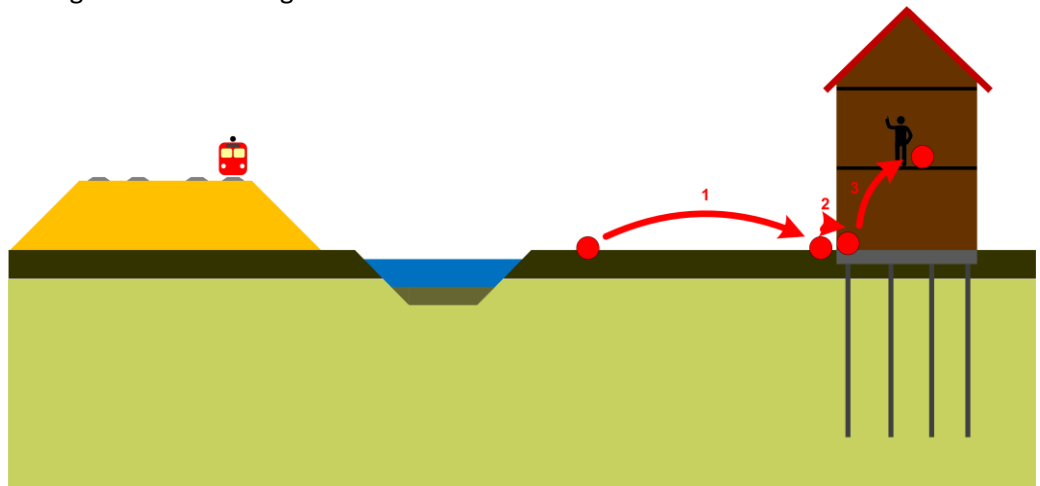
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering en op de vloeren van de gebouwen, op de locatie van elk bouwvlak. Daarnaast brengen we de onzekerheid van de predicties (onder meer veroorzaakt door onzekerheid in exacte dimensionering, materiaalkeuze en constructiewijze) 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 gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans dat de trillingen deze waarde overschrijden is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterkte en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de onderste laag van een hoog gebouw met een kolommenstructuur is gerealiseerd, waardoor de horizontale stijfheid lager is en met name horizontale, laagfrequente trillingen hoger kunnen zijn in de bovenste delen van het gebouw. Een ander voorbeeld is als er relatief veel materialen met weinig demping (zoals staal) worden toegepast in de constructie.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld van alle bouwlagen wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5-1. De gepresenteerde trillingssterkte V_{max} en trillingsintensiteit V_{per} gelden voor de maatgevende bouwlaag.



Figuur 5-1 Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingen van de langeduurmeting (op 20 meter afstand) vertalen we naar de trillingen, nog steeds op maaiveld, ter plekke van het gebouw.

2. Het gebouw staat verder weg dan de sensor. Over dat afstandsverschil maken we de vertaling. Daartoe hebben we informatie nodig over de afname van de trillingen met toenemende afstand, de 'afstandsdemping'. Deze informatie halen we uit onze metingen met een dwarsraai van sensoren over een korte duur. Een dwarsraai van sensoren is een rij sensoren in een rechte lijn dwars op het spoor, op regelmatige afstanden van elkaar.
3. Tijdens de verwerking van de data leggen we door de trillingssterkten van deze sensoren een curve, de zogenaamde Barkan-curve. Elke sensor ligt op een punt op deze curve. De curve bevat alle informatie over de afstandsdemping die we nodig hebben.
4. Als uit de meting met de langsrassen van de korteduurmeting blijkt dat er variatie is in de langsrichting van het spoor, dan passen we hiervoor een correctie toe.
5. Het gebouw ligt op een bepaalde afstand. Het niveau van de trillingen op maaiveld ter plekke van het bouwblok volgt uit de gemeten trillingen op korte afstand en de afstandsdemping (Barkan-curve) van het meetpunt tot het gebouw.
6. Nu vertalen we dit trillingsniveau naar een punt op de fundering van het gebouw. Dit doen we met behulp van een overdrachtsfunctie. Deze functie wordt bepaald door de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering). De overdrachtsfunctie geeft voor elke frequentie een mate van overdracht van het trillingssignaal. Het proces is: omzetten van het trillingssignaal naar het frequentiespectrum, toepassen van de overdrachtsfunctie en terug omzetten naar een tijdssignaal.
7. Vervolgens vertalen we de trillingen op de fundering naar een punt op de hoogste vloer van het gebouw. Ook dit gebeurt weer met behulp van een overdrachtsfunctie. En ook deze wordt bepaald door de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).
8. Het resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssituatie in het gebouw. Hierbij is elke afzonderlijke trein die tijdens de langeduurmeting gemeten is, vertaald naar een trillingssignaal in het gebouw. Van deze trillingen bepalen we de parameters V_{max} en V_{per} . Deze beoordelen we tegen de SBR B-richtlijn.

In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de methode die hierboven staat beschreven.

5.1.1. Overdracht tussen meetpunten

De trillingsoverdracht van het meetpunt uit de langeduurmeting naar verder weg gelegen punten op maaiveld gebeurt aan de hand van de resultaten van de korteduurmeting. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Barkan-vergelijking, een empirische formule die de uitdemping van de trillingen met de afstand beschrijft. De parameters (bodemdemping en geometrische uitbreiding van de trillingen) die gebruikt worden in de Barkan vergelijking zijn te zien in Bijlage II, en volgen uit de resultaten van de korteduurmeting. Ten opzichte van andere locaties in Nederland blijkt de bodemdemping laag, waardoor trillingen slechts beperkt afnemen met de afstand tot het spoor.

5.1.2. Overdracht in gebouwen

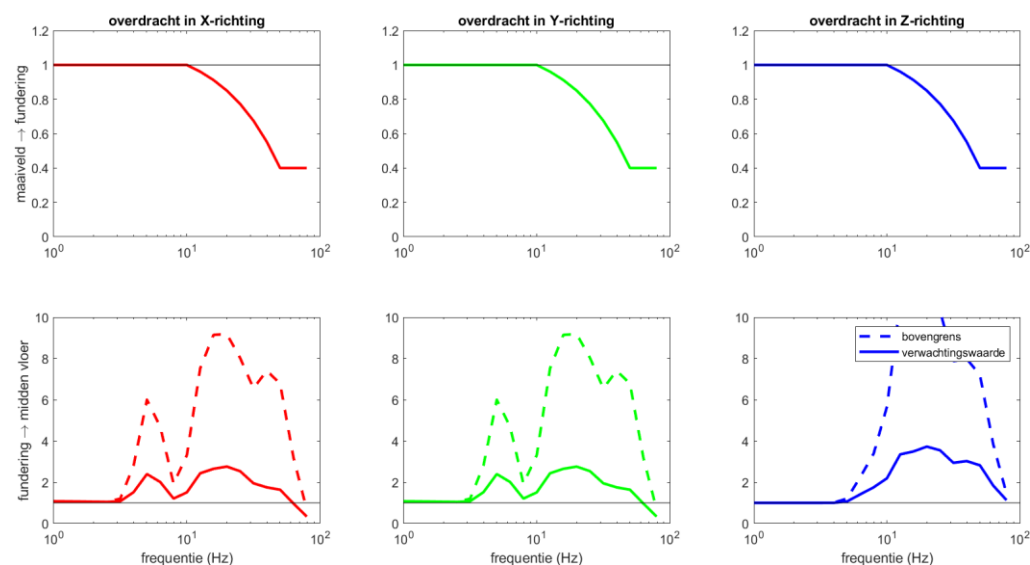
Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering². Deze theoretische waarden komen goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden.

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van de gebouwconstructie, gebouwfmetingen, type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Praktijkmetingen geven voor de overdracht van fundering naar midden vloerveld vaak afwijkingen ten opzichte van het document van VROM. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom geactualiseerd op basis van een combinatie van meetresultaten in vergelijkbare gebouwen en analytische formules die het gedrag van gebouwen en vloeren beschrijven. Voor een woning van 9m hoog met 3 bouwlagen zijn de resultaten weergegeven in Figuur 5-2. Hierbij is X loodrecht op het spoor en Y parallel aan het spoor.

Er is een aantal varianten (van overdrachten naar gebouwen) bepaald, welke representatief staan voor de toekomstige bebouwing op het perceel. Er is gevarieerd met de het aantal verdiepingen van de woningen, en de beukmaat van de vloeren. Deze varianten zijn: A_5, A_7 en B_7.

Tabel 5-1 Varianten woningen

Type	Beukmaat	Hoogte	Verdiepingen	Afstand	Fundering	Vloertype
A_5	5m	9m	3	30 tot 200m	Op staal	Kanaalplaatvloer
A_7	7m	9m	3	30 tot 200m	Op staal	Kanaalplaatvloer
B_7	7m	6m	2	30 tot 200m	Op staal	Kanaalplaatvloer



Figuur 5-2 Overdracht van de trillingssterkte van maaiveld naar de fundering (boven) en van de fundering naar midden vloerveld (tweede verdieping) voor woning type A_7

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

5.2 Resultaten

De resultaten van de langeduurmeting (meetpunt op 20 meter afstand) zijn weergegeven in Tabel 5-2. Ten opzichte van andere metingen in Nederland zijn dit hoge waarden. Hoewel gebouwen het dichtst bij het spoor op 30 meter afstand komen te staan en daardoor de trillingen op die afstand iets lager zullen zijn, blijkt hieruit dat het trillingsniveau binnen de woningen nauwelijks versterkt mag worden ten opzichte van de trillingen op maaiveld. Anders worden de streefwaarden overschreden ($V_{\max} = 0.4$ en $V_{\text{per}} = 0.1$). Merk op dat alleen de verticale richting is beschouwd (zie hoofdstuk 4).

Tabel 5-2 Meetresultaten op maaiveld op 20 meter afstand

	Z
V_{per} dag	0.09
V_{per} avond	0.1
V_{per} nacht	0.03
$V_{\max}$ gemeten	0.47

5.2.1. Verwachte trillingen in woningen

Vervolgens is voor alle bouwvlakken een prognose gemaakt van de verwachte trillingen (50% waarde) in de gebouwen op de vloeren op de hoogst bewoonde verdieping. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn in Tabel 5-3 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.

Tabel 5-3 Verwachte trillingen per woningtype en afstand

Type	Afstand (m)	Beukmaat (m)	Hoogte woning (m)	Verwachte trillingen	
				$V_{\max}$	V_{per}
A_5	30-49	5	9	0.86	0.19
A_7	30-49	7	9	0.84	0.18
B_7	30-49	7	6	0.84	0.18
A_5	50-99	5	9	0.5	0.12
A_7	50-99	7	9	0.75	0.14
B_7	50-99	7	6	0.74	0.14
A_5	100-129	5	9	0.39	0.06
A_7	100-129	7	9	0.61	0.1
B_7	100-129	7	6	0.61	0.1
A_5	130-199	5	9	0.35	0.04
A_7	130-199	7	9	0.55	0.09
B_7	130-199	7	6	0.54	0.09
A_5	200 +	5	9	0.27	0.02
A_7	200 +	7	9	0.44	0.06
B_7	200 +	7	6	0.43	0.06

Kleur	Toelichting
	Mogelijke overschrijding, alleen 's nachts
	Mogelijke overschrijding, zowel overdag als 's nachts

5.2.2. Bovengrens trillingen in woningen

De hierboven genoemde waarden zijn de verwachtingswaarden van de trillingen (50%-waarde) die in een week kunnen optreden bij de zwaarste treinpassage. Voor een ongunstig gebouw wordt in deze paragraaf een bovengrens gegeven (95%-waarde). Deze 95%-waarde correspondeert met de bovengrens aan de opslingering van trillingen in woningen zoals wij die tegenkomen in praktijkmetingen. Concreet correspondeert deze 95%-bovengrenswaarde met een situatie waarin gebouwen relatief kaal zijn ingericht (grote open ruimtes, weinig tussenwanden, vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van staal en beton). De 50%-waarde correspondeert meer met de meest voorkomende situaties en is gezien de door Ruimte voor Ruimte geleverde informatie over de te bouwen woningen naar verwachting het meest representatief voor de te bouwen woningen.

In Tabel 5-4 is per woningtype de bovengrens van de trillingen in de woningen weergegeven. Dit is de zwaarste treinpassage gedurende een week in een ongunstig gebouw. 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.

Tabel 5-4 Bovengrens trillingen per woningtype en afstand

Type	Afstand (m)	Beukmaat (m)	Hoogte woning (m)	Verwachte trillingen	
				V _{max}	V _{per}
A_5	30-49	5	9	1.94	0.42
A_7	30-49	7	9	2.26	0.53
B_7	30-49	7	6	2.26	0.53
A_5	50-99	5	9	1.11	0.27
A_7	50-99	7	9	1.98	0.43
B_7	50-99	7	6	0.74	0.14
A_5	100-129	5	9	0.63	0.14
A_7	100-129	7	9	1.57	0.31
B_7	100-129	7	6	1.58	0.31
A_5	130-199	5	9	0.55	0.1
A_7	130-199	7	9	1.41	0.26
B_7	130-199	7	6	1.41	0.26
A_5	200 +	5	9	0.42	0.05
A_7	200 +	7	9	1.11	0.19
B_7	200 +	7	6	1.11	0.19

Kleur	Toelichting
	Mogelijke overschrijding, alleen 's nachts
	Mogelijke overschrijding, zowel overdag als 's nachts

Een aantal opmerkingen bij de resultaten:

- Bij deze bovengrensberekening is er zowel overdag als 's nachts een overschrijding van de streefwaarden voor de trillingssterkte V_{max} en V_{per} .
- Zoals eerder vermeld zijn, bij een goede bouwwijze met het oog op trillingen, de rekenresultaten voor de verwachtingswaarde (50%-waarde) het meest representatief. De bovengrenswaarde (95%-waarde) is alleen representatief bij relatief slappe, open gebouwen met weinig damping in de constructie (veel staal in de constructie, weinig tussenwanden, etc.). De verwachtingswaarde van de trillingen is meer representatief voor de geplande bebouwing, daarom is deze bovengrensberekening vooral informatief.

5.3 Betrouwbaarheid

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

1. Wijzigingen in de sporenlay-out, het spoorgebruik of de rijnsnelheid van de treinen ten opzichte van de situatie waarvan in dit onderzoek is uitgegaan. In het geval van wijzigingen binnen de spoorzone zal ProRail doorgaans trillingsonderzoek uitvoeren.
2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe.
3. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer, deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingen;
4. Omdat de exacte detaillering van de bebouwing nog niet bekend is, is de spreiding in te verwachten waarden op midden vloerveld nog vrij hoog. Deze spreiding is in rekening gebracht in de prognoses van de 50%-waarde en de 95%-waarde.

5.3.1. Afweging

In het plangebied is het mogelijk om vanaf 30 m van het spoor woningen te bouwen. Er zullen echter wel maatregelen getroffen moeten worden om de trillingsniveaus te reduceren. Vanaf 100 m van het spoor is woningbouw mogelijk zonder aanvullende maatregelen, mits de vloeroverspanning niet groter is dan 5 meter.

5.3.2. Aanvullende maatregelen

Op basis van bovenstaande zijn er een aantal mogelijke maatregelen te identificeren:

1. **Realisatie van een trillingsscherm in de bodem**, bijvoorbeeld een sloot of een scherm van beton, jet-grout of een dubbele damwand met een sleuf of EPS³ ertussen.

Het is goed mogelijk dat het trillingsscherm minimaal 10 meter diep moet zijn om effectief te zijn. Dit is gebaseerd op simulaties en praktijkmetingen op andere

³ Expanded Polystyrene of piepschuim

locaties in Nederland. De kosten voor een dergelijk scherm bedragen, bij een vereiste lengte van zo'n 400 meter, tussen de € 5.000.000 en € 8.500.000.

Een ondiep scherm nabij de woningen geeft naar verwachting slechts weinig reductie omdat de trillingsgolven diep de bodem in gaan.

Het effect van een trillingsscherm of een sloot is onzeker, en kan sterk wisselen voor verschillende afstanden en frequenties. Ook kan het zo zijn dat een trillingsscherm of sloot, voor sommige afstanden en frequenties, juist versterkt. Naast het toepassen van een trillingsscherm zullen ook maatregelen aan de woningen nodig zijn.

Nader onderzoek is nodig om de effectiviteit goed te kunnen inschatten.

2. **Aanpassen van de bebouwing** zodat de gevoeligheid voor 5 tot 10 Hz nog verder wordt verminderd (deze is namelijk al klein). De beste mogelijkheid hiervoor is het verhogen van de eigenfrequentie van de vloeren door het verkleinen van de overspanning of het stijver maken van de vloeren. Dit effect is al te zien in het verschil tussen de woningtypes met een beukmaat van 5 en 7m. Het vervangen van kanaalplaatvloeren door breedplaatvloeren (meer damping) of massieve betonplaatvloer heeft naar verwachting maar een beperkt effect. Het aanpassen van het vloertype heeft geen significante gevolgen voor de stichtingskosten. Het onderheien van de woningen kan tot een beperkte reductie leiden.
3. **Afveren van de fundering**, door gebruik te maken van een dubbele fundering. De constructie bestaat dan uit een betonnen plaat, met daarop verende elementen en daarop de funderingsbalken van het gebouw. Hierbij zijn er twee mogelijkheden: afveren met behulp van rubberen blokken of met behulp van stalen veerdozen. Nadeel van een afgeveerde fundering is dat trillingen rond de eigenfrequentie van het systeem altijd worden versterkt. Omdat de trillingen vanaf frequenties van rond de 5 Hz bijdragen aan het trillingsniveau in de woningen, zal een dergelijk systeem zo laag mogelijk moeten worden afgeveerd om de trillingen te reduceren. Eigenfrequenties van minder dan 3 Hz zijn technisch niet te realiseren; 3 Hz is de laagst mogelijke eigenfrequentie, en alleen realiseerbaar met stalen veerdozen. Het advies is om dit toe te passen, in combinatie met toegevoegde damping.
Naar verwachting zullen de trillingen bij 10 Hz en hoger (momenteel de maatgevende frequenties) sterk afnemen, en de trillingen rond 5 Hz zullen aanzienlijk minder tot nauwelijks afnemen.
Het toepassen van deze maatregel kan 5 tot 8 % van de stichtingskosten bedragen.

Los van deze maatregelen wordt geadviseerd om de volgende stelregels te hanteren:

1. Beperk de vloeroverspanningen. Pas bij grote vloeroverspanningen stijvere vloeren toe (bijv. breedplaatvloeren). Vermijd sowieso de toepassing van houten vloeren, en ook combinatievloeren worden afgeraden door de geringere stijfheid van dit vloertype.
2. Vermijd houtskeletbouw of vliesgevels, deze hebben een relatief slappe constructie waardoor de trillingen in de woning worden versterkt.
3. Constructies van het in het werk gestort beton hebben de voorkeur boven prefab constructiemethodes, omdat de dynamische stijfheid van in het werk gestorte constructies hoger is, waardoor de trillingen minder goed worden doorgegeven.

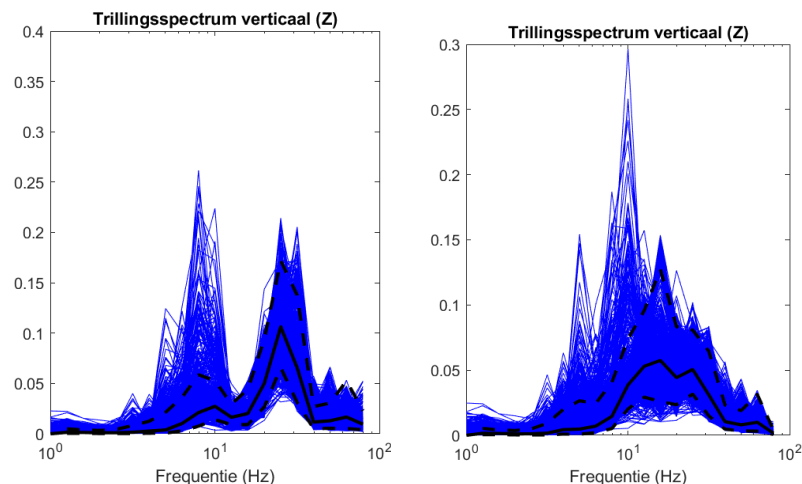
Er wordt geadviseerd om maatregelen aan de woningen te treffen. Daarnaast zou een trillingsscherm overwogen kunnen worden, mogelijk zorgt een trillingsscherm er voor dat er aan minder woningen maatregelen getroffen hoeven worden.

Een overzicht van de voorgestelde maatregelen per woningtype is te zien in Tabel 5-5. Merk op dat het nog wel nodig is om de voorgestelde maatregelen door te rekenen op de effectiviteit van de reductie van trillingshinder. Omdat het trillingsspectrum vrij breed is (meerdere piek-frequenties over een breed frequentiedomein), is effectief reduceren van de trillingen technisch complex. Zie Figuur 5-3. (De frequentie-inhoud van trillingen geeft de adviseur informatie over welke maatregelen wèl werken en welke niet.) Veel maatregelen versterken immers de trillingen bij een bepaalde frequentie, terwijl andere frequenties dan worden uitgedempt. Bij een breed trillingsspectrum (zoals in deze situatie) hebben veel maatregelen daarom een averechts effect.

Tabel 5-5 *Verwachte trillingen en voorgestelde maatregelen per woningtype en afstand*

Type	Afstand (m)	Verwachte trillingen		Maatregel
		V _{max}	V _{per}	
A_5	30-49	0.86	0.19	Afveren fundering
A_7	30-49	0.84	0.18	Afveren fundering
B_7	30-49	0.84	0.18	Afveren fundering
A_5	50-99	0.5	0.12	Afveren fundering
A_7	50-99	0.75	0.14	Afveren fundering
B_7	50-99	0.74	0.14	Afveren fundering
A_5	100-129	0.39	0.06	Geen maatregel nodig
A_7	100-129	0.61	0.1	Afveren fundering
B_7	100-129	0.61	0.1	Afveren fundering
A_5	130-199	0.35	0.04	Geen maatregel nodig
A_7	130-199	0.55	0.09	Afveren fundering
B_7	130-199	0.54	0.09	Afveren fundering
A_5	200 +	0.27	0.02	Geen maatregel nodig
A_7	200 +	0.44	0.06	Geen maatregel nodig
B_7	200 +	0.43	0.06	Geen maatregel nodig

Kleur	Toelichting
	Mogelijke overschrijding, alleen 's nachts
	Mogelijke overschrijding, zowel overdag als 's nachts



Figuur 5-3 Trillingsspectrum (links) op 50 m in woning type A_5, en (rechts) op 50 m in woning type A_7.

5.3.3. Kwalitatieve toets schade door trillingen

Op grond van de gemeten trillingen op maaiveld in Tabel 5-2 kan geconcludeerd worden dat schade aan de gebouwen onaannemelijk is. Bij treinverkeer is de maximale trilsnelheid V_{top} meestal ongeveer een factor 2 hoger dan de maximale trillingssterkte V_{max} . Dit komt neer op een waarde V_{top} van ca. 1 mm/s op 20 meter afstand van het spoor, en dat is ruim lager dan de grenswaarden voor schade uit de SBR-A richtlijn. Te meer daar de dichtstbijzijnde bebouwing op 30 meter afstand van het spoor wordt gebouwd.

5.3.4. Samenvatting

De geadviseerde maatregel aan de woningen is het afveren op 3 Hz. Ook kan een kleinere beukmaat gehanteerd worden (mits dit in de desbetreffende woningen tot de bouwkundige of projectmatige mogelijkheden behoort); afhankelijk van de afstand tot het spoor kan dan het toevoegen van demping of het afveren achterwege gelaten worden.

Theoretisch kan daarnaast een trillingsscherm worden toegepast. Gezien de nadelen van deze maatregel, genoemd in § 5.3.2 punt 1, adviseren wij deze maatregel echter niet.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van de verwachte trillingsniveaus in nieuw te bouwen woningen in het plangebied Dorst-Oost als gevolg van railverkeer op de spoorlijn Breda-Tilburg. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR-B-richtlijn.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan, zonder maatregelen, een overschrijding van de streefwaarden voor trillingshinder in de woningen in het plangebied niet worden uitgesloten. Dit komt vooral doordat er relatief hoge trillingen ontstaan in de bodem door de passerende treinen en doordat deze trillingen (met name rond 10 Hz) slecht uitdoven met toename van de afstand.

Het is daarom nodig om maatregelen te treffen. De volgende maatregelen zijn mogelijk:

- 4) Afveren van de woningen, inclusief het toevoegen van damping aan veren tussen de woning en de fundering.
- 5) Toepassen van een trillingsscherm (of een vergelijkbare maatregel tussen het spoor en de woningen).
- 6) Indien geen trillingsmaatregelen worden getroffen: niet bouwen binnen 100 à 200 m vanaf het spoor, afhankelijk van het type woning.

Uit deze mogelijkheden adviseren wij: afveren van de woningen, inclusief het toevoegen van damping aan veren tussen de woning en de fundering. De tweede optie, een trillingsscherm, adviseren wij niet, vanwege de nadelen van deze maatregel. De derde optie, niet bouwen binnen 100 à 200 m van het spoor, is strijdig met het plan van Ruimte voor Ruimte.

Daarnaast is het van belang om de volgende stelregels te hanteren:

1. Beperk de vloeroverspanningen. Pas bij grote vloeroverspanningen stijvere vloeren toe (bijv. breedplaatvloeren). Vermijd sowieso de toepassing van houten vloeren, en ook combinatievloeren worden afgeraden door de geringere stijfheid van dit vloertype.
2. Vermijd houtskeletbouw of vliesgevels, deze hebben een relatief slappe constructie waardoor de trillingen in de woning worden versterkt.
3. Constructies van het in het werk gestort beton hebben de voorkeur boven prefab constructiemethodes, omdat de dynamische stijfheid van in het werk gestorte constructies hoger is, waardoor de trillingen minder goed worden doorgegeven.

Schade aan de nieuw te bouwen woningen als gevolg van de trillingen is niet aannemelijk.

Colofon

Opdrachtgever Ruimte voor Ruimte I C.V.

Status opdrachtgever Opdrachtgever

Versie opdrachtgever Rapportversie

Uitgave Movares Nederland B.V.

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 265 55 55

Ondertekenaar [Redacted]
Projectleider Dynamica

Projectnummer RM006778

Kenmerk D79-OLO-KA-1900004

Bijlage I - Gegevens van de metingen

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

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht
	Verantwoordelijke persoon	[REDACTED] e-mail: [REDACTED] tel.: [REDACTED]
2	Meting uitgevoerd door	[REDACTED]
3	Tijdsperiode meting	08-05-2019 tot 09-05-2019 (korteduurmeting) 30-04-2019 tot 09-05-2019 (langeduurmeting)
4	Type trillingsbron	Treinen.
5	Gebouwomschrijving	Niet van toepassing
6	Locatie metingen	Zie plattegrond in hoofdstuk 2
7	Geotechnische gegevens	Niet beschouwd, vermoedelijk een zandbodem
8	Meetposities	Zie plattegrond in hoofdstuk 2
9	Gebruikte meetopnemers	Achttien 3D-geofoons
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Raspberry Pi met USB-DUX. Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.
10	Overzicht meetwaarden	Zie figuren in hoofdstuk 4
11	Motivatatie classificatie gebouw	Zie hoofdstuk 2
12	Overige relevante omstandigheden	Zie hoofdstuk 2



Figuur I-1 locatie meetpunten

Tabel I-1 coördinaten meetpunten

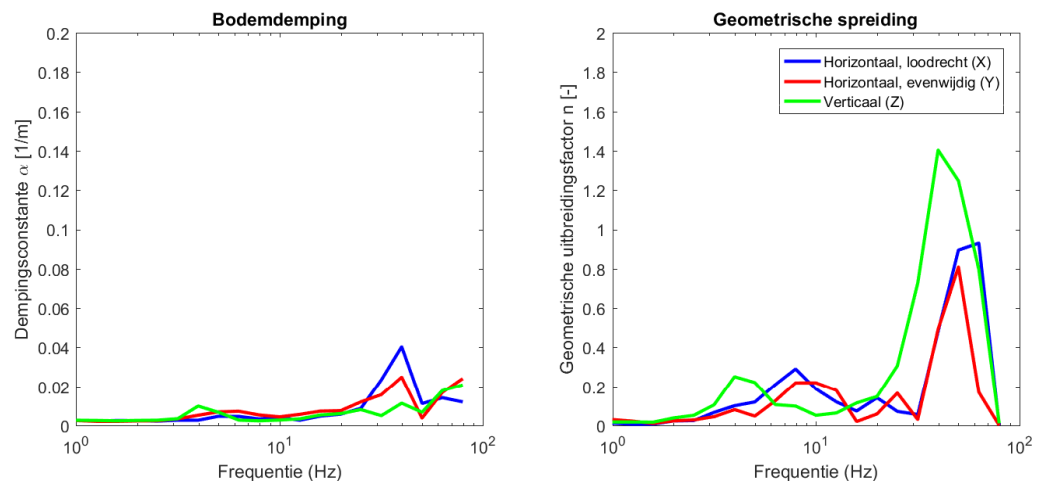
Locatie	Meetpunt	Omschrijving	X [m]	Y [m]
1	1	langs+dwarsraai, langeduur	119114.3	400464.4
1	2	dwarsraai	119112.1	400455.5
1	3	dwarsraai	119109.6	400445.6
1	4	dwarsraai	119107.2	400436.1
1	5	dwarsraai	119104.7	400426.1
1	6	langsraai	119161.5	400452.8
1	7	langsraai	119139.0	400458.4
1	8	langsraai	119090.0	400470.5
1	9	langsraai	119065.6	400476.7
2	1	langs+dwarsraai	118932.6	400508.1
2	2	dwarsraai	118930.3	400499.1
2	3	dwarsraai	118927.8	400489.2
2	4	dwarsraai	118925.5	400479.8
2	5	dwarsraai	118922.9	400469.8
2	6	langsraai	118979.7	400496.4
2	7	langsraai	118957.2	400502.0
2	8	langsraai	118908.3	400514.2
2	9	langsraai	118883.8	400520.3

Bijlage II - Meetresultaten

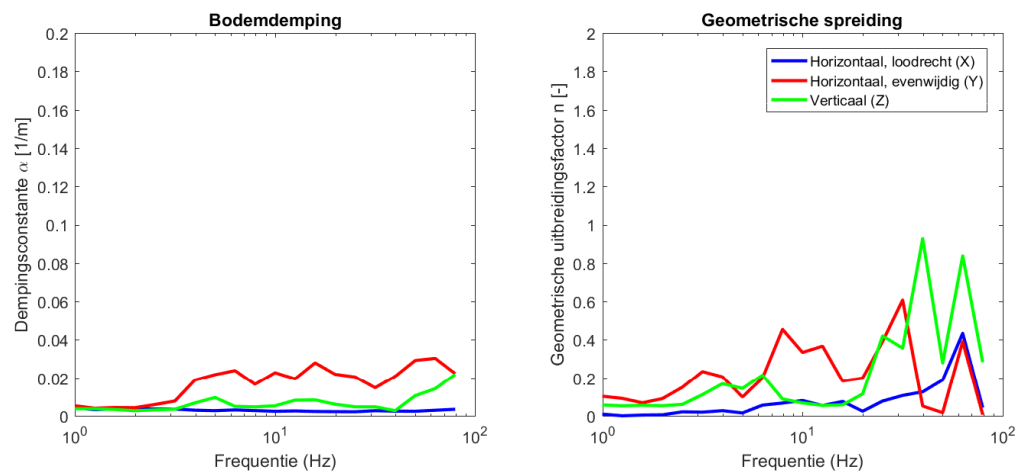
In dit onderzoek is met 2 meetraaien gemeten die loodrecht op het spoor staan. Met beide meetraaien zijn de dynamische bodemeigenschappen bepaald, die worden gebruikt om de trillingen als functie van afstand tot het spoor te kunnen bepalen.

In Figuur II - 1 zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven voor meetraai 1 (westzijde), Figuur II - 2 presenteert dezelfde data voor meetraai 2 (oostzijde). In de figuren is links is de bodemdemping weergegeven, rechts de geometrische spreiding van de trillingen.

In beide figuren is te zien dat de bodemdemping laag is (met name rond de 10Hz frequentie), waardoor de trillingen slecht uitdempen met de afstand. In de rest van eht onderzoek is gerekend met de waardes uit Figuur II - 1, overeenkomend met meetraai 1 (westzijde).



Figuur II - 1 Bodemdemping en geometrische spreiding – meetraai 1 (westzijde)



Figuur II - 2 Bodemdemping en geometrische spreiding – meetraai 2 (oostzijde)