



Trillingenonderzoek Nieuw Boekhorst te Voorhout

Trillingenonderzoek Nieuw Boekhorst te Voorhout

Terra ontwikkeling

25 november 2022

Project Trillingenonderzoek Nieuw Boekhorst te Voorhout
Opdrachtgever Terra ontwikkeling

Document Trillingenonderzoek Nieuw Boekhorst te Voorhout
Status Definitief 03
Datum 25 november 2022
Referentie 129862/22-017.072

Projectcode 129862
Projectleider [REDACTED]
Projectdirecteur [REDACTED]

Auteur(s) [REDACTED]
Gecontroleerd door [REDACTED]
Goedgekeurd door [REDACTED]

Paraaf [REDACTED]

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
	1.1.1 Achtergrond	5
	1.1.2 Doel van het onderzoek	5
	1.1.3 Leeswijzer	5
2	PROJECTBESCHRIJVING	7
2.1	Locatie	7
2.2	Treinverkeer nabij gebiedsontwikkeling	10
3	AANPAK	12
3.1	Trillingsmetingen	12
3.2	Predictie trillingen voor toekomstige nieuwbouw	12
3.3	Toetsingskader SBR-richtlijn deel B	12
4	TRILLINGSMETINGEN	15
4.1	Uitvoering trillingsmetingen	15
4.2	Resultaten	18
	4.2.1 Maximale trillingsniveau	19
	4.2.2 Resultaten periodieke trillingsniveau	20
	4.2.3 Resultaten voor grondgebonden woningen het dichtste bij het spoor	20
	4.2.4 Resultaten metingen duiker	23
4.3	Analyseresultaten	24
5	PREDICTIE TOEKOMSTIGE SITUATIE EN TOETSING	25
5.1	Aanpak predictie trillingsniveau	25
5.2	Predictie en toetsing in woningen op basis van kengetallen	26
	5.2.1 Appartementengebouw	26
	5.2.2 Grondgebonden woningen naast het spoor	27
6	CONCLUSIES	29

7	REFERENTIES	30
	Laatste pagina	30
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Analyse meetresultaten	4

1

INLEIDING

1.1.1 Achtergrond

Nieuw Boekhorst is een nieuw te ontwikkelen woonwijk in Voorhout. Er hebben vijf marktpartijen een grondpositie in bezit, en zij werken in samenwerking met de gemeente Teylingen aan een ontwikkelingsplan. De doelstelling is om op deze locatie maximaal 1.300 woningen te realiseren.

Ten behoeve van de ontwikkeling van deze woningen is het nodig om trillingshinder ten gevolge van treinverkeer te bepalen voor een appartementengebouw en achtergelegen grondgebonden woningen. Dit onderzoek is nodig voor het bestemmingsplan. Witteveen+Bos voert dit onderzoek uit, in opdracht van Terra Ontwikkeling C.V.

De Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen [ref. 7] adviseert om bij ontwikkelingen van trillingsgevoelige bestemmingen die dichterbij dan 100 m van het spoor gelegen zijn een trillingenonderzoek te doen naar de kans op hinder ten gevolge van spoortrillingen. In dit onderzoek volgen wij de kaders zoals gegeven door de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen.

Gezien de afstand van de geplande nieuwbouw tot het nabijge spoor is een Quick scan trillingshinder, zoals omschreven in voorgenoemde Handreiking, niet afdoende. Daarbij speelt, naast de afstand tot het spoor, ook de nabijge kruising van het spoor met de onderdoorgang van de kruisende weg een rol. De nieuwbouw zal op een paalfundering gebouwd worden en het is niet uit te sluiten dat deze paalfundering in combinatie met de diepe fundatie van de onderdoorgang een rol speelt in de uiteindelijke trillingshinder van de te realiseren panden. Dit project-specifieke aandachtspunt wordt nader uitgelicht in het voorliggende rapport.

1.1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om op basis van in situ-metingen langs de spoorlijn in combinatie met analyses en berekeningen een inschatting te geven of er in de woningen sprake is van een kans op onacceptabele trillinghinder. Voor de aanpassing van het bestemmingsplan beoordeeld moet worden of er sprake is van een goede ruimtelijke ordening en een aanvaardbaar woon- en leefklimaat. Op basis van de uitgevoerde metingen en berekeningen wordt een oordeel gegeven of er trillinghinder wordt verwacht en/of er aan het bouwplan of de bouwconstructies aanvullende voorwaarden nodig zijn om trillinghinder als gevolg van de spoorlijn te voorkomen.

1.1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het project nader toegelicht. De aanpak van het trillingenonderzoek is uitgewerkt in hoofdstuk 3. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de metingen en analyse van de meetresultaten beschreven. Daarna wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op een predictie (berekening) van de verwachte trillingsniveaus op de ontwikkelingslocatie van het appartementengebouw en de grondgebonden woningen die het dichtst bij het spoor liggen. De conclusies en aanbeveling die volgen uit het onderzoek zijn samengevat in hoofdstuk 6.

Voor de uitwerking in dit onderzoek is gebruik gemaakt van relevante literatuur, waarvan een referentielijst is opgenomen in hoofdstuk 7.

2

PROJECTBESCHRIJVING

2.1 Locatie

Ligging en type woningen

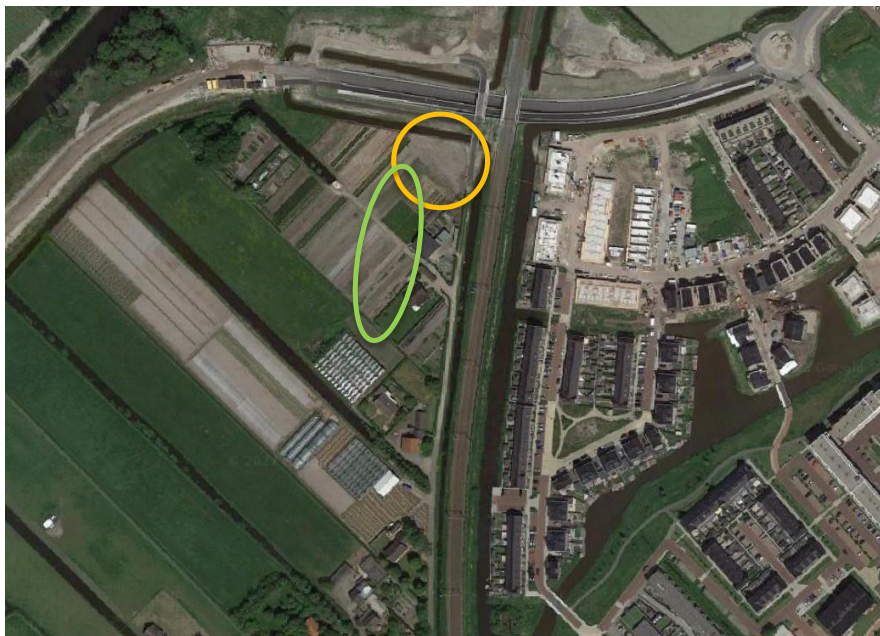
Onderstaande afbeelding geeft een overzicht van de beoogde situatie.

Afbeelding 2.1 Structuurkaart voor Nieuw Boekhorst [Gebieds- en beeldkwaliteitsvisie Nieuw Boekhorst, 30 juni 2022]



In dit rapport is voor een tweetal gebouwen een toets uitgevoerd, zijnde het appartementengebouw gelegen in het uiterste noordoosten van het nieuwbouwplan en voor de grondgebonden woningen welke het dichtst bij het spoor zijn gepland, aangegeven in afbeelding 2.2. Het appartementengebouw wordt gebouwd op de locatie aangeduid met de gele ellips. De woningen die het dichtst bij het spoor gebouwd zullen worden zijn aangeduid met de groene ellips. De trillingen voor het appartementengebouw worden getoetst aangezien dit pand het dichtst bij het spoor gepland is. De trillingen voor de grondgebonden woningen worden getoetst omdat een aantal van deze woningen weliswaar verder van het spoor gebouwd zullen worden dan het appartementengebouw, maar gezien de beperktere massa en stijfheid een minder dempende overdracht van trillingen kennen.

Afbeelding 2.2 Locatie van te bouwen appartementengebouw en de maatgevende grondgebonden woningen



Het appartementengebouw krijgt 7 verdiepingen, zal een betonnen hoofddraagconstructie krijgen en wordt gefundeerd op palen. De grondgebonden woningen hebben 1-2 verdiepingen, worden opgetrokken uit metselwerk met betonnen vloeren en worden ook gefundeerd op palen.

Bijzondere spoorligging t.p.v. de onderdoorgang Noordelijke Randweg Voorhout

Nieuw Boekhorst wordt gesitueerd langs doorgaand spoor. Echter speelt naast de afstand tot het spoor, ook de nabije kruising van het spoor met de onderdoorgang van de kruisende Noordelijke Randweg Voorhout een rol. De nieuwbouw zal op een paalfundering gebouwd worden en het is niet uit te sluiten dat deze paalfundering in combinatie met de diepe fundatie van de onderdoorgang een rol speelt in de uiteindelijke trillingshinder van het pand. In een normale situatie leidt een rigide paalfundering typisch tot lagere trillingsniveaus in panden, maar gezien de fundering van de onderdoorgang is dit voor de huidige locatie mogelijk niet het geval. Tevens is niet uit te sluiten dat de kruising van de onderdoorgang en het spoor op een andere wijze voor een locatiespecifiek trillingsbeeld zorgen dat afwijkt van wat gebruikelijk is.

In de meetcampagne en de analyses is hier specifiek aandacht aan besteed door een meting uit te voeren op een duiker en direct daarnaast op maaiveld, beiden nabij de onderdoorgang. Deze duiker is gefundeerd op palen en daarmee kan middels deze meting worden ingeschat of trillingen vanuit de onderdoorgang, via de diepere zandlaag en paalfunderingen, kunnen leiden tot hogere trillingsniveaus in panden.

Afstanden tot het spoor

De afstanden tot het spoor zijn in afbeelding 2.3 weergegeven voor zowel de meetpunten als de te beoordelen gebouwen op de locaties waar ze gepland zijn. De volgende afstanden gelden voor de meetpunten en de te toetsen panden:

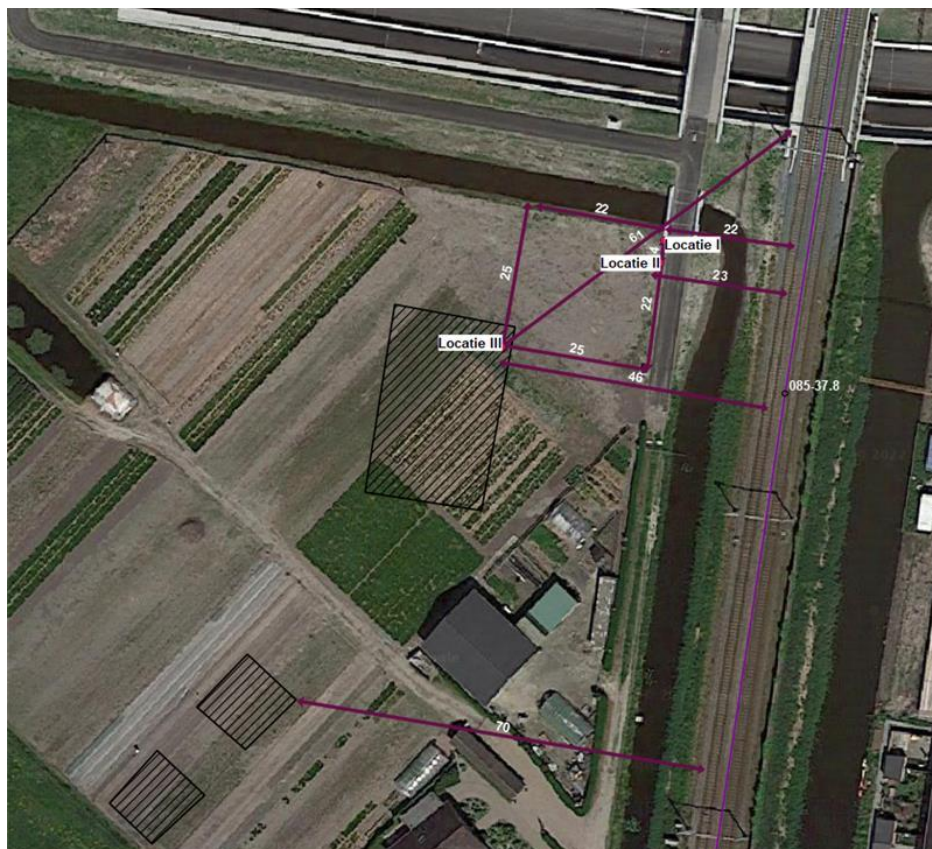
Tabel 2.1 Afstanden tot het spoor van meetpunten en geplande bebouwing

Locatie	Afstand tot het spoor
meetpunt I	22 meter
meetpunt II	23 meter
meetpunt III	46 meter
appartementengebouw	46 meter

Locatie	Afstand tot het spoor
woningen (dichtst bij spoor gelegen woning)	70 meter

Meetlocatie van maaiveldmeting 3 is gekozen omdat dit de locatie is dicht bij de onderdoorgang, maar tevens de geplande locatie van het toekomstige gebouw het dichtst bij het spoor.

Afbeelding 2.3 Afstanden tot het spoor van de meetpunten en de te toetsen gebouwen



Eigenschappen ondergrond

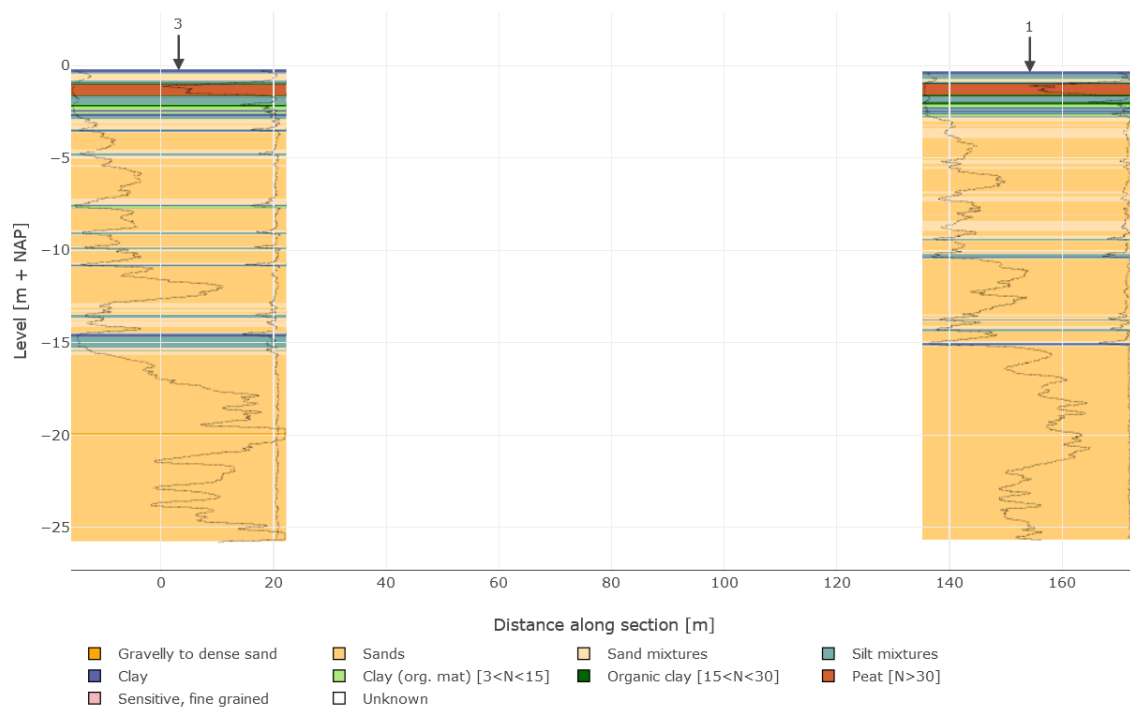
De ondergrond kenmerkt zich als voornamelijk zandgrond met ondiepe cohesieve lagen. Slappe cohesieve lagen worden op deze locatie voornamelijk aangetroffen in de bovenste 5 m van de bodem, maar ook in diepere lagen tot ongeveer 15 m diepte worden zandlagen afgewisseld met cohesieve tussenlagen. Dit wordt geïllustreerd door een tweetal sonderingen (afbeelding 2.5). De locatie van deze sonderingen is aangegeven in afbeelding 2.4.

Er is onvoldoende bodemonderzoek beschikbaar om een goede inschatting te kunnen maken van de heterogeniteit van de bodem. Het uitgangspunt voor de predicties is dat de overdracht van trillingen door de bodem op de meetlocatie representatief is voor het gehele nieuwbouwplan.

Afbeelding 2.4 Locatie meest nabije sonderingen



Afbeelding 2.5 Bodemopbouw op de projectlocatie volgens meest nabije sonderingen



2.2 Treinverkeer nabij gebiedsontwikkeling

Op het spoor nabij de nieuwbouwlocatie wordt met name gereden met reizigersmaterieel van het type Intercity en Sprinter, die respectievelijk circa dertien en zeven keer per uur in de dag- en avondperiode de projectlocatie passeren. Na middernacht neemt dit aantal af naar respectievelijk ongeveer één Intercity en één Sprinter per uur. Enkele keren per dag rijdt er een goederentrein en ander materieel.

Treinpassages zijn gemeten op dienstregelpunten Voorhout ('Vh') en Lisse ('Lis'). Deze dienstregelpunten liggen circa 7 km uit elkaar. De projectlocatie ligt hiertussen, op circa 200 m van dienstregelpunt Voorhout. Het moment van passage langs de projectlocatie wordt berekend middels de berekende gemiddelde snelheid tussen de dienstregelpunten en de afstand van de projectlocatie tot deze punten.

Initieel is deze berekening gedaan op basis van dienstregelpunten Voorhout ('Vh') en Noordwijkerhout ('Nwh'). Door een defect bij 'Nwh' is dit punt gewijzigd in 'Lis', welke verder weg ligt en de berekening van het moment van passage langs de projectlocatie hierdoor onnauwkeuriger is. Om gemeten trillingen aan treinpassages te kunnen relateren, is hiervoor een relatief ruime marge aangehouden van 40 seconden.

Tabel I.1 Treinpassages bij dienstregelpunt 'Vh' (Voorhout) gedurende dagen waarop gemeten is (totaal tien dagen)

Classificatie trein	Afkorting	Aantallen
Intercity	IC	1.267
Sprinter	SPR	733
ledig materieel reizigers	LM	70
goederentrein	GO	17
losse loc	LL	6
video schouw trein	VST	5
onderhoudsmaterieel	OHM	4
Thalys	THA	2
ultrasoontrein	UTS	2

3

AANPAK

3.1 Trillingsmetingen

Witteveen+Bos heeft in mei 2022 trillingsmetingen uitgevoerd op drie locaties in het projectgebied:

- 1 langs het spoor, op de duiker;
- 2 langs het spoor, op maaiveld naast de duiker;
- 3 op de punt van het te realiseren gebouw, op maaiveld.

Hierbij zijn doorgaand trillingen gemeten tussen 29 april en 31 mei, waarvan de periode tussen 21 mei en 31 mei gebruikt wordt in deze analyse. Deze periode geeft een representatief beeld van trillingen ten gevolge van treinverkeer.

Door op drie locaties te meten, kan de overdracht van trillingen bepaald worden op verschillende afstanden van het spoor en kan het verschil tussen een meting op maaiveld en een meting op een constructie bepaald worden. De uitvoering van deze metingen wordt nader toegelicht in hoofdstuk 4.1.

3.2 Predictie trillingen voor toekomstige nieuwbouw

De trillingsniveaus in een woning kunnen verschillen van de niveaus op maaiveld, hierbij speelt de stijfheid van de fundering, het aantal verdiepingen en eigenschappen van onder andere de vloeren een rol. Met behulp van de beschikbare gegevens van de toekomstige bebouwing, kan een indicatie worden gegeven van de verwachte niveaus.

Hierbij is een inschatting gemaakt van de gebouwoverdracht tussen maaiveld en fundering op basis van kengetallen, beschreven in beschikbare literatuur, zoals de CUR 166 [ref. 1] en de handleiding opgesteld door de FTA, de 'Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual' [ref. 2]. Voor een uitvoerige doorrekening en analyse van een specifiek ontwerp kan een eindige-elementenmodel worden opgezet. Een berekening met een eindige-elementenmodel valt buiten dit onderzoek.

3.3 Toetsingskader SBR-richtlijn deel B

De SBR-richtlijn deel B [ref. 3] wordt als toetsingscriterium gehanteerd. Formeel gezien heeft deze SBR-richtlijn geen wettelijke basis. Maar op basis van jurisprudentie en verwachte toekomstige ontwikkelingen in de wetgeving¹ heeft de SBR-richtlijn voor de beoordeling van trillingen voor bovenlangs spoorlijnen wel rechtsgeldigheid.

De SBR-richtlijn deel B kent een tweetal toetsingsgrootheden, namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . $V_{\max}$ betreft het maximaal optredende trillingsniveau, terwijl V_{per} een periodiek gemiddelde betreft. Met $V_{\max}$ wordt de maatgevende trein getoetst, met V_{per} wordt tevens rekening gehouden met hoe vaak treinen passeren.

¹ Onder de Omgevingswet wordt de SBR-richtlijn van toepassing verklaard voor de activiteit bouwen.

Classificatie trillingen

Volgens de SBR-richtlijn zijn weg- en railverkeer te classificeren als 'herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd'. Binnen het toetsingskader wordt onderscheid gemaakt tussen een bestaande situatie, een nieuwe situatie of een gewijzigde situatie. Omdat de toekomstige bebouwing nieuwbouw is, valt dit onder de nieuwe situatie. De streef- en grenswaarden voor deze classificatie komen overeen met de streef- en grenswaarden voor de situatie 'continu voorkomende trillingen gedurende lange tijd', waarbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen nieuwe, gewijzigde of bestaande situaties.

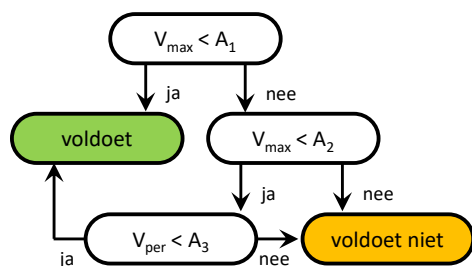
Toetsingsprocedure

Afbeelding 3.1 toont de toetsingsprocedure conform de richtlijn. De streefwaarden zijn erop gericht om de hinder door trillingen te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van deze streefwaarden dient zoveel mogelijk te worden vermeden. Conform de SBR worden er drie streefwaarden gehanteerd:

- A₁: onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- A₂: bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- A₃: streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

In eerste instantie wordt het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ getoetst aan de onderste streefwaarde A₁. Wanneer $V_{\max}$ een lagere waarde heeft, wordt voldaan aan de richtlijn. Voor een hogere waarde wordt $V_{\max}$ getoetst aan A₂, de bovenste streefwaarde. Hiernaast moet het periodiek (of gemiddelde) trillingsniveau V_{per} afgeleid worden, een waarde waarin de ratio tussen het voorkomen van de trilling en de meetperiode van het trillingssignaal in rekening gebracht is. Alleen wanneer $V_{\max}$ kleiner is dan A₂ en V_{per} kleiner dan A₃, wordt voldaan aan de SBR-richtlijn. De streefwaarden worden in tabel 3.1 gegeven, hierbij is de gebouwfunctie wonen dik gedrukt, aangezien de toekomstige bebouwing deze functie zal hebben. In de tabel is ook te zien dat er een onderscheid gemaakt is tussen de streefwaarden voor de dag en avond en de nacht. Hierbij geldt dat de dag en avond van 7.00 uur 's morgens tot 23.00 uur 's avonds duurt en de nacht van 23.00 uur 's avonds tot 7.00 uur 's morgens.

Afbeelding 3.1 Toetsingsschema trillingshinder volgens SBR deel B Hinder voor personen in gebouwen



Tabel 3.1. Streefwaarden voor continue trillingen, voor zowel nieuwe als bestaande situaties volgens SBR-richtlijn [ref. 2]

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
onderwijs en kantoor	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
bijeenkomst	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Hinderkwalificatie

In bijlage 5 van de SBR-richtlijn is een kwalificatie van mogelijke hinder gegeven, om de toelaatbaarheid van trillingssterkten voor railverkeer te helpen beoordelen. De kwalificatie is weergegeven in tabel 3.2. Hierbij moet worden opgemerkt dat ervaring van trillingen en hinder zeer subjectief is en afhangt van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (achtergrondtrillingen), de mogelijkheden tot treffen van trillingsreducerende maatregelen, de historie en de persoon.

Tabel 3.2 Hinderkwalificatie volgens bijlage 5 van SBR-richtlijn [ref. 2]

$V_{\max}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	geen hinder
0,1 - 0,2	weinig hinder (bestaande situaties)
0,2 - 0,8	matige hinder
0,8 - 3,2	hinder
> 3,2	ernstige hinder

Op basis van tabel 3.1 kan worden geconcludeerd dat er tot een waarde van $V_{\max}$ is 0,2 tot 0,3 trillingen door personen slechts niet of in beperkte mate kunnen worden waargenomen en er in de regel ook geen of (matige) hinder zal zijn¹.

Voor nieuwe woningen is het uitgangspunt dat wanneer uit metingen/ berekeningen blijkt dat in gevoelige ruimten in woningen wordt voldaan aan de in tabel 3.1. opgenomen streefwaarden en geen sprake is van trillingshinder.

Voor de toetsing van het bouwplan richten we ons op de waarden zoals opgenomen in tabel 3.1 (wonen).

¹ Uit SBR-B bij bijlage 5: het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot betreffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen. Ernstige hinder is niet toelaatbaar.

4

TRILLINGSMETINGEN

4.1 Uitvoering trillingsmetingen

Locaties

Om te waarborgen dat de trillingen als gevolg van treinverkeer - die zich door de ondergrond verplaatsen - voldoende nauwkeurig gemeten worden, zijn de sensoren conform SBR geplaatst op een betontegel welke op zand ligt. Waar geen zand aanwezig was, is dat aangebracht. Naderhand zijn de sensoren afgedekt met bouwplastic en los zand, om schade en diefstal te voorkomen. Doordat de opnemers iets zijn ingegraven worden de trillingen van de ondergrond gemeten en niet alleen de trillingen in de bovenste decimeters grond, wat mogelijk een verstoord beeld kan geven.

De posities van de sensoren zijn zoals in afbeelding 4.1 en tabel 4.1. De coördinaten van de tabel zijn met de GPS sensor van een telefoon ingemeten, en daarmee slechts tot op enkele meters nauwkeurig, de maatvoering is m.b.v. meetlinten uitgevoerd ten opzichte van de hoek van de duiker. De assen van de sensor zijn zoals getoond in tabel 4.2.

Afbeelding 4.1 Overzicht posities syscom sensoren



Tabel 4.1 Positie sensoren

Locatie	Lat	Lon	Sensoren 29-04 t/m 19-05-2022	Sensoren 21-05 t/m 01-06-2022
I	52.23279	4.48282	Syscom A	Syscom C
II	52.23273	4.4828	Syscom B	Syscom B
III	52.2326	4.48241	defect	Syscom A

Tabel 4.2 Oriëntatie sensor-assen

As	Positieve richting
x	evenwijdig aan spoor, richting het zuiden
y	haaks op spoor, richting het westen
z	verticaal, omhoog

Alle sensoren zijn zodanig georiënteerd dat de connector recht van het spoor afwijkt. De x-as is evenwijdig aan het spoor, de y-as wijst van het spoor af, de z-as wijst omhoog.

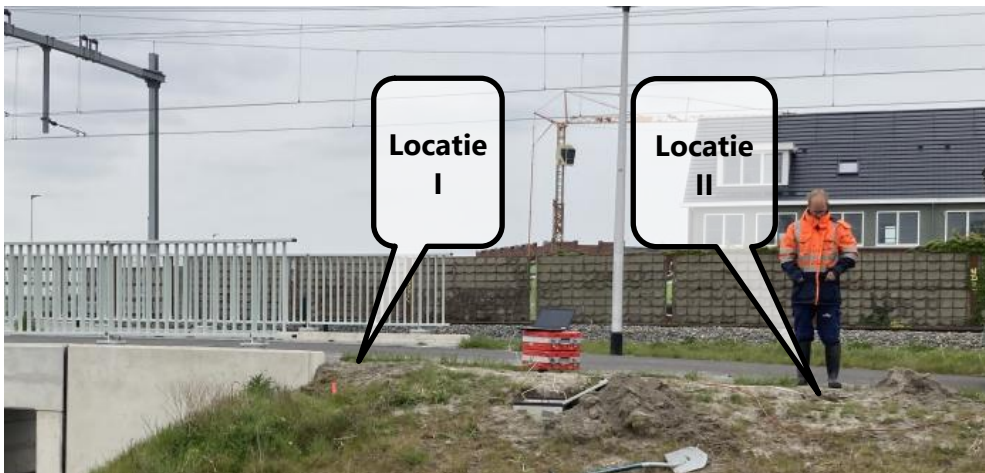
Afbeelding 4.2 Locatie I (fotograaf staat met rug naar het spoor)



Afbeelding 4.3 Locatie II (fotograaf kijkt richting spoor)



Afbeelding 4.4 Locatie I en II



Afbeelding 4.5 Locatie III



Meetapparatuur

Er is gebruik gemaakt van meetsystemen van Syscom, type MR3000TR. Deze systemen voeren trillingsmetingen uit conform de SBR-richtlijn. Voor de gehele periode wordt de $V_{eff,max,30,i}$ geregistreerd. Bovendien wordt de tijdsdata opgeslagen voor alle situaties waarin de drempelwaarde wordt overschreden. De drempelwaarde voor Syscom A is ingesteld op 0,03 mm/s in alle richtingen. De drempelwaarde voor Syscom B en Syscom C zijn ingesteld op 0,1 mm/s in alle richtingen. De meetfrequentie is 1000 Hz.

4.2 Resultaten

Bij het verwerken van de resultaten van de trillingen metingen is gebruik gemaakt van alle data tussen 21 mei 2022 en 31 mei 2022. De dag waarop de installatie is opgebouwd en weer is afgebroken zijn niet meegenomen in de analyses, om met zekerheid te kunnen zeggen dat de trillingen van deze acties niet meegenomen worden bij de analyse van trillingenhinder door treinverkeer.

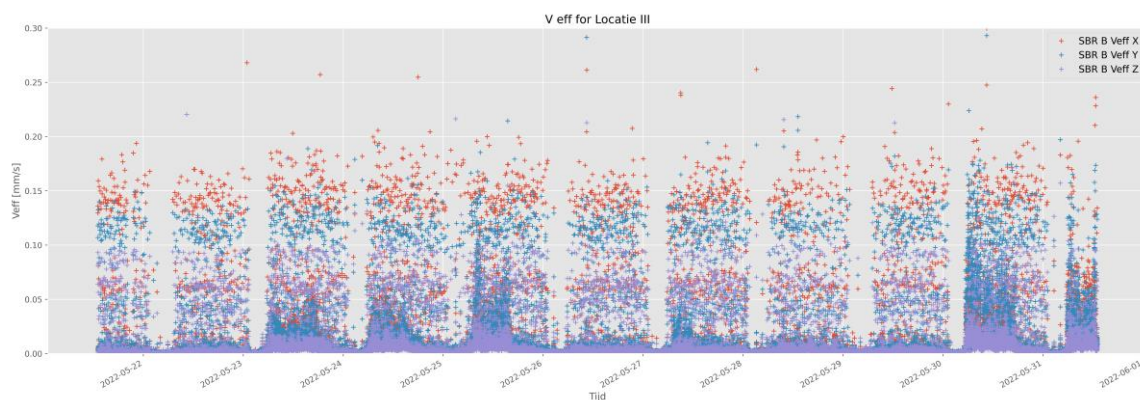
4.2.1 Maximale trillingsniveau

Conform de toetsing volgens de SBR-richtlijn deel B (zie hoofdstuk 3) zijn zowel de maximale trillingsniveaus ($V_{\max}$) als de periodieke trillingsniveaus (V_{per}) berekend aan de hand van de gemeten $V_{\text{eff,max},30,i}$ waarden. Hieronder worden eerst de resultaten voor de maximale trillingsniveaus besproken, waarbij wij ons richten op locatie III, de locatie van de sensor op de hoekpunt van het appartementengebouw. In de volgende paragraaf worden de periodieke trillingsniveaus besproken.

In afbeelding 4.6 zijn de trillingsniveaus te zien van de gehele meetperiode op locatie III op maaiveld. De gepresenteerde trillingsniveaus zijn de $V_{\text{eff,max},30,i}$ waarden, dit houdt in dat dit het maximale trillingsniveau is per 30 seconden interval. Deze gemeten niveaus hoeven niet veroorzaakt te zijn door treinpassages. De horizontale as is de tijdsperiode en op de verticale as staan de trillingsniveaus. Voor de drie verschillende richtingen zijn verschillende kleuren gebruikt

Uit afbeelding 4.6 is te herleiden dat er tussen de gemeten maximale trillingsniveaus ($V_{\text{eff,max}}$) van afzonderlijke treinpassages een behoorlijke spreiding zit. Dit is inherent aan trillingen als gevolg van treinverkeer. Ook is te zien dat gedurende de nacht periode de aantallen passages aanzienlijk lager zijn dan de gedurende de dag.

Afbeelding 4.6 Gemeten $V_{\text{eff,max},30,i}$ niveaus gedurende de gehele meetperiode in alle drie de richtingen op locatie III



Nadat niet representatieve meetdata is verwijderd uit de dataset is per meetrichting voor de gehele duur van de meting de grootste effectieve waarden bij treinpassages bepaald, dit is $V_{\text{eff,max}}$. De identificatie van de meetsignalen is uitgevoerd op basis van de detailtreinactiviteiten van de PAB (prestatie-analysebureau)¹. Aangezien de meting op locatie III een langdurige meting van tien volledige meetdagen betreft, is ervan uitgegaan dat de statische verwerking uit de SBR (geadviseerd bij korte metingen of voor het bepalen van worst case scenario's) niet van toepassing is en het bepalen van de grootste effectieve waarde $V_{\text{eff,max}}$ voldoende is.

In tabel 4.3 is een overzicht te zien van de aldus bepaalde grootste waarde van de effectieve waarden bepaald ($V_{\text{eff,max}}$) per periode per richting. Hier is te zien dat in de horizontale richtingen de grootste trillingen zijn waargenomen. Dit is een opmerkelijk resultaat. Veelal wordt bij locaties langs doorgaand spoor de z-richting dominant bevonden. Voor deze locatie is dit niet het geval. Mogelijk speelt de kruising van het spoor met de onderdoorgang hierin een belangrijke rol.

In tabel 4.3 zijn ook de waarden voor $V_{\max}$ aangegeven in blauw, dit is het maximale trillingsniveau bepaald per beoordelingsperiode. Deze $V_{\max}$ wordt getoetst aan de streefwaarden uit tabel 3.1.

¹ Dit bedrijfsonderdeel van ProRail monitort en analyseert de treinpassages op vastgestelde dienstregelpunten, en heeft dus een overzicht van het treintype en het tijdstip van een treinpassage. Een overzicht hiervan is verkregen voor de periode van de metingen.

Tabel 4.3 Meetresultaten maximale trillingsniveaus op locatie III (46 m naar spoor), gesorteerd per periode

Meetrichting	$V_{\text{eff,max}}$ dag	$V_{\text{eff,max}}$ avond	$V_{\text{eff,max}}$ nacht
x	0,30	0,18	0,27
y	0,34	0,17	0,34
z	0,22	0,12	0,16

4.2.2 Resultaten periodieke trillingsniveau

Behalve de maximale trillingsniveaus is ook de trillingssterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) bepaald, hierbij is de methode gegeven in de SBR, deel B aangehouden. Tabel 4.4 geeft de periodieke trillingsniveaus voor de dag, avond en nacht periode in de dominante richtingen voor de gehele meetperiode aan voor meetlocatie B. De dominante richting is in alle gevallen horizontaal.

Er is getracht zo zorgvuldig mogelijk de relatie te leggen tussen gemeten trillingen en treinpassages. Door de grote afstand tussen dienstregelpunten bestaat er echter beperkte onzekerheid over de exacte tijd van passage langs de projectlocatie, zoals beschreven in hoofdstuk 2.2, en daarmee of een gemeten trilling veroorzaakt is door een treinpassage.

Tabel 4.4 Overzicht van V_{max} en V_{per} per periode

Periode	Dominante richting	V_{max}	V_{per}
dag	y	0,34	0,010
avond	x	0,18	0,018
nacht	y	0,34	0,017

4.2.3 Resultaten voor grondgebonden woningen het dichtste bij het spoor

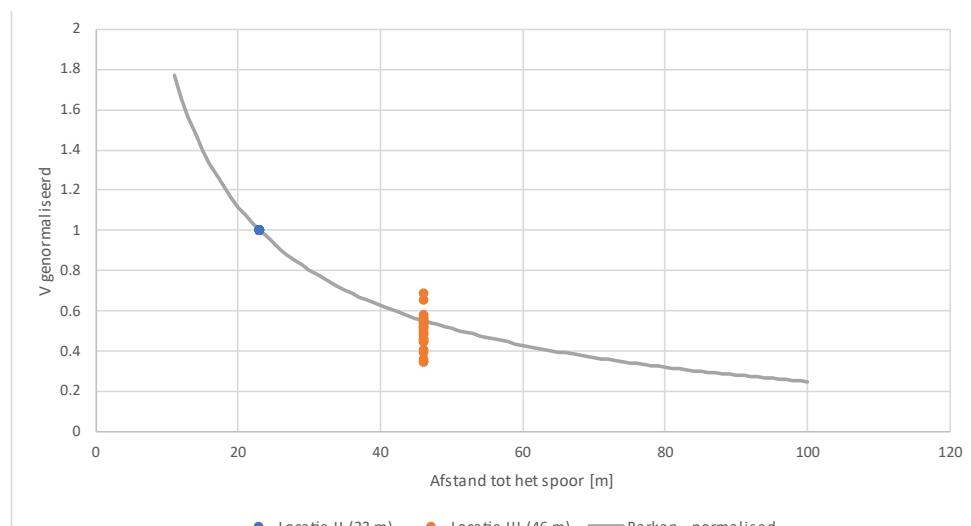
Op de locatie van het toekomstige hoekpunt van het appartementengebouw is een trillingsmeting uitgevoerd. De data van dit meetpunt kan direct gebruikt worden voor de SBR-B beoordeling. Voor de grondgebonden woningen is dit niet het geval. Deze hebben een minimale afstand tot het spoor van 70 m. De meetdata op de gekozen meetpunten is gebruikt om een afstandsrelatie te schatten.

Met behulp van een afstandsrelatie kan worden voorspeld wat de gemeten trillingsniveau op maaiveld ter plaatste van de woningen naast het spoor zullen zijn. Hier is de Barkan relatie voor gebruikt:

$$v(r) = v(r_0) \left(\frac{r_0}{r} \right)^n e^{-\alpha(r-r_0)}$$

Waarbij $v(r)$ is de trillingensnelheid op r meter van de bron (in dit geval het spoor) en $v(r_0)$ de snelheid op de referentie afstand r_0 . Deze is in dit geval gelijk gekozen met de afstand van de meetlocatie II tot het spoor, dus $r_0 = 23$ m. De parameter n geeft de geometrische demping aan en de parameter α de materiaaldemping. Deze twee parameters zijn gebruikt om de afstandsrelatie te schatten, waarbij de metingen op locatie II en locatie III gebruikt zijn. Bij deze analyse is uitgegaan van de 20 maximale gemeten niveaus in de z-richting ($V_{\text{max,z}}$) gemeten op locatie III (het hoekpunt van het appartementengebouw).

Afbeelding 4.7 Predictie van afstandsrelatie op basis van genormaliseerde meetwaarden op locatie II en III

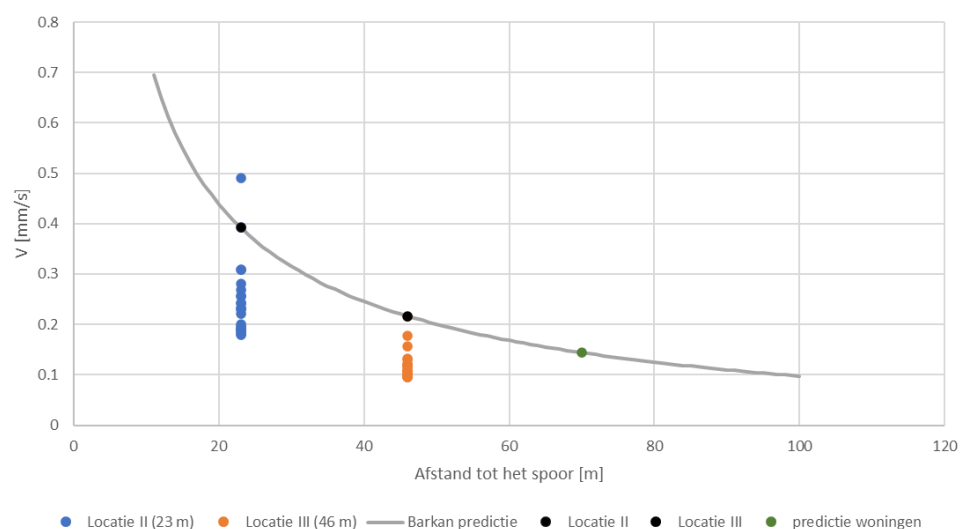


In afbeelding 4.7 is de vastgestelde afstandsrelatie voor trillingen in de z-richting te zien voor $n = 0,7$ en $\alpha = 0,005$. Deze relatie is gebaseerd op de genormaliseerde waarden van de meetresultaten op locatie II en III. Hierbij zijn de parameters n en α zo gekozen dat de lijn iets boven het midden van de puntenwolk op de tweede meetlocatie gaat. Er is bewust geen bovengrens aangehouden, omdat:

- 1 de meetwaarden die gebruikt zijn al een maximale waarde (V_{max}) zijn;
- 2 een top 20 van deze maximale waarden is gebruikt.

In afbeelding 4.8 is de Barkan relatie geplot voor de afname van het trillingsniveau op basis van de maximale gemeten waarde in meetlocatie III, hierbij zijn de parameters ($n = 0,7$ en $\alpha = 0,005$) gebruikt die bepaald zijn op basis van de genormaliseerde waarden. Dit geeft een inschatting van het trillingsniveau ter plaatste van de woningen op 70 meter afstand van het spoor. Verwacht wordt dat hier het maximale trillingsniveau in z-richting $V_{\text{max, woning}} = 0,14$ zal zijn op maaiveld.

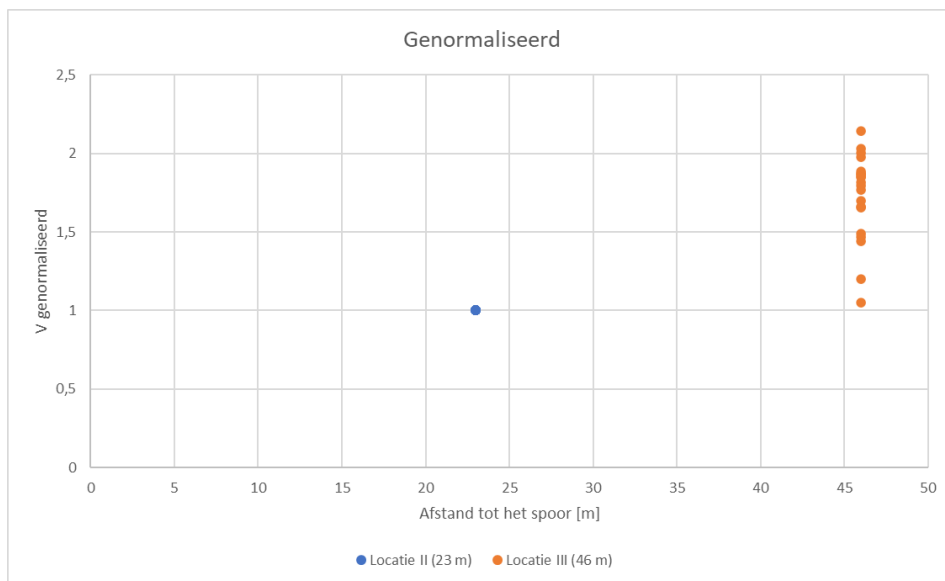
Afbeelding 4.8 Relatie voor afname trillingen met afstand met meetpunten top 20 voor z-richting



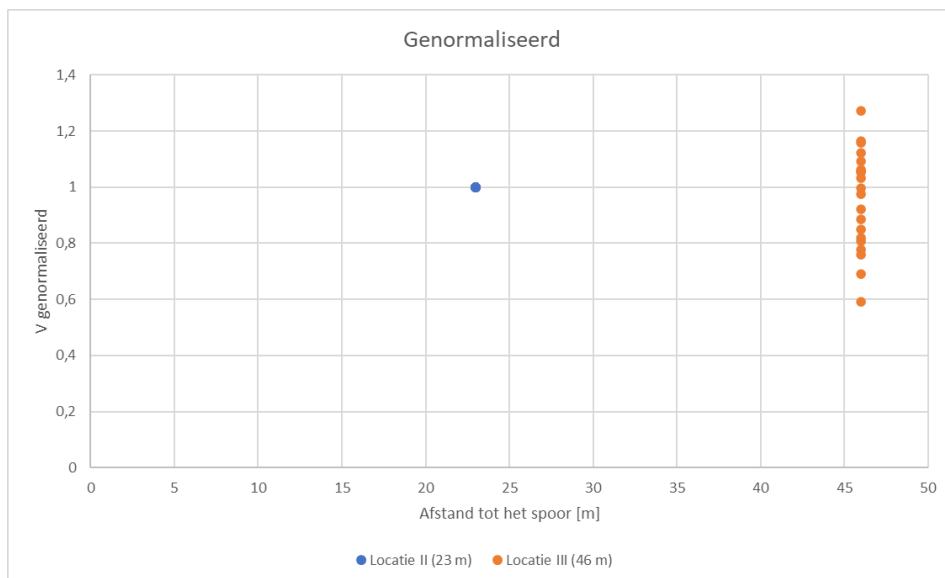
Dezelfde methode wordt toegepast op de 20 maximale gemeten niveaus in de x- en y-richting ($V_{\text{max},x}$ en $V_{\text{max},y}$) gemeten op locatie III. Deze resultaten worden getoond in afbeelding 4.9 en afbeelding 4.10. Voor

deze richtingen is geen afname waar te nemen tussen locatie II en III. Dit is een zeer opmerkelijk resultaat maar de relatie blijkt duidelijk uit de metingen. De hypothese is dat de onderdoorgang mogelijk een afwijkend trillingsbeeld geeft waardoor op locaties verder van het spoor horizontale trillingen relatief dominant zijn. Een andere hypothese is dat horizontale trillingsniveaus voor deze locatie in het algemeen relatief hoog zijn, maar dat deze juist rondom de duiker relatief wat lager zijn. In het vervolg van dit rapport is daarom de conservatieve aanname gedaan dat voor de grondgebonden woningen (deze liggen verder van het spoor en verder van de kruising van het spoor met de onderdoorgang) de trillingsniveaus gelden van meetlocatie III. Om deze conservatieve aanpak verder aan te scherpen zouden aanvullende, meer uitgebreide, metingen nodig zijn. In de toetsing is daarom voor de horizontale richtingen geen afname door de afstandsrelatie meegenomen en worden de waarden getoetst zoals deze op locatie III zijn gemeten.

Afbeelding 4.9 Genormaliseerde meetwaarden op locatie II en III voor trillingen in x-richting



Afbeelding 4.10 Genormaliseerde meetwaarden op locatie II en III voor trillingen in y-richting

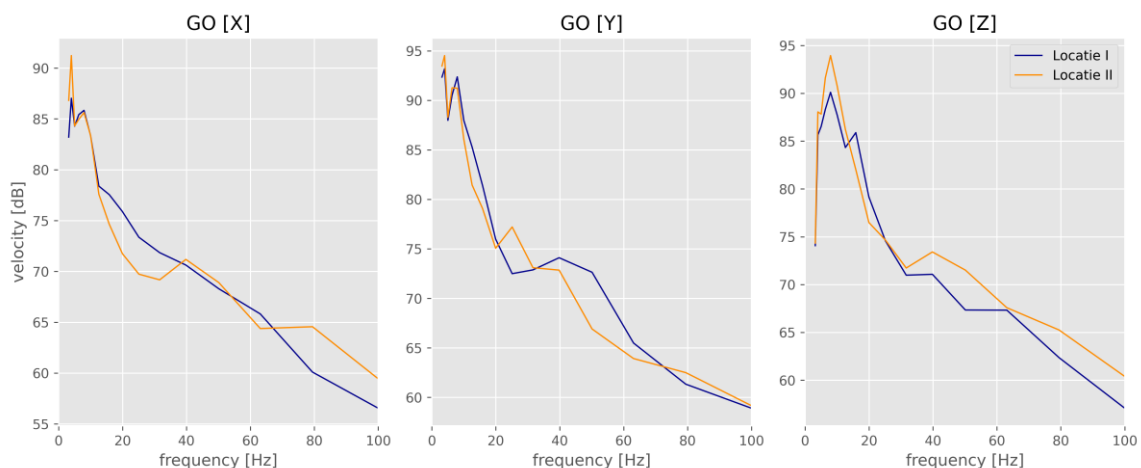


4.2.4 Resultaten metingen duiker

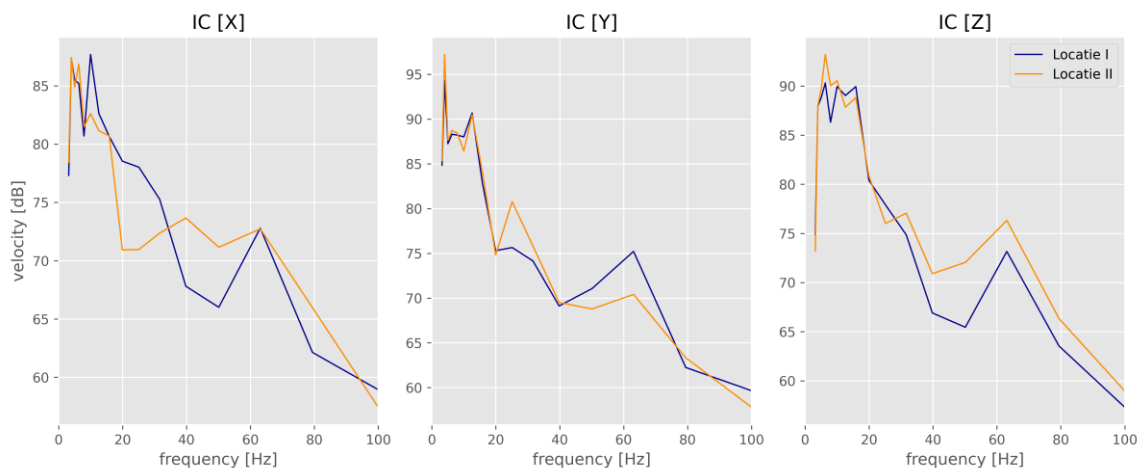
Om te beoordelen of trillingen in gebouwen versterkt worden doordat deze in diepere grondlagen staan, is er een meting op de duiker (locatie I) en naast de duiker op het maaiveld (locatie II) uitgevoerd. Trillingen op deze locaties worden voor een aantal typische passages vergeleken. Uit deze vergelijking is het effect van een diepere fundering af te leiden, wat meegenomen kan worden in de predicties van hoofdstuk 5.

Voor deze vergelijking worden tijdssignalen van soortgelijke passages - i.e. goederentreinen en intercity's - ontbonden in frequentiespectra en samengevat in tertsbanden. In deze analyse worden vijf passages van goederentreinen en zes passages van intercity's verwerkt. Per tertsband en per richting wordt het gemiddelde bepaald van deze passages en hieronder gepresenteerd.

Afbeelding 4.11 trillingsintensiteit per frequentie in richting x, y en z voor goederentreinen op locatie I en II



Afbeelding 4.12 trillingsintensiteit per frequentie in richting x, y en z voor intercity's op locatie I en II



Uit afbeelding 4.11 blijkt dat de trillingsintensiteiten overwegend gelijk zijn voor beide locaties bij goederentreinen. In de x-richting is een lichte versterking zichtbaar voor het bereik 20-40 Hz en in de y-richting voor 40-70 Hz. Verticaal zijn de trillingen sterker op het maaiveld: hier lijkt de fundering een dempend effect te hebben.

Afbeelding 4.12 toont het resultaat voor intercity's. Ook hier zijn de trillingen sterker in x-richting voor het frequentiebereik tot circa 35 Hz en in y-richting voor 40-70 Hz. In de x-richting in het bereik van 35 tot 60 Hz

zijn de trillingen op het maaiveld sterker dan op de duiker. Verticaal zijn de trillingen over vrijwel het hele frequentiespectrum sterker op het maaiveld.

Uit deze vergelijking blijkt dat de trillingsintensiteit niet of nauwelijks toeneemt door de fundering en deze zelfs een dempend effect heeft voor met name verticale trillingen. Waarschijnlijk worden de meeste trillingen overgedragen door de toplagen van de bodem en niet via de diepere lagen. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat een (paal)fundering zal leiden tot hogere trillingsniveaus in de toekomstige bebouwing.

4.3 Analyseresultaten

Verdere presentaties van de meet- en analyseresultaten zijn opgenomen in bijlage I.

5

PREDICTIE TOEKOMSTIGE SITUATIE EN TOETSING

5.1 Aanpak predictie trillingsniveau

Met behulp van de uitgevoerde metingen is een indruk verkregen wat de trillingsniveaus op maaiveld zijn ter plaatse van het punt waar de voorziene bebouwing het dichtst op het spoor is gelegen. In de toekomstige situatie waarin de nieuwbouw is gerealiseerd, zullen trillingen als gevolg van treinverkeer het gebouw aanstoten en in bepaalde mate voortplanten in het gebouw. De ervaring leert dat het trillingsniveau op fundering is afgenomen ten opzichte van het trillingsniveau op maaiveld. Dit komt doordat afhankelijk van de stijfheid van de fundering, de massa en de geometrie, de fundering maar deels het trillingspatroon in de bodem zal volgen. Hierbij geldt dat hoe massiever en stijver de fundatie en ook hoe hoger de frequenties van het trillingssignaal, hoe groter het verschil tussen maaiveld en fundatie. Voor grote gebouwen met massieve fundering, betekent dit dat het trillingsniveau op maaiveld soms met een veelvoud wordt teruggebracht.

De CUR 166 [ref. 3] geeft voor trillingen als gevolg van het heien van palen en/of intrillen van damwanden in Nederland een indicatie van de overdrachtsfactor tussen maaiveld en fundering. De factor is bepaald op 0,7, oftewel een 30 % afname van het trillingsniveau. De ervaring leert dat deze factor in veel gevallen conservatief is (oftewel tot een overschatting van optredende niveaus leidt) wanneer er sprake is van een ongevoelige fundering voor maaiveldtrillingen zoals een massieve fundering of een paalfundering. Bij een fundering op staal hoeft de factor niet conservatief te zijn.

Voor de nieuwbouwwoningen wordt verwacht dat deze factor een overschatting van optredende trillingsniveaus oplevert, daarom is ook gekeken naar de factoren gegeven in 'Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual' [ref. 1]. tabel 5.1 geeft deze factoren weer.

Uit deze tabel volgt dat voor het geplande appartementengebouw een factor van 0,32 gehanteerd kan worden, behorende bij een gebouw bestaande uit metselwerk met 7 verdiepingen. Dit betekent dat verwacht wordt dat de trillingsniveaus op maaiveld met een factor 2,3 worden gereduceerd; een aanzienlijk hogere reductie dan die door de CUR 166 wordt gehanteerd. Voor de geplande grondgebonden woningen kan volgens de tabel 5.1 0,44 aangehouden worden.

Tabel 5.1 Verschil in trillingsniveaus tussen grond en fundering volgens FTA

Type fundering	Verlies in dB*	Vertaling naar trillingsniveau factor
gebouwen opgetrokken uit hout	-5	0,56
1-2 verdieping metselwerk gebouwen	-7	0,44
3-4 verdieping metselwerk gebouwen	-10	0,32
grotere massieve metselwerken gebouwen met massieve fundering	-10	0,32

* Verlies in dB is in dit geval gedefinieerd als $20\log_{10}(V_{\text{maaiveld}}/V_{\text{fundering}})$.

5.2 Predictie en toetsing in woningen op basis van kengetallen

Voor de toetsing van de verwachte trillingsniveaus wordt de streef- en grenswaardes uit de SBR-richtlijn (tabel 3.1) voor zowel dag als nacht aangehouden voor de categorie 'wonen'.

5.2.1 Appartementengebouw

Tabel 5.2 geeft de predictie weer voor het appartementengebouw.

Tabel 5.2 Predictie $V_{\max}$ en V_{per} voor appartementencomplex indien er geen sprake is van opslingering (spoorzijde gebouw)

Periode	$V_{\max}$ maaiveld	V_{per} maaiveld	Factor maaiveld- fundering	$V_{\max}$ fundering	Factor fundering- vloer	$V_{\max}$ vloer	V_{per} vloer
dag	0,34	0,010	0,32	0,11	1,4	0,15	0,004
avond	0,18	0,018	0,32	0,06	1,4	0,08	0,008
nacht	0,34	0,017	0,32	0,11	1,4	0,15	0,007

In tabel 5.2 zijn de gemeten waarden op maaiveld omgerekend naar trillingsniveau op een verdiepingsvloer. Tabel 5.3 toetst deze aan de richt- en streefwaarden uit de SBR-B.

Tabel 5.3 Resultaten $V_{\max}$ en V_{per} en toetsing aan streef- en grenswaarden SBR-B voor appartementencomplex

Periode	Streef-/grenswaarden SBR-B					Toetsing		
	$V_{\max}$ vloer	V_{per} vloer	A ₁ streef	A ₂ grens	A ₃ grens	voldoet A1? ($V_{\max} < 0,1$)	voldoet A2? ($V_{\max} < 0,4/0,2$)	voldoet A3? ($V_{\text{per}} < 0,05$)
dag	0,15	0,004	0,1	0,4	0,05	nee	ja	ja
avond	0,08	0,008	0,1	0,4	0,05	ja	ja	ja
nacht	0,15	0,007	0,1	0,2	0,05	nee	ja	ja

Uit de tabel blijkt dat de verwachte trillingssnelheden op vloerniveau onder de grenswaarde A₂ liggen en daarmee dus voldoet. Hierbij is aangenomen dat er sprake kan zijn van resonanties van het gebouw of van de vloeren. Resonantie is het fenomeen dat de eigenfrequentie wordt aangeslagen, wat kan leiden tot versterkte trillingen. CUR 166 presenteert een opslingeringsfactor van 1,4, bijvoorbeeld voor heien, hiermee wordt nog steeds voldaan aan de grenswaarde A₂ uit de SBR.

Voor de volledigheid is ook gekeken naar de streefwaarde voor de periodieke trillingsniveaus V_{per} . Deze voldoet ook aan de grenswaarde.

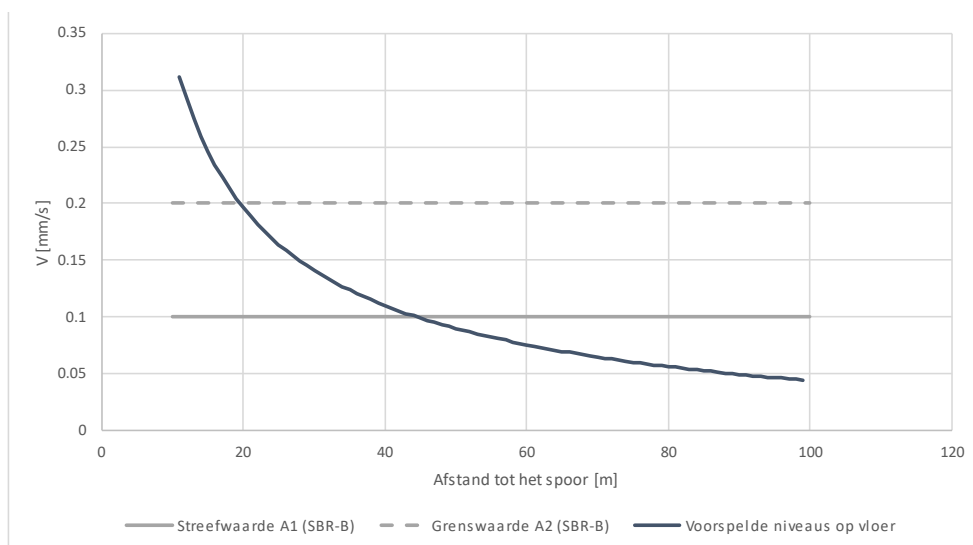
Relatie trillingsniveau met afstand tot het spoor

In tabel 5.2 en tabel 5.3 staan de voorspelde trillingsniveaus gebaseerd op de metingen ter plaatse van locatie III, de geplande locatie van het appartementengebouw. Aangezien de locatie van het gebouw ten opzichten van het spoor nog niet vast staat, is een korte analyse gedaan wat de afstand van het gebouw tot het spoor minimaal moet zijn om hinder te voorkomen. In Paragraaf 4.2.3 is de relatie van de trillingen met de afstand onderzocht. Voor de x- en y-richting blijkt uit de metingen geen afname van de trillingsniveaus met de afstand tot het spoor. De gemeten niveaus in x- en y- richting zijn op alle meetlocaties vergelijkbaar en dus onafhankelijk van de afstand van het spoor tot het gebouw. Dit is een atypisch beeld, mogelijk

veroorzaakt door de onderdoorgang, maar kan met de beschikbare meetgegevens niet met zekerheid worden vastgesteld. Ook zijn deze gemeten trillingsniveaus hoger dan de gemeten niveaus in de z-richting en dus maatgevend in de toetsing.

Voor de z-richting is een afstandsrelatie afgeleid en deze relatie kan gebruikt worden in combinatie met de overdrachtsfactoren uit tabel 5.2. Dit is weergegeven in afbeelding 5.1, de donkere curve geeft de voorspelde trillingsniveaus op de vloer aan in z-richting, de grijze lijnen geven de streefwaarde A1 en de grenswaarde A2 aan. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat wanneer de afstand van het spoor tot het appartementencomplex kleiner wordt dan 45m, de trillingsniveaus in de z-richting maatgevend worden en de streefwaarde voor hinder overschreden wordt. Voor de afstanden tussen de 20m en 45m zijn de voorspelde trillingen onder de grenswaarde A2 voor hinder, let er wel op dat dan het periodieke trillingsniveau (V_{per}) lager moet zijn dan de grenswaarde A3. Voor meer informatie naar de beleving van hinder wordt verwezen naar paragraaf 3.3 Hinderkwalificatie.

Afbeelding 5.1 Voorspelde trillingsniveaus in z-richting voor appartementengebouw



5.2.2 Grondgebonden woningen naast het spoor

Tabel 5.4 geeft de predictie weer voor de grondgebonden woningen naast het spoor. Omdat er voor horizontale trillingen geen afname vast te stellen is met grotere afstand, worden dezelfde waarden op het maaiveld gebruikt als voor het appartementengebouw. Wel wordt een grotere factor gebruikt voor de overdracht naar de fundering.

In tabel 5.4 zijn de gemeten waarden op maaiveld omgerekend naar trillingsniveau op de verdiepingsvloer. Tabel 5.5 toetst deze aan de richt- en streefwaarden uit de SBR-B.

Tabel 5.4 Predictie V_{max} en V_{per} voor appartementencomplex indien er geen sprake is van opslingering (spoorzijde gebouw)

Periode	V_{max} maaiveld	V_{per} maaiveld	Factor maaiveld- fundering	V_{max} fundering	Factor fundering- vloer	V_{max} vloer	V_{per} vloer
dag	0,34	0,010	0,44	0,15	1,4	0,21	0,006
avond	0,18	0,018	0,44	0,08	1,4	0,11	0,011
nacht	0,34	0,017	0,44	0,15	1,4	0,21	0,010

Tabel 5.5 Resultaten $V_{\max}$ en V_{per} en toetsing aan streef- en grenswaarden SBR-B voor woningen

Periode	Streef-/grenswaarden SBR-B					Toetsing		
	$V_{\max}$ vloer	V_{per} vloer	A ₁ streef	A ₂ grens	A ₃ grens	Voldoet A1? ($V_{\max} < 0,1$)	Voldoet A2? ($V_{\max} < 0,4/0,2$)	Voldoet A3? ($V_{\text{per}} < 0,05$)
dag	0,21	0,006	0,1	0,4	0,05	nee	ja	ja
avond	0,11	0,011	0,1	0,4	0,05	nee	ja	ja
nacht	0,21	0,010	0,1	0,2	0,05	nee	nee*	ja

* Zie onderstaande beschouwing.

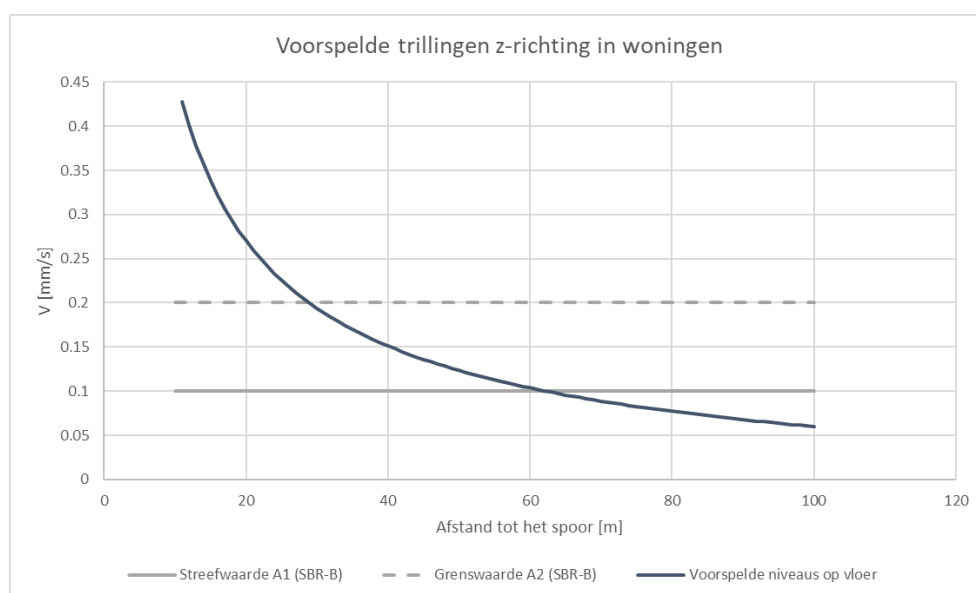
Uit de tabel blijkt dat de verwachte trillingssnelheden op vloerniveau onder de grenswaarde A₂ liggen voor dag en avond, en daarmee dus voldoen. Hierbij is aangenomen dat er sprake is van opslingering van vloeren. Voor de nacht wordt de grenswaarde A₂ met 5 % overschreden. Deze grenswaarde wordt slechts éénmaal overschreden door onderhoudsmaterieel, wanneer geen reductie wordt toegepast voor de afstand van de woningen tot het spoor. De eerstvolgende maatgevende passage is een goederentrein met een $V_{\max, y, \text{vloer}}$ van exact 0,2. De aanpak waarmee hier dus een marginale overschrijding wordt berekend is conservatief te noemen, omdat voor de locaties van de grondgebonden woningen de maaiveldtrillingsniveaus van locatie III zijn gehanteerd. Daarbij genomen dat de overschrijding het gevolg is van slechts één onderhoudsvoertuig maakt dat we mogen verwachten dat ook de grondgebonden woningen zullen voldoen aan criterium A₂ van SBR-B.

Daarbij voldoen de periodieke trillingsniveaus V_{per} ruim aan de grenswaarde uit de SBR.

Relatie trillingsniveau met afstand tot spoor

Uit afbeelding 5.2 kan geconcludeerd worden dat wanneer de afstand van het spoor tot de grondgebonden woningen kleiner wordt dan 62 m, de trillingsniveaus in de z-richting maatgevend worden en de streefwaarde A₂ voor hinder overschreden wordt. Voor de afstanden tussen de 30 m en 62 m zijn de voorspelde trillingen onder de grenswaarde A₂ voor hinder, let er wel op dat dan het periodieke trillingsniveau (V_{per}) lager moet zijn dan de grenswaarde A₃. Voor meer informatie naar de beleving van hinder wordt verwezen naar paragraaf 3.3 Hinderkwalificatie.

Afbeelding 5.2 Predictie trillingsniveaus in z-richting voor grondgebonden woningen



CONCLUSIES

In opdracht van Terra Ontwikkeling C.V. heeft Witteveen+Bos voorliggend trillingsonderzoek uitgevoerd. Aanleiding hiervoor is het voornemen om langs in Voorhout een nieuwbouwwijk te realiseren, op relatief korte afstand van de spoorlijn. Op basis van in situ-metingen langs de spoorlijn en daaraan gekoppelde analyses en berekeningen is een inschatting gegeven of er in de woningen sprake zal zijn van overmatige trillingshinder.

Deze predicties zijn uitgevoerd voor een tweetal nieuw te bouwen panden, zijnde het appartementengebouw in het uiterste noordoosten van het nieuwbouwplan en voor de grondgebonden woningen welke gerealiseerd worden op de kleinste afstand tot het spoor.

Er wordt geconcludeerd dat voor het appartementengebouw de verwachte trillingsniveaus op vloerniveau de streefwaarde van A_1 overschrijden, maar onder de grenswaarde A_2 liggen met lage periodieke trillingsniveaus en daarmee dus voldoen. Uit analyse van de relatie tussen trillingen en afstand volgt dat er geen hinder verwacht wordt wanneer er op minimaal 45 m van het spoor gebouwd wordt. Wanneer het appartementencomplex tussen de 20 m en 45 m van het spoor wordt gebouwd liggen de voorspelde trillingsniveaus tussen de onderste en bovenste streefwaarde en zal een aanvullende controle op de periodieke streefwaarde moeten worden uitgevoerd. De mate van hinder in deze zone wordt gekwalificeerd als 'weinig hinder (bestaande situaties)'.

Voor de grondgebonden woningen is de aanpak gebaseerd op meetpunten dicht bij het spoor en op de toekomstige locatie van het appartementengebouw. Hierbij is een conservatieve aanpak gehanteerd omdat trillingsmetingen een bijzonder trillingsbeeld op de locatie laten zien waarbij horizontale trillingsniveaus relatief hoog zijn en niet afnemen met afstand vanaf het spoor. Mogelijk speelt de kruising van het spoor met de onderdoorgang van de Noordelijke Randweg Voorhout hierin een rol. Met de gehanteerde conservatieve aanpak wordt de grenswaarde A_2 in de nacht éénmaal met 5 % overschreden door onderhoudsmaterieel, wanneer geen reductie wordt toegepast voor de grotere afstand van de grondgebonden woningen tot het spoor. De eerstvolgende maatgevende passage is een goederentrein die exact aan de grenswaarde voldoet. Wij schatten hiermee in dat ook de grondgebonden woningen zullen voldoen aan de grenswaarde A_2 van SBR-B. Uit analyse van de relatie tussen trillingen en afstand volgt dat er geen hinder verwacht wordt wanneer er op minimaal 62 m van het spoor gebouwd wordt. Wanneer de woningen tussen de 30 m en 62 m van het spoor wordt gebouwd liggen de voorspelde trillingsniveaus tussen de onderste en bovenste streefwaarde en zal een aanvullende controle op de periodieke streefwaarde moeten worden uitgevoerd. De mate van hinder in deze zone wordt gekwalificeerd als 'weinig hinder (bestaande situaties)'.

Wij stellen dat in de nieuwe situatie, mits men zich aan de minimale afstand tot het spoor houdt, sprake is van een goede ruimtelijke ordening en een aanvaardbaar woon- en leefklimaat. De kans op hinder als gevolg van trillingen door spoorverkeer valt naar verwachting binnen de grenzen van de SBR-B.

REFERENTIES

- [ref. 1] Handboek Damwandconstructies (CUR 166), november 2008, ISBN 9037600735.
- [ref. 2] Federal Transit Administration (2018). Transit Noise and Vibration Impact Assessment.
- [ref. 3] SBR (herdruk juli, 2006). Trillingen: meet- en beoordelingsrichtlijnen, Hinder voor personen in gebouwen, Deel B.
- [ref. 4] Bevestiging trillingsopnemer op maaiveld, C. Ostendorf, Congres en Beurs Geluid, Trillingen en Luchtkwaliteit in Nederland (november 2018).
- [ref. 5] Verkennend bodemonderzoek en asbest in bodemonderzoek, Planontwikkeling Van de Kolk - Garderen BV, 8 februari 2017.
- [ref. 6] Verkennend bodemonderzoek op de locatie aan de Stroeerschoolweg 3 te Stroe, Hunneman Milieu-Advies, 2 november 2018.
- [ref. 7] Handboek nieuwbouw en spoortrillingen. Ministerie Infrastructuur en Waterstaat, 2019.

Bijlage(n)

BIJLAGE: ANALYSE MEETRESULTATEN

Treinbewegingen en aantallen

Tabel I.1 laat de verschillende treinpassages gedurende de meetperiode zien. Hierin is te zien dat het merendeel van de passages gevormd wordt door intercity's. Ook zijn er 17 passages van goederentreinen geweest in de totale meetperiode van tien dagen.

De intercity's reden gemiddeld 134 km/uur tussen de dienstregelpunten 'Vh' en 'Lis'. De goederentreinen reden gemiddeld 85 km/uur en Sprinters 99 km/uur. In Tabel I.2 is de verdeling van de passages te zien per periode. Passages van Intercity's, Sprinters en goederentreinen vinden zowel overdag als 's nachts plaats.

Tabel I.1 Treinpassages bij dienstregelpunt Voorhout ('Vh') gedurende dagen waarop gemeten is (totaal tien dagen)

Classificatie trein	Afkorting	Aantallen	Gemiddelde snelheid (km/uur)
Intercity	IC	1.267	134
Sprinter	SPR	733	99
ledig materieel reizigers	LM	70	115
goederentrein	GO	17	85
losse loc	LL	6	106
video schouw trein	VST	5	68
onderhoudsmaterieel	OHM	4	87
ultrasoontrein	UTS	2	55
Thalys	THA	2	98

Tabel I.2 Treinpassages opgesplitst naar periode bij dienstregelpunt Voorhout ('Vh') gedurende dagen waarop gemeten is (totaal tien dagen)

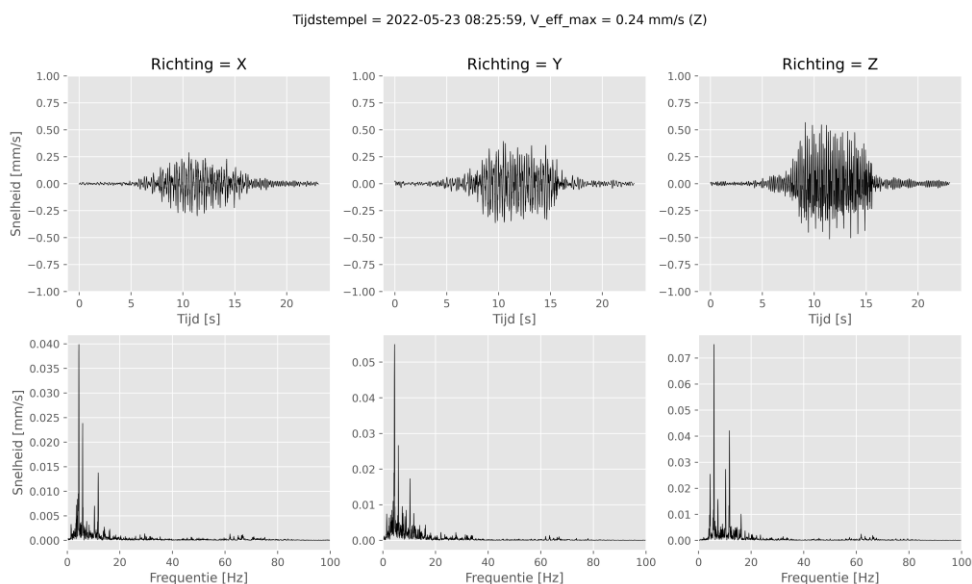
Classificatie trein	Aantallen dagperiode	Aantallen avondperiode	Aantallen nachtperiode
IC	849	270	148
SPR	455	153	125
LM	45	14	11
GO	11	0	6
LL	2	0	4
VST	0	2	3
OHM	0	0	4
UTS	0	0	2
THA	1	0	1

Dominante frequenties

Hieronder staan afbeeldingen van enkele van de gemeten signalen voor de verschillende types treinen. Dit zijn voorbeelden en deze meetsignalen kunnen verschillen van de rest van de signalen voor eenzelfde type trein.

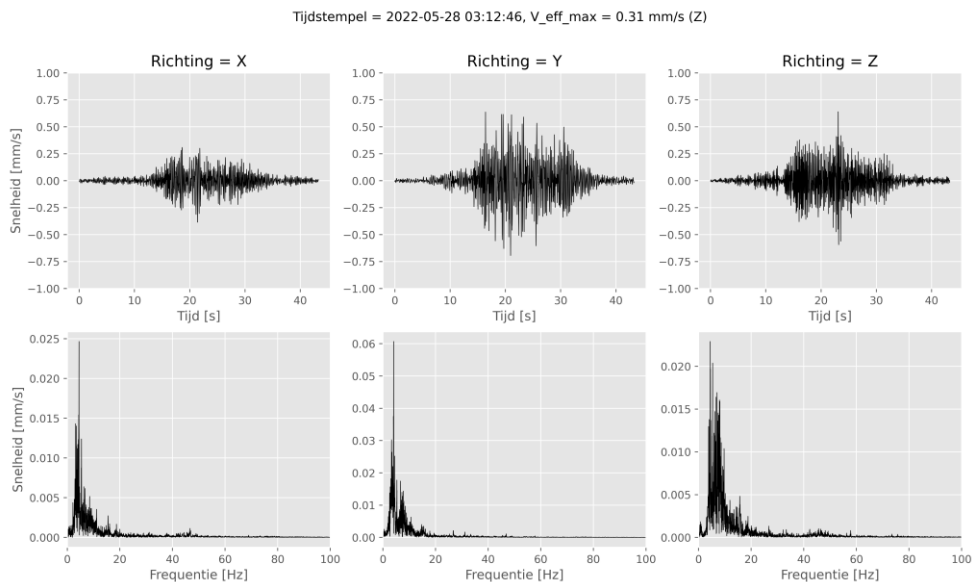
In Afbeelding I.1 is een voorbeeld te zien van het meetsignaal bij een passage van een intercitytrein bij meetlocatie II. De bovenste drie afbeeldingen laten het tijdssignaal zien in alle drie de richtingen en in de onderste drie afbeeldingen is de frequentie inhoud te zien van deze signalen. In deze figuren is te zien dat de intercity passage de grootste trillingen geeft in de verticale richting. In de onderste afbeeldingen is te zien dat er een grote piek is rond de 5 Hz.

Afbeelding I.1 Voorbeeld van een meetsignaal van een intercitytrein



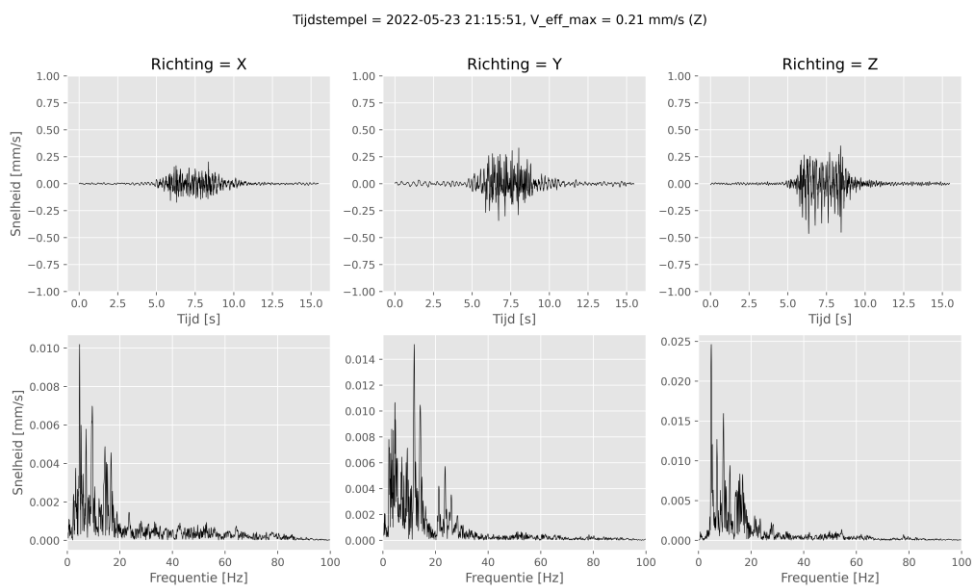
In Afbeelding I.2 is een voorbeeld te zien van een passage van een goederentrein. In deze afbeelding is te zien dat de passagetijd groter is dan die van de intercity, dit komt deels door het verschil in rijnsnelheid en deels door de lengte van de trein. Bij deze passage is het horizontale component in de y-richting beduidend groter dan in het vorige voorbeeld. De aanwezige frequenties concentreren zich wederom rond 5 Hz.

Afbeelding I.2 Voorbeeld van een meetsignaal van een goederentreinpassage



In Afbeelding I.3 is een voorbeeld gegeven van een passage van een Sprinter. Dit signaal is beduidend korter en met een kleinere trillingsamplitude, vergeleken met een Intercity en een goederentrein. Het frequentiespectrum is breder en bevindt zich vooral tussen 1 en 20 Hz.

Afbeelding I.3 Voorbeeld van een meetsignaal van een Sprinter



Afbeelding I.4 toont het meetsignaal met de grootste waarde in de y-richting. Dit betreft een eenmalige passage van onderhoudsmaterieel in de nacht, welke de grenswaarde van de SBR overschrijdt. Omdat dit uitzonderlijk vervoer betreft, wordt deze passage niet als representatief geacht.

Afbeelding I.4 Meetsignaal van onderhoudsmaterieel met een bijzonder grote waarde in y-richting

