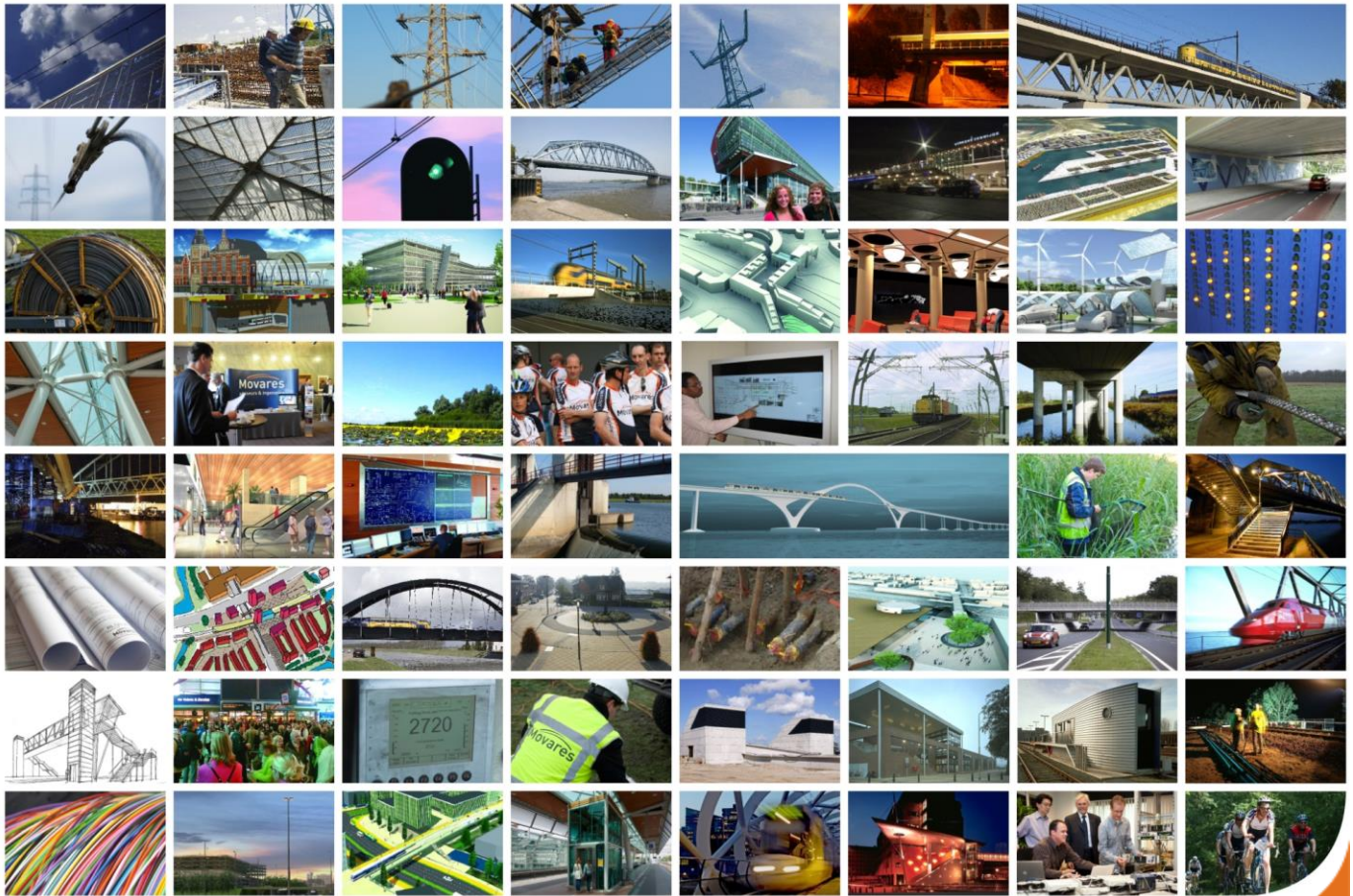




28 november 2019 - Versie 3.6

Autorisatieblad

Trillingsonderzoek

Bacinol Delft

Versie 3.0	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Niels Lommers		22-08-2019
Gecontroleerd door	Herke Stuit		22-08-2019
Vrijgegeven door	Mark Wijnands		22-08-2019

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

Versiehistorie

Versie 2.0	Eerste definitieve versie <i>Opgesteld door Niels Lommers</i> <i>Gecontroleerd door Herke Stuit</i> <i>Vrijgegeven door Mark Wijnands</i>	22-08-2019
Versie 2.1	Conceptversie <i>Tekstuele aanpassingen door Mark Wijnands</i>	15-10-2019
Versie 3.0	Tweede definitieve versie <i>Gecontroleerd door Herke Stuit</i> <i>Vrijgegeven door Mark Wijnands</i>	29-10-2019
Versie 3.5	Resultaten snelheidsverhoging verwerkt Conceptversie <i>Aanpassingen door Wessel Geerlof</i> <i>Gecontroleerd door Pieter Boon</i> <i>Vrijgegeven door Mark Wijnands</i>	31-10-2019

Versie 3.6	Tekstuele verduidelijkingen op verzoek van opdrachtgever <i>Aanpassingen door Mark Wijnands na overleg met Herke Stuit en Wessel Geerlof</i>	28-11-2019
------------	---	------------

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het bestemmingsplan, dat de gemeente Delft aan het opstellen is voor het Bacinol terrein. De gemeente onderzoekt of het mogelijk is om hier kantoren te ontwikkelen, als uitvloeisel van een planschadezaak waarin Delft in de gelegenheid is gesteld deze planschade in natura te compenseren.

De spoorlijn Delft-Rotterdam grenst aan de locatie. Om inzicht te krijgen in de effecten van de trillingen van het spoorverkeer op mogelijke bebouwing in het plangebied, is dit onderzoek uitgevoerd.

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake is van trillingshinder in de geplande kantoren, en zo ja, onder welke constructieve randvoorwaarden dit wel en niet het geval is.

Bij ontbreken van wettelijke normen voor trillingshinder is hier, zoals gebruikelijk, getoetst aan de SBR B-richtlijn van de Stichting BouwResearch.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt geen trillingshinder verwacht voor een kantoorpand binnen het plangebied. Bij zeer kleine afstanden tot de tunnelbak bestaat een kans op overschrijdingen van de richtlijn voor trillingshinder. De kans dat deze waarden daadwerkelijk zullen plaatsvinden is klein; dit kan optreden bij gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Wel adviseren wij om, bij een toename van de rijsnelheid van de doorgaande treinen naar 120 of 140 km/h, een eigenfrequentie van de vloeren tussen orde 10 en orde 20 Hz te vermijden in gebouwen die direct tegen het spoor zijn gesitueerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doel	4
1.3 Aanpak	4
1.4 Leeswijzer	5
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Omgeving	6
2.3 Bouwlocatie	8
2.4 Geplande bebouwing	9
3 Beoordelingskader	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Grootheden	10
3.3 Streefwaarden	10
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	11
4 Meetresultaten	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Meetresultaten	13
4.3 Korte duurmeting	14
5 Analyse en berekeningen	16
5.1 Prognosemethode	16
5.1.1. <i>Overdracht tussen meetpunten</i>	17
5.1.2. <i>Overdracht in gebouwen</i>	17
5.2 Resultaten op maaiveld	18
5.2.1. <i>Verwachtingswaarde trillingen in gebouwen</i>	18
5.2.2. <i>Bovengrens van trillingen in gebouwen</i>	19
5.3 Betrouwbaarheid	21
5.4 Snelheidstoename	21
5.5 Voorkomen van trillingshinder	23
6 Conclusies en aanbevelingen	24
6.1 Conclusies	24
6.2 Aanbevelingen	24
Colofon	26
Bijlage I - Gegevens van de metingen	i

Bijlage II – Meetresultaten	ii
Bijlage III – Bodemgegevens	iii
Bijlage IV – Snelheidsrelatie	iv

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het bestemmingsplan, dat de gemeente Delft aan het opstellen is voor het Bacinol terrein. De gemeente onderzoekt of het mogelijk is om hier kantoren te ontwikkelen, als uitvloeisel van een planschadezaak waarin Delft in de gelegenheid is gesteld deze planschade in natura te compenseren.

De spoorlijn Delft-Rotterdam grenst aan de locatie. Om inzicht te krijgen in de effecten van de trillingen van het spoorverkeer op mogelijke bebouwing in het plangebied, is opdracht gegeven tot dit onderzoek.

1.2 Doel

U heeft ons gevraagd om een onderzoek uit te voeren om de volgende punten vast te stellen:

1. Wat zijn de effecten van de trillingen door het spoor op de geplande bebouwing binnen het bouwvlak?
2. Wat zijn de randvoorwaarden waaraan de (constructie van de) bebouwing moet voldoen?
3. Wat is de vergunbaarheid van de geplande bebouwing (al dan niet voorzien van constructieve maatregelen) vanuit het oogpunt van trillingen in de nabijheid van het spoor?

Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt of, en zo ja welke maatregelen nodig zijn om trillingshinder te voorkomen. Dit geeft inzicht in de uitvoerbaarheid van het bestemmingsplan.

Tenslotte heeft u ons gevraagd rekening te houden met het tracébesluit *Programma Hoogfrequent Spoorvervoer viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid* van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. U wilt weten in hoeverre de uitkomsten van het onderzoek door PHS Rijswijk – Rotterdam worden beïnvloed.

1.3 Aanpak

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

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van het plangebied. Deze meting bestaat uit drie onderdelen:
 - a. Meting waarmee wij de uitdamping van de trillingen met de afstand vaststellen (hoe verder van het spoor, hoe lager de trillingen). Deze meting heeft een beperkte meetduur van enkele uren, voldoende om de eigenschappen van de bodem en de uitdamping met de afstand vast te stellen.
 - b. Meting waarmee de lokale variatie van de trillingen bepalen parallel aan het spoor. Deze meting heeft ook een beperkte meetduur van enkele uren.
 - c. Meting waarmee wij over langere tijd (2 weken) de trillingssterktes vaststellen. Het grillige karakter van goederentreinen (grote variatie in passeertijd, zwaarte, etc.) maakt een meetduur van een week wenselijk.
 - d. Meting waarbij wij gedurende kortere tijd de invloed van een hogere rijsnelheid (120 i.p.v. huidige 80 km/h) vaststellen.

2. Het maken van een prognose van de trillingssterktes in de geplande kantoren.
Omdat de constructieve eigenschappen nog niet bekend zijn, is een aantal verschillende constructietypes beschouwd.
Op basis van deze resultaten geven wij een advies over of, en zo ja, hoe trillingshinder in de geplande kantoren kan worden 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. (bouwkundige) optimalisaties om trillingshinder te voorkomen. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

en Milieu¹, de treinintensiteit toenemen. Het de huidige treinintensiteit gedurende de dag, avond en nacht is weergegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Huidige treinintensiteiten per uur

	Reizigers	Goederen
Dag	24,00	0,10
Avond	24,00	0,10
Nacht	3,00	0,10

Tabel 2-2 geeft de geplande toename van het treinverkeer in 2020 weer². In de plansituatie is het aantal trein per uur gelijk voor 2020 en 2030. Het effect van de verwachte toename van het treinverkeer is verwerkt in de berekeningen.

Tabel 2-2 Toekomstige (2020 t/m 2030) treinintensiteiten per uur

	Reizigers	Goederen
Dag	28,00	0,25
Avond	28,00	0,25
Nacht	3,00	0,25

Om de toename in treinenintensiteit mogelijk te maken zal ProRail het huidige tweesporige traject uitbreiden naar vier sporen. De kleinste afstand tot de trillingsbron veranderd hier echter niet door, uitbreiding van de sporen is aan de westzijde.

De rijksnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-3, en gebaseerd op de huidige tijdelijke maximale snelheid in de tunnel. Dit is een tijdelijke maatregel doordat er problemen zijn met de luchtdruk in de tunnel bij snel rijdende treinen. ProRail onderzoekt momenteel mogelijkheden om de maximale snelheid van 80km/u te verhogen tot 140km/u (baanvaksnelheid waar ook het trillingsonderzoek uit Tracebesluit PHS). Echter, het is niet bekend of en wanneer dit plaats zal vinden. Dit verschil in snelheid kan een effect hebben op de uiteindelijke trillingssterktes. Bij aardebaan sporen zijn er relaties bekend tussen treinsnelheden en trillingssterktes. Bij een snelheidstoename van 80 km/u tot 140km/u volgt daaruit een verwachte toename van 80% voor de trillingssterktes. Voor deze situatie, waarbij het spoor in een tunnel/tunnelmond is geplaatst, zijn geen gegevens beschikbaar maar zal dit echter te conservatief zijn. De inschatting is dat voor deze locatie de toename in trillingssterkte beperkt zal blijven tot 0% á 20%. Dit wordt ook ondersteund met de resultaten vermeld in bijlage IV. Deze rapportage neemt de huidige situatie als uitgangspunt, wel is in hoofdstuk 5.4 op basis van een beperkte meting onderzoek gedaan naar het verhogen van de rijksnelheid naar 120 en 140 km/h.

¹ <https://www.platformparticipatie.nl/projectenlijst/Spooruitbreiding-Rijswijk-Delft-Zuid/Tracebesluit/>

² https://www.platformparticipatie.nl/binaries/Trac%C3%A9besluit_tcm117-339878.pdf tabel 3.3, pagina 66

Tabel 2-3 *Rijsnelheden treinverkeer*

Corridor	Type trein	Snelheid (km/h)
Delft – Den Haag	Reizigerstreinen	80
Delft – Den Haag	Goederentreinen	80

2.3 Bouwlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveldniveau op de onderzoekslocatie (die het plangebied omvat) van de geplande nieuwbouw. Een plattegrond van de onderzoekslocatie met daarop de meetpunten is weergegeven in Figuur 2.3-1.



Figuur 2.3-1 *Onderzoekslocatie met meetpunten*

Op de onderzoekslocatie zijn drie metingen uitgevoerd op maaiveld: een onbemande lange meting (twee weken) met één meetpunt en twee bemande korte metingen met de eerste keer zes meetpunten en de tweede keer drie meetpunten op meerdere posities. Het meetpunt voor de lange meting is ook tijdens eerste korte meting gebruikt. Met de gegevens van de langeduurmeting is het trillingsbeeld van een breed scala aan passerende treinen bepaald voor één punt op de onderzoekslocatie. Met de extra meetpunten van de eerste korteduurmeting zijn de effecten zoals het uitdempen van trillingen met de afstand, en de invloed van de variabiliteit in de ondergrond van de projectlocatie bepaald. De tweede korteduurmeting is uitgevoerd om de parallelle meetraai verder door te zetten het plangebied in. Dit om de invloed op het trillingsbeeld mee te nemen van de variatie in de constructie van de half open tunnelbak. De overdrachten van het meetpunt uit de langeduurmeting naar de meetpunten van de tweede korteduurmetingen zijn te vinden in Hoofdstuk 4 Meetresultaten.

2.4 Geplande bebouwing

De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet exact bekend. Er wordt voor dit onderzoek gerekend met een bouwhoogte van 25 meter, met een aantal verschillende beukmaten, fundering op staal of palen en twee verschillende afstanden tot het spoor. In dit onderzoek is gerekend met de eigenschappen zoals opgenomen in Tabel 2-4, waarbij de bovenste verdieping gebruikt wordt met een hoogte van 21 meter.

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 constructietype, op basis van de gegeven eigenschappen.

Naar verwachting wordt de toekomstige bebouwing op palen gefundeerd.

Tabel 2-4 *Eigenschappen bebouwing*

Gebouwtype	Beukmaat	Vloertype	Funderingstype
1	6	Kanaalplaatvloer	Palen
2	7	Kanaalplaatvloer	Palen
3	8	Kanaalplaatvloer	Palen
4	6	Kanaalplaatvloer	Staal
5	7	Kanaalplaatvloer	Staal
6	8	Kanaalplaatvloer	Staal

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 eerdere projecten in de omgeving van de spoortunnel in Delft verwachten wij geen onaanvaardbaar schaderisico aan een kantoorpand op deze locatie. Daarom is er 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.

De SBR B-richtlijn heeft geen wettelijke status.³ Daarom bevat de richtlijnen 'streefwaarden'. Wettelijk kader ontbreekt.

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 typen 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} .

³ De richtlijnen voor bijvoorbeeld geluid hebben wel een wettelijke status.

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. Echter voor de gebouwfunctie 'Kantoor' zijn de streefwaarden voor dag, avond en nacht gelijk aan elkaar.

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 kantoor, zie de waarden in Tabel 3-1.

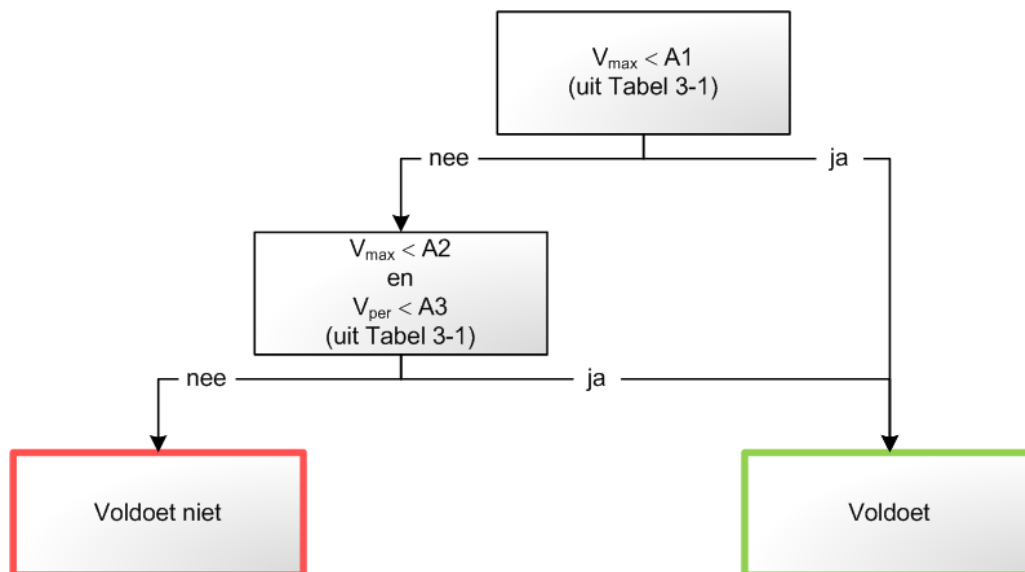
Tabel 3-1 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1 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

3.4 Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3.4-1 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 3.4-1 Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

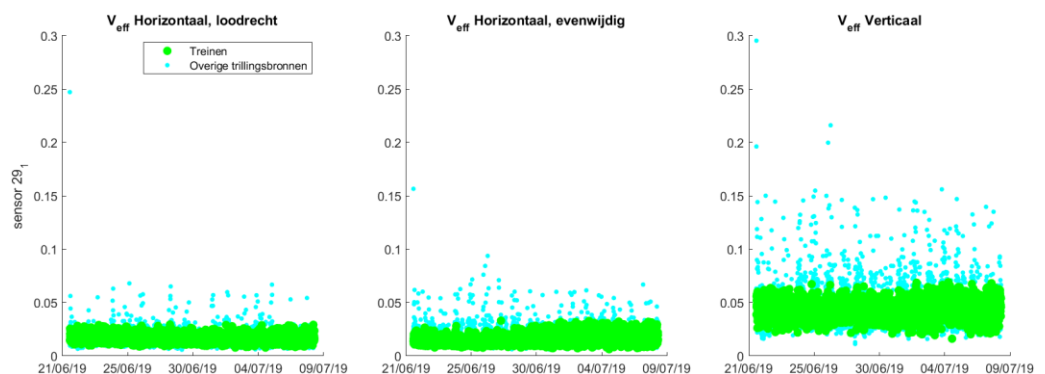
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een korte meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingssterktes binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een lange meting met één meetpunt, 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 trillingssterktes van de treinen tijdens de lange meting zijn per richting weergegeven in Figuur 4.2-1. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 26 meter afstand tot de tunnelbak. Zoals te zien zijn er ook veel overige trillingsbronnen die hogere trillingen veroorzaken. Dit komt vermoedelijk van de naast gelegen weg. 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).

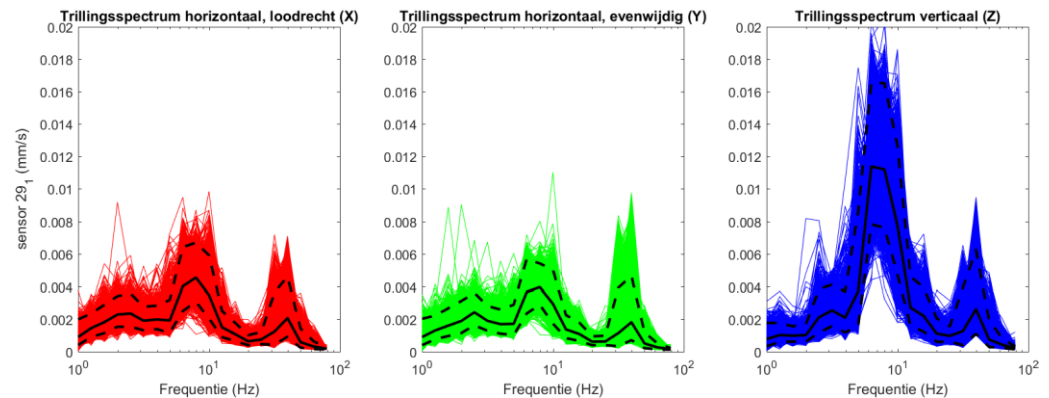


Figuur 4.2-1 Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd

De gemeten trillingssterktes zijn in de verticale richting het grootste. Gedurende de hele periode zijn er ook veel en hoge stoorsignalen gemeten ('overige trillingsbronnen'). Het onderscheid tussen een trein en een overige trillingsbron is gemaakt op basis van signaalanalyse, beeldanalyse en de dienstregeling. Deze kunnen bijvoorbeeld worden veroorzaakt door de naast gelegen weg, de trambaan of de fabrieken. De vraag was om specifiek de effecten van de trillingen door het spoor op de geplande bebouwing te onderzoeken. Echter blijkt dat er overige trillingsbronnen zijn die zeer frequent optreden en een grote trillingssterkte hebben. Deze trillingen zullen uiteindelijk dus ook sterk meewegen in het uiteindelijke trillingsniveau in het gebouw.

Het trillingsspectrum van de gemeten treinen op maaiveld is weergegeven in Figuur 4.2-2. De trillingen zijn in de verticale richting wat sterker dan in de horizontale richtingen. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 4 en de 11 Hz. Daarnaast zijn er bij hogere frequenties van tussen de 25 en 40 Hz ook hoge trillingssterktes. Normaliter

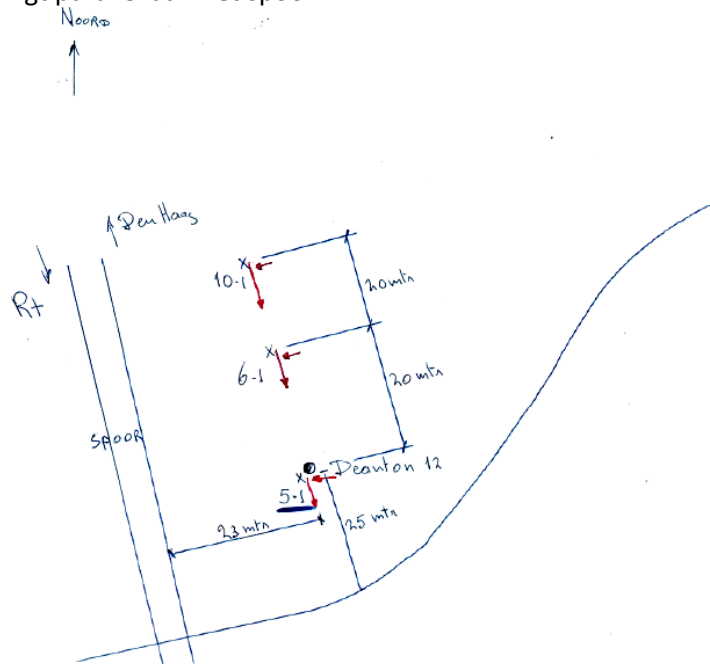
zijn de amplitudes niet dusdanig hoog bij deze frequenties, maar dit wordt op deze locatie veroorzaakt door de stijve constructie van de tunnelbak. Deze bevindingen komen overeen met een eerder project wat Movares heeft uitgevoerd op een andere plek vlakbij de tunnel in Delft.



Figuur 4.2-2 Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting in X- Y- en Z-richting

4.3 Korte duurmeting

Een situatieschets van de tweede korteduurmeting staat in Figuur 4.3-1. Meetpunt 5 (5_1) ligt op dezelfde plek als de meetpunt van de langeduurmeting. De meetraai ligt parallel aan het spoor.

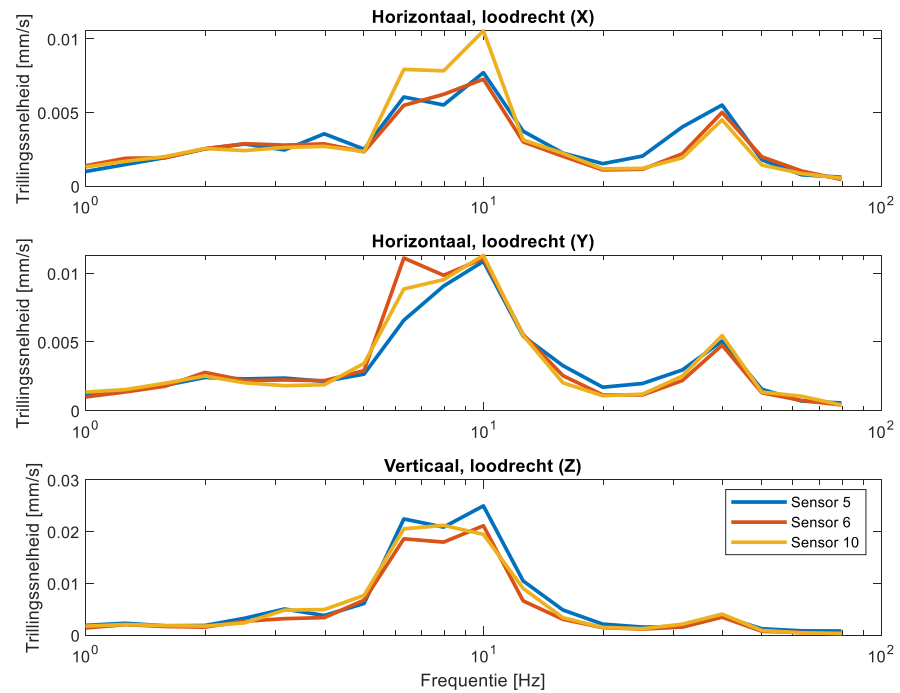


Figuur 4.3-1 Situatieschets van tweede korteduurmeting

In Figuur 4.2-2 is het gemiddelde trillingsspectrum van representatieve treinen weergegeven op de meetpunten parallel aan het spoor. Met name in de horizontale richting (x en y) zijn er verschillen tussen de 5 en de 10 Hz. Op locatie 6 en 10 zijn er hogere trillingsnelheden gemeten voor die frequenties.

In de verticale richting (z) zien we dat op de meetlocatie met sensor 5 de hoogste trillingssnelheden worden gemeten.

Uit de resultaten (hoofdstuk 5) kwam naar voren dat de z-richting de maatgevende trillingsrichting is, en dus bepalend is voor eventuele trillingshinder. De berekeningen uit dit onderzoek zijn gebaseerd op het blauwe meetpunt (sensor 5), welke dus ook bepalend zal zijn voor het uiteindelijke trillingsniveau in het te bouwen gebouw.



Figuur 4.3-2 *Trillingsspectra van treinpassages tijdens de tweede kortduurmeting in X- Y- en Z-richting op maaiveld*

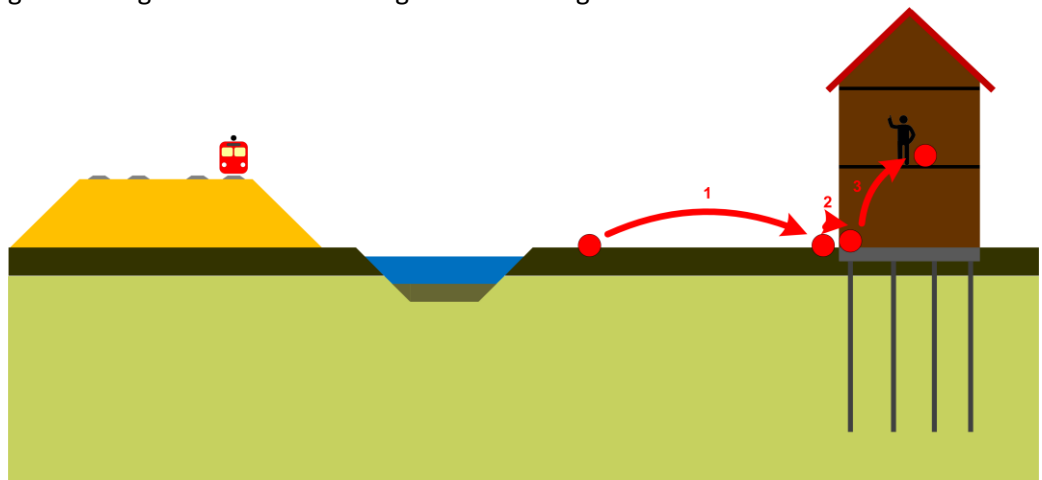
5 Analyse en berekeningen

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. 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 trillingssterktes lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingssterktes in de gebouwen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingssterktes lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterktes en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de vloeren erg slap worden geconstrueerd (grote vloeroverspanningen, dunne vloeren).

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5.1-1.



Figuur 5.1-1 Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingssterktes van de langeduurmeting worden vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwblok, door de trillingssterktes bij het bouwvlak uit de korteduurmeting te delen op de trillingssterktes bij het meetpunt van de langeduurmeting uit de korteduurmeting. Deze overdracht corrigeert voor bijvoorbeeld verschillen in afstand tot het spoor (uitdamping van de trillingssterkte met de afstand) en voor variatie in de bodem of de spoorligging.
2. De trillingssterktes op maaiveld worden vertaald naar een meetpunt op de fundering van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering).

3. De trillingssterktes op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).

Resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssterktes in het gebouw, waarbij elke afzonderlijke trein zoals gemeten is bij de langeduurmeting is vertaald naar een trillingssterkte in het gebouw. Over deze trillingssterktes worden de parameters V_{max} en V_{per} bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

5.1.1. Overdracht tussen meetpunten

De overdracht van het meetpunt uit de langeduurmeting naar de overige meetpunten is bepaald tijdens de korte meting. Op basis daarvan is de uitdemping van de trillingssterkte met de afstand bepaald, zie Bijlage II. Hierbij is gebruik gemaakt van de Barkan vergelijking, een empirische formule die de uitdemping van de trillingssterkte met de afstand beschrijft. Door deze uitdemping te vermenigvuldigen met de trillingssterktes uit de langeduurmeting, zijn de trillingssterktes uit die meting op elk willekeurig punt te bepalen.

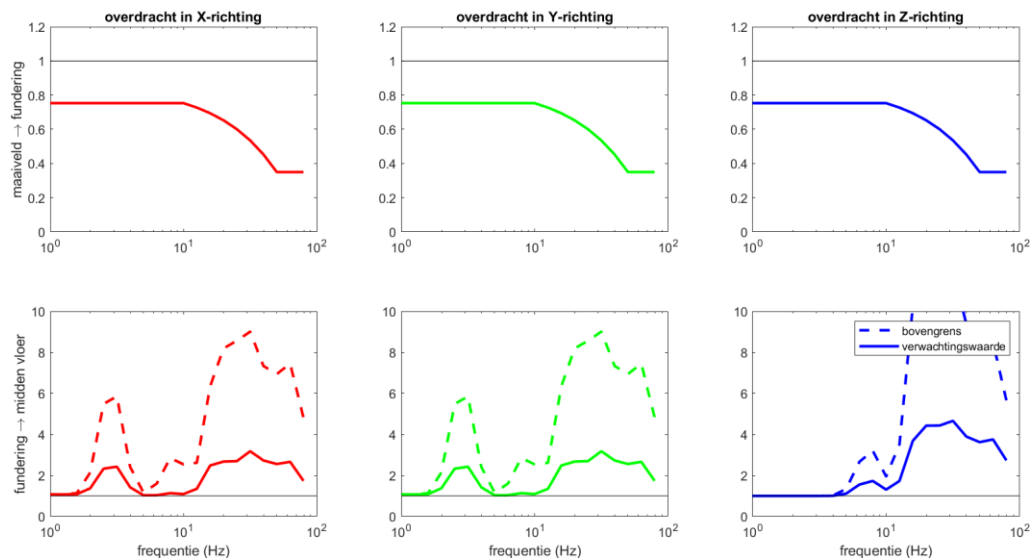
5.1.2. Overdracht in gebouwen

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingssterktes van maaiveld naar fundering⁴. 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. Het document van VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op een combinatie van meetresultaten in vergelijkbare gebouwen en analytische formules die het gedrag van gebouwen en vloeren beschrijven. Voor gebouwtype 1 zijn deze resultaten weergegeven in Figuur 5.1-2. Hierbij is X loodrecht op het spoor en Y parallel aan het spoor.

Wat opvalt is dat de grootste opslingingering binnen de constructie optreedt bij frequenties boven de 10 Hz. In het vorige hoofdstuk werd geconstateerd dat de dominante trillingsfrequenties tussen de 4 en 11 Hz zijn gemeten. Maar in de overdracht van fundering naar midden vloerveld is het dus duidelijk hogere frequenties voor de grootste opslingingering zorgen. Deze hoge frequenties worden echter wel goed gedempt door de overdracht van maaiveld naar fundering.

⁴ Rekenmodel voor de bepaling van trillingsniveau, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.



Figuur 5.1-2 Overdracht van de trillingssterktes van maaiveld naar de fundering (boven) en van de fundering naar midden vloerveld (onder) voor gebouwtype 1

5.2 Resultaten op maaiveld

De resultaten van de langeduurmeting (meetpunt op 26 meter afstand) zijn weergegeven in Tabel 5-1. Hier valt op dat op maaiveld de gemeten trillingssterktes relatief meevallen qua sterkte.

Tabel 5-1 Meetresultaten en beoordeling op maaiveld

	X	Y	Z
Vper, dag	0,00	0,00	0,00
Vper, avond	0,00	0,00	0,00
Vper, nacht	0,00	0,00	0,00
Vmax, gemeten	0.03	0.03	0.07

5.2.1. Verwachtingswaarde trillingen in gebouwen

Vervolgens is voor alle beschouwde gebouwtypes (Tabel 2-4) een prognose gemaakt van de trillingssterktes in de gebouwen op de vloeren op de hoogste verdieping. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn in Tabel 5-2 rood als de streefwaarden worden overschreden. Bij alle beschouwde gebouwtypes worden de grenswaardes, voor ‘kantoor’ voor nieuw te bouwen gebouwen, niet overschreden.

Tabel 5-2 Verwachte trillingssterktes in gebouwen op 0 meter van de geluidswal (op basis van de gedane metingen)

Gebouwtype	Vmax	Vper
1	0.39	0.06
2	0.28	0.04
3	0.23	0.05
4	0.39	0.06
5	0.28	0.04
6	0.23	0.05

De berekende V_{max} waarden hebben een grotere waarde dan de gemeten trillingssterktes op het maaiveld. Dit betekent dat er een opslinging van de trillingssterktes is in de geplande constructies. Dat komt overeen met de verwachtingen bij dit type constructie. De opslinging vindt vooral plaats bij de hogere frequenties (> 10Hz). De constructietypes dicht bij het spoor hebben baat bij een grote beukmaat, hierdoor vallen de trillingen van de treinen namelijk minder samen met de gevoeligheid van het gebouw.

Met de meetdata van de meetraai haaks op het spoor uit de kortduurmeting (zie Bijlage II), is het effect van de bodemdamping en de geometrische spreiding bepaald. Deze effecten zijn meegenomen in de berekening van de trillingssterktes in de gebouwtypen op verschillende afstanden van het spoor. In Tabel 5-3 staan de verwachte trillingen in gebouwen bij 25 meter afstand van de geluidswal.

Tabel 5-3 *Verwachte trillingssterktes in gebouwen 25 meter van de geluidswal (op basis van de gedane metingen)*

Gebouwtype	V _{max}	V _{per}
1	0.11	0
2	0.14	0.01
3	0.15	0.02
4	0.11	0.00
5	0.14	0.01
6	0.15	0.03

5.2.2. Bovengrens van trillingen in gebouwen

De hierboven genoemde waarden zijn de verwachtingswaarde van de trillingssterktes (50%-waarde). Met de 95%-waarde wordt een bovengrens voor de verwachte trillingssterktes gegeven, deze 95%-waarde correspondeert met de bovengrens aan de opslinging van trillingssterktes in constructies zoals wij die tegenkomen in praktijkmetingen. Concreet correspondeert deze 95%-bovengrenswaarde met een situatie waarin gebouwen relatief kaal zijn ingericht (weinig damping, relatief slappe constructie). De 50%-waarde correspondeert meer met de meest voorkomende situaties en is naar verwachting meer representatief voor de te bouwen gebouwen.

In Tabel 5-5 is per gebouwtype de bovengrens van de trillingssterktes in de constructie weergegeven. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn rood gearceerd wanneer een overschrijding optreedt van de streefwaarden.

Tabel 5-4 *Bovengrens voor trillingssterktes in gebouwen 0 meter van de geluidswal*

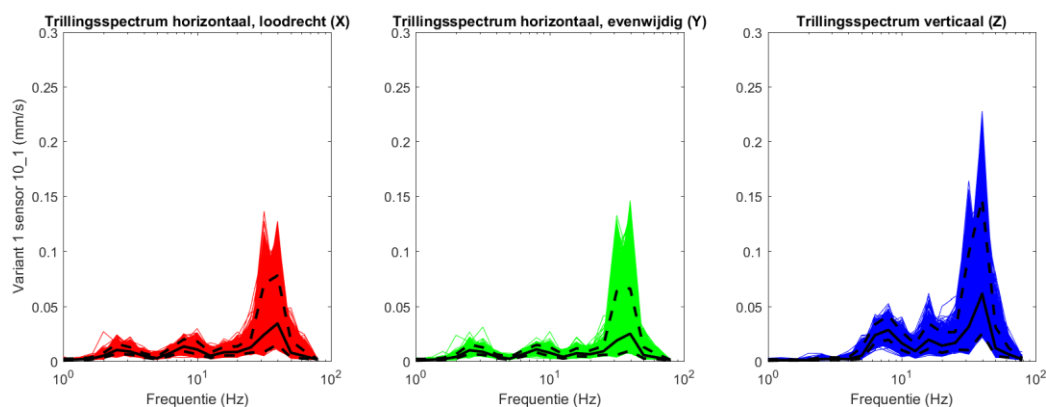
Gebouwtype	V _{max}	V _{per}
1	0.96	0.15
2	0.75	0.13
3	0.69	0.16
4	0.96	0.15
5	0.75	0.13
6	0.69	0.17

Tabel 5-5 *Bovengrens voor trillingssterktes in gebouwen 25 meter van de geluidswal*

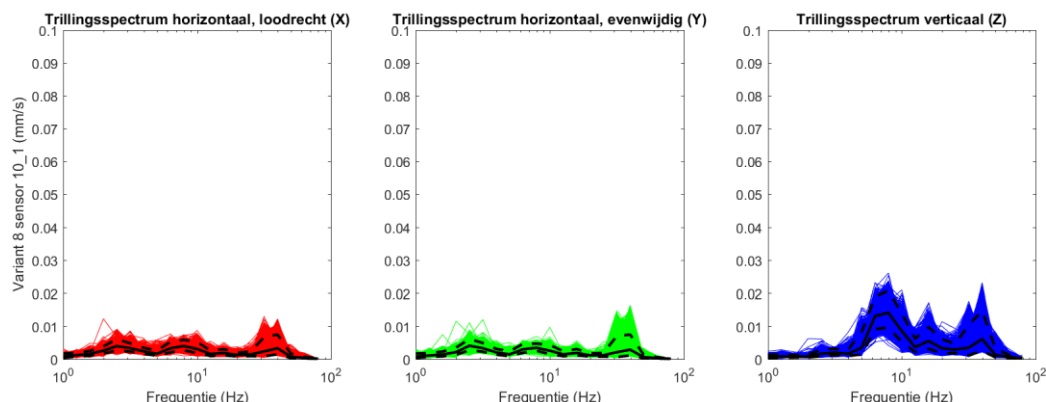
Gebouwtype	V _{max}	V _{per}
1	0.29	0.05
2	0.42	0.07
3	0.51	0.13
4	0.29	0.06
5	0.42	0.08
6	0.50	0.13

Een aantal opmerkingen bij de resultaten:

- De hoge frequenties dempen goed uit als functie van de afstand, zie ook Figuur 5.1-2. Dit verklaart het grote verschil tussen 0 meter en 25 meter van de geluidswal. Dit is ook duidelijk te zien in de verschillen tussen Figuur 5.2-1 en Figuur 5.2-2 waarbij in Figuur 5.2-2 duidelijk is dat het hoge-orde effect erg sterk wordt gedempt.
- Zoals eerder vermeld zijn, bij een goede bouwwijze, de rekenresultaten voor de verwachtingswaarde het meest representatief. De bovengrenswaarde is alleen representatief bij slappere varianten dan hier beschouwd, met minder demping in de constructie. De verwachtingswaarde van de trillingssterktes is meer representatief voor de geplande bebouwing; daarom is deze bovengrensberekening vooral facultatief.



Figuur 5.2-1 *Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting in X- Y- en Z- richting voor gebouwtype 1 op 0 meter van de geluidswal*



Figuur 5.2-2 *Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting in X- Y- en Z-richting voor gebouwtype 1 op 25 meter van de geluidswal*

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 hierboven beschreven:

1. De rijsnelheid van de treinen ten opzichte van de situatie waarvan in dit onderzoek is uitgegaan. Zoals eerder vermeld kan een hogere rijsnelheid tot een toename in trillingen. De invloed hiervan wordt beschreven in paragraaf 5.4.
2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe. Het projecteffect van PHS Rijswijk – Rotterdam (meer treinen) is al wel opgenomen in deze berekeningen.
3. Het type materieel wat wordt ingezet door NS. In de huidige situatie rijdt namelijk vaak de TRAXX in trekduw-combinatie met ICRM-h rijtuigen. Vooral de TRAXX locomotief staat bekend dat hij veel (trillings)hinder veroorzaakt.
4. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingssterktes van het treinverkeer; deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging bij aarde baan constructie voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingssterktes. Maar op deze locatie zorgt de tunnelconstructie voor een kleinere variatie;
5. 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.

5.4 Snelheidstoename

Momenteel is de maximale rijsnelheid door de spoortunnel in Delft 80km/u. Mogelijk wordt deze verhoogd naar 120km/u. Als gevolg van deze snelheidsverhoging kan een deel van de passerende treinen hogere trillingsniveaus veroorzaken dan nu het geval is.

In de nacht van 4 op 5 oktober heeft ProRail proeven uitgevoerd met treinen die met 120 km/u door de spoortunnel reden. Gedurende deze proef zijn er op de projectlocatie metingen uitgevoerd op punt 10_1 in Figuur 4.3-1. Op basis van deze metingen zijn de trillingen veroorzaakt door treinen met verschillende snelheden met elkaar vergeleken. Voor passages van treinen met een maximale snelheid van 80 km/u en met een snelheid van 120 km/u is de trillingssterkte $V_{eff,max}$ bepaald. Vervolgens is de toename van deze trillingssterkte bepaald, zie Tabel 5-6.

Tabel 5-6 Gemiddelde trillingen en toename trillingen bij passages met 80 km/u en 120 km/u

	X	Y	Z
Gemiddelde $V_{\text{eff,max}}$ bij 80 km/u	0,06	0,04	0,09
Gemiddelde $V_{\text{eff,max}}$ bij 120 km/u	0,10	0,07	0,11
Gemiddelde versterking $V_{\text{eff,max}}$	1,79	1,75	1,22

De horizontale trillingen worden meer versterkt dan de verticale trillingen. Toch bleef de Z-richting de dominante richting bij de gemeten passages. In Tabel 5-1 zijn de originele meetresultaten op maaiveld weergegeven (bij 80 km/h). Bij 120 km/h resulteren de waarden op maaiveld zoals weergegeven in Tabel 5-7.

Tabel 5-7 Verwachte V_{max} op maaiveld bij 120 km/u

	X	Y	Z
V_{max} , gemeten	0,05	0,05	0,09

De trillingssterkte neemt bij een snelheidsverhoging naar 120 km/u met zo'n 20% toe. Bij een verdere verhoging naar 140 km/h zal de toename naar verwachting kleiner zijn dan 25%.

Voor een gebouw kort op het spoor, zoals weergegeven in Tabel 5-2, betekend dit dat de verwachte trillingssterkte ook zo'n 20% hoger komt te liggen, zie Tabel 5-8. Naar verwachting zal ook na een snelheidsverhoging tot 120 km/u de SBR-B richtlijn voor kantoorgebouwen niet worden overschreden. Ook bij 140 km/h wordt naar verwachting nog steeds voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B richtlijn.

Tabel 5-8 Verwachtingswaarde voor de trillingen voor een gebouw op 0m van de tunnel, na een snelheidsverhoging tot 120km/u

Gebouwtype	V_{max}
1	0,48
2	0,34
3	0,28
4	0,48
5	0,34
6	0,28

Bij de uitkomsten van het onderzoek naar de trillingsniveaus bij een snelheidsverhoging van 80 km/u naar 120 km/u plaatsen wij een aantal kanttekeningen:

1. In de toekomstige situatie zullen alleen doorgaande reizigerstreinen met 120 km/u passeren, mits de snelheidsverhoging doorgang vindt en mits de nieuwe maximale snelheid wordt vastgesteld op 120 km/u. De meeste treinen stoppen echter bij station Delft. Deze treinen zullen de planlocatie niet passeren met 120 km/u. Voor de meeste treinen geldt dus dat ze in de toekomst passeren met een snelheid tussen de 80 km/u en de 120 km/u. De toename van V_{per} (tijdsgemiddelde van de trillingen) is dus minder dan 20%.

2. Uit de meetdata van de testnacht zijn slechts van 5 passerende treinen met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid vastgesteld dat deze met 120 km/u langs het plan gebied hebben gereden. Met een dergelijke beperkte meting is het niet mogelijk om de spreiding in meetwaarden te bepalen, zoals dat voor de eerdere meting met 80 km/h wel is gedaan. De onzekerheid van de invloed van de snelheidstoename is daarmee niet goed te bepalen.
3. De invloed van de snelheidstoename is afhankelijk van de trillingsfrequentie. Uit de metingen blijkt dat bij frequenties tussen orde 10 en orde 20 Hz een aanzienlijk grotere versterking optreedt dan de hier genoemde 20%. Dat betekent dat bij zeer stijf geconstrueerde vloeren (met een eigenfrequentie tussen orde 10 en orde 20 Hz) een veel hogere versterking kan optreden, en overschrijdingen van de SBR B-richtlijn dus wel mogelijk zijn.

5.5 Voorkomen van trillingshinder

Wanneer het kantoorpand op 0 meter van de geluidswal wordt gebouwd is er een kleine kans op hinder. Bij zeer stijf geconstrueerde vloeren (met een eigenfrequentie tussen orde 10 en orde 20 Hz) is bij een hogere snelheid van de treinen (120 km/h i.p.v. huidige 80 km/h) wel een overschrijding van de streefwaarden mogelijk. Deze overschrijding neemt nog iets verder toe bij een verdere verhoging van de rijsnelheid naar 140 km/h. Wij adviseren daarom om de eigenfrequentie van de vloeren buiten dit frequentiebereik te houden.

Op een afstand van 25m is de kans op hinder verwaarloosbaar voor een pand met vloeroverspanningen van 6 t/m 8 meter. Gezien het feit dat de kans op hinder slechts klein is, zijn bij een conventioneel gebouwd kantoor geen constructieve maatregelen nodig om trillingshinder te voorkomen. Naar verwachting is geen sprake van een onwerkbaar verblijfsklimaat in dit kantoorpand.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingssterkten in het nieuw te bouwen gebouw op het Bacinol terrein in Delft te bepalen. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR-B-richtlijn.

De metingen hebben plaatsgevonden aan treinpassages van 80 km/h en treinpassages van 120 km/h. Op basis van extrapolatie zijn vanuit de resultaten van treinpassages van 120 km/h conclusies getrokken voor de baanvaknelheid van 140 km/h. In de gegeven omstandigheden, waarin metingen aan treinpassages met 140 km/h onmogelijk zijn, is dat de nauwkeurigste methode.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt geen trillingshinder verwacht voor een kantoorpand binnen het plangebied. Er is gekeken naar meerdere gebouwtypes op 2 afstanden tot het spoor/geluidswal:

- Op 0 meter van de geluidswal overschrijdt de verwachtingswaarde de norm niet. De verwachte bovengrens overschrijdt de norm wel. Dit zal alleen optreden bij zeer ongunstige constructieve eigenschappen van het gebouw. Bij een toename van de rijsnelheid van de doorgaande treinen van 80 naar 120 km/h is bij zeer stijf geconstrueerde vloeren (met een eigenfrequentie tussen orde 10 en orde 20 Hz) wel een overschrijding van de streefwaarden mogelijk. Bij een verdere verhoging naar 140 km/h nemen de overschrijdingen iets verder toe.
- Op 25 meter van de geluidswal is er eveneens bij de verwachtingswaarde geen overschrijding. Bij de te verwachten bovengrens zijn er 3 gebouwtypes die de norm licht overschrijden. De kans dat dit optreedt, is klein.

Gezien het feit dat de kans op hinder slechts klein is, zijn bij een conventioneel gebouwd kantoor geen constructieve maatregelen nodig om trillingshinder te voorkomen.

6.2 Aanbevelingen

Bij een conventioneel gebouwd kantoorpand zijn constructieve maatregelen niet nodig om te voldoen aan het beoordelingskader voor trillingshinder. Mocht het nodig zijn om een deel van het terrein in te richten voor ondersteunende functies, zoals een parkeerterrein, dan geniet het de voorkeur om dit tussen het spoor en het kantoor te situeren, om zo de afstand tussen het spoor en het kantoor te vergroten en de kans op hinder verder te verkleinen.

Bij een toename van de rijsnelheid van 80 km/h tot 120 km/h kan bij zeer stijf geconstrueerde vloeren (met een eigenfrequentie tussen orde 10 en orde 20 Hz) wel een overschrijding van de streefwaarden optreden; deze overschrijding neemt naar verwachting iets toe bij een rijsnelheid van 140 km/h. Wij adviseren daarom om de eigenfrequentie van de vloeren buiten dit frequentiebereik te houden.

Op dit moment is er geen aanleiding om zonder meer te stellen dat er een onaanvaardbare situatie zal zijn, gegeven de kantoorfunctie van de geplande

gebouwen. Wel adviseren wij om in het ontwerptraject een verdere analyse van de verwachte trillingssterkten te maken, zodat het ontwerp hierop kan worden afgestemd.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Delft

Uitgave Movares Nederland B.V.

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

Daalse Kwint
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 06 51 62 44 37

Projectnummer RM006790

Kenmerk D79-RGE-KA-1900061

© 2019, 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.

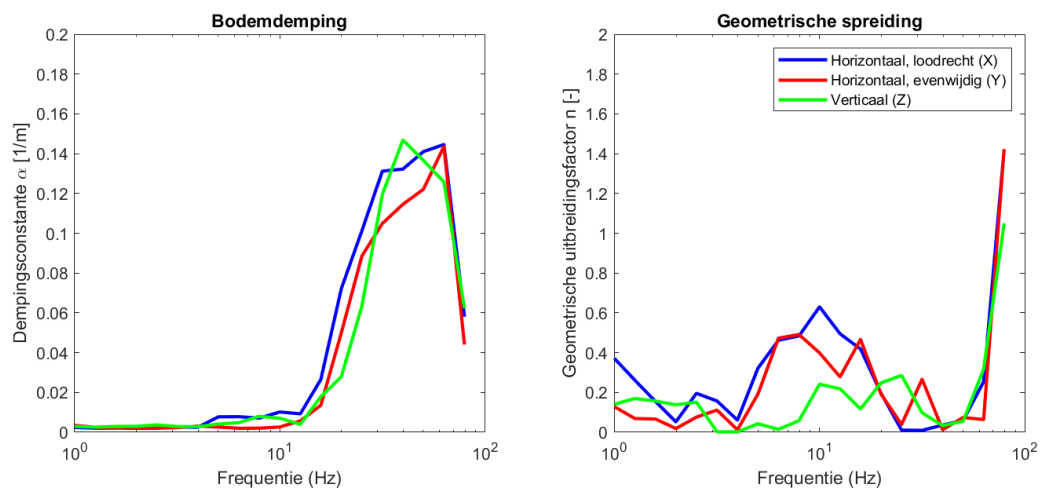
Bijlage I - Gegevens van de metingen

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

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Mark Wijnands e-mail: mark.wijnands@movares.nl tel.: 06 - 51 62 44 37</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Niels Lommers</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>21-06-2019 12:00 tot 21-06-2019 16:00 (eerste korteduurmeting) 21-06-2019 12:00 tot 08-07-2019 9:00 (langeduurmeting) 14-08-2019 11:00 tot 14-08-2019 13:00 (tweede korteduurmeting)</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Niet van toepassing</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Zeven 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX. Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatief classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

Bijlage II – Meetresultaten

In Figuur II-6.2-1 zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven. Links is de bodemdemping weergegeven, rechts de geometrische spreiding van de trillingen. De bodemdemping is zeer laag, waardoor de trillingen slecht uitdempnen met de afstand.



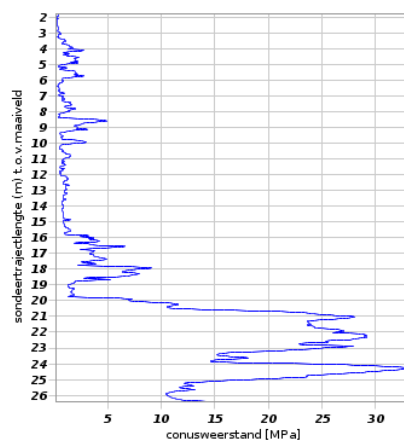
Figuur II-6.2-1 Bodemdemping en geometrische spreiding

Bijlage III – Bodemgegevens

In deze bijlage zijn sonderingen opgenomen die een beeld geven van de bodemopbouw ter plekke. Binnen het onderzoeksgebied zijn geen sonderingen beschikbaar in Dino Locket. Sondering CPT000000033359 (Figuur III-6.2-1) valt buiten het onderzoeksgebied, maar mag gezien worden als representatief (gezien de onderlinge afstand van ongeveer 150m). Duidelijk is dat er vrij slappe toplagen aanwezig zijn. Met name de hoogfrequente trillingen dempen door de slappe bodem snel uit.

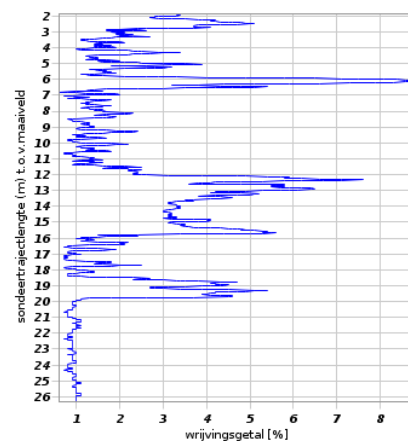
Geotechnisch sondeeronderzoek BRO

BRO-ID: CPT000000033359
Aangeleverde coördinaten: 83867.000, 447888.000 (RD)



Geotechnisch sondeeronderzoek BRO

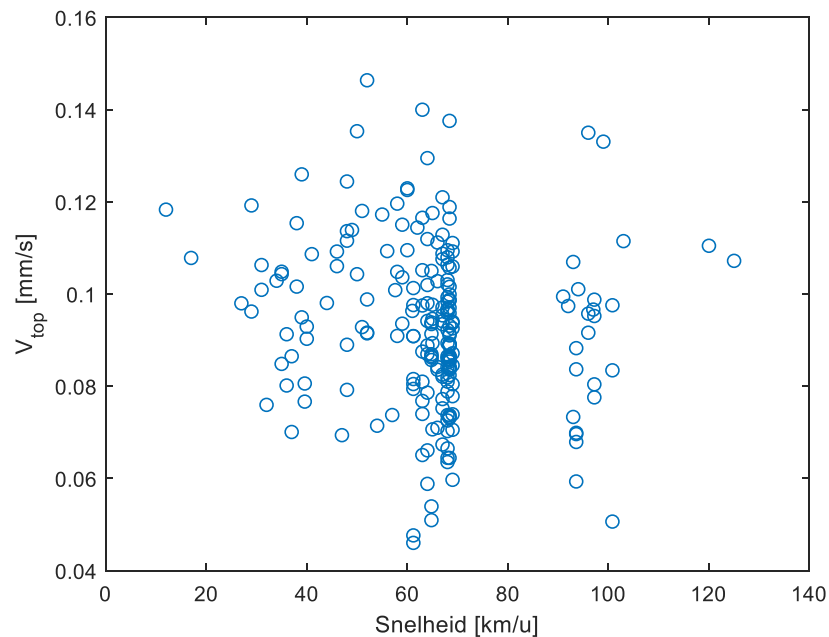
BRO-ID: CPT000000033359
Aangeleverde coördinaten: 83867.000, 447888.000 (RD)



Figuur III-6.2-1 Conusweerstand (links) en wrijvingsgetal (rechts) voor sondering CPT000000033359

Bijlage IV – Snelheidsrelatie

De toelaatbare treinsnelheid was gedurende het onderzoek lager dan wat er gepland is in de PHS. De verwachting is, zoals beschreven in paragraaf 2.2, dat een hogere snelheid maar beperkt zal leiden tot hogere trillingssterktes. Tijdens de meetperiode passeerde de meeste treinen met 80km/u maar er ook passages waarbij de snelheid lager of hoger lag. Zodoende kan gekeken worden, of op basis van deze beperkte hoeveelheid data al, of een relatie zichtbaar is tussen snelheid en trillingssterkte. In Figuur 6.2-1 is de trillingssterkte van treinpassages als functie van gereden snelheid (enkel voor treinen waarbij de snelheid onder 70km/u of boven 90km/u lag) afgebeeld. Hieruit blijkt dat er nauwelijks een toename van trillingssterktes te verwachten is voor hogere snelheden. Dit is echter maar een beperkte set data in een ongecontroleerde omgeving, zodoende raden we aanvullend onderzoek aan bij hogere snelheden.



Figuur 6.2-1 Trillingssterkte van treinpassages als functie van gereden snelheid