

Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505
E info@cauberghuygen.nl
W <http://www.cauberghuygen.nl>

K.V.K. 58792562
IBAN NL71RABO0112075584

Trillingsonderzoek Spoorweglaan Best Prognose trillingshinder spoor

Datum **29 april 2022**
Referentie **08687-56184-02**

Referentie 08687-56184-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek Spoorweglaan Best
Prognose trillingshinder spoor

Datum 29 april 2022

Opdrachtgever Accent Adviseurs
Luchthavenweg 13E
5657 EA EINDHOVEN
Contactpersoon F. van der Putten

Behandeld door De heer ing. H.E.O. Williams
De heer C.J. Ostendorf
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	6
2.1	Opzet onderzoek	6
2.2	Bestemmingsplan	6
2.3	Toetsingskader	7
2.4	Beschrijving situatie	8
3	Trillingsmetingen	10
3.1	Algemeen	10
3.2	Meetposities	10
3.3	Meetparameters	12
3.4	Treinen	12
4	Meetresultaten	13
4.1	Bemande meting	13
4.2	Onbemande weekmeting	14
5	Prognose	16
5.1	Werkwijze	16
5.2	Invoergegevens	16
5.2.1	$V(f)_{\text{top, maaiveld}}$	16
5.2.2	$H(f)_{\text{fundering}}$	17
5.2.3	$H(f)_{\text{vloer}}$	17
5.2.4	$H(f)_{\text{afstand}}$	18
5.2.5	Resultaat prognose	18
5.3	Beoordeling V_{max}	19
5.4	Beoordeling V_{per}	20
5.5	Beschouwing	21
5.5.1	Conservatief model	21
5.5.2	Aantal overschrijdingen per week en per etmaal	22
5.5.3	Keuze eigenfrequentie van de vloeren	23
5.5.4	Trillingssterkte verder reduceren	23
6	Conclusie	24

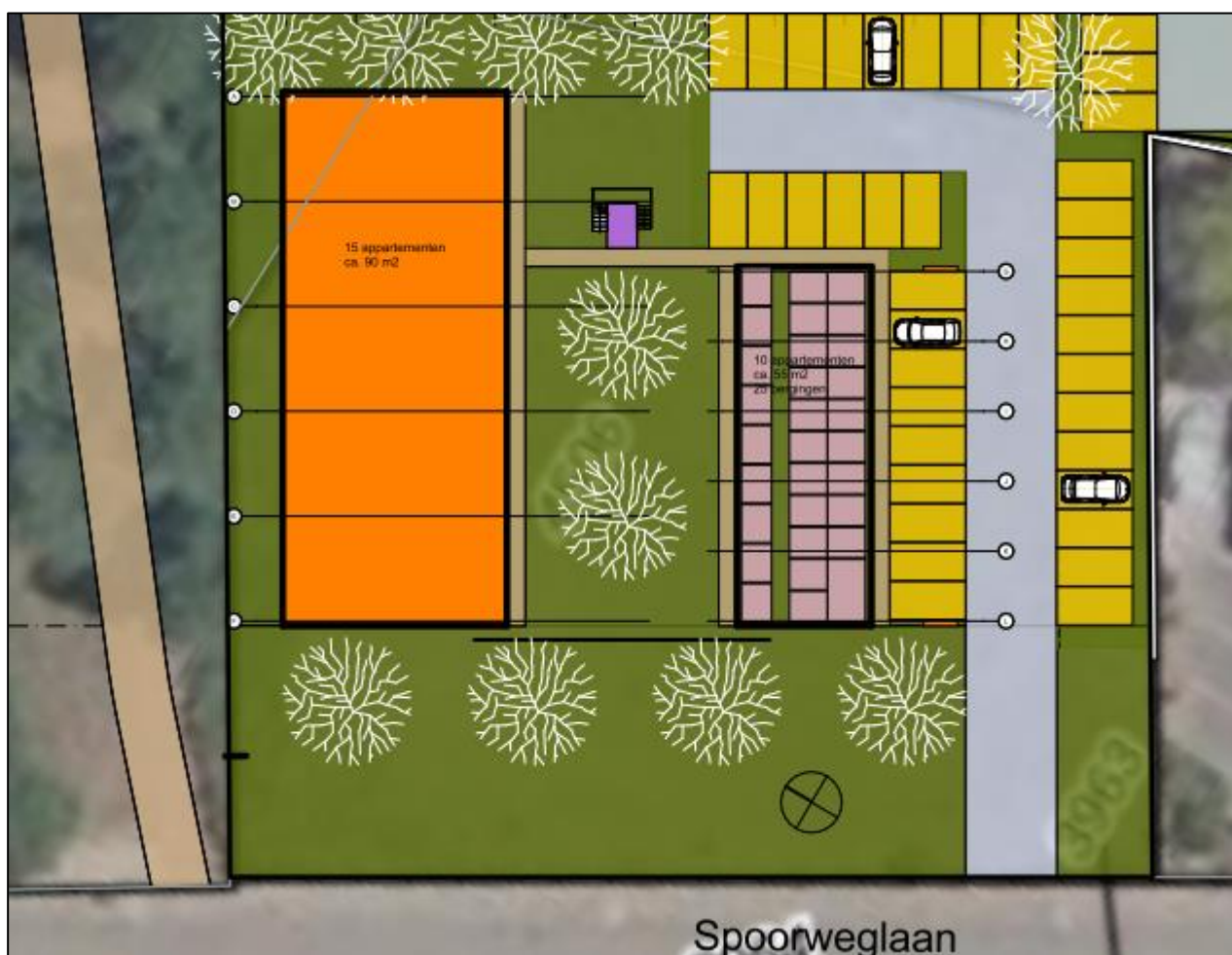
Bijlagen

Bijlage I Meetresultaten

Bijlage I-1	Verloop van $V_{\text{eff,max,30,i}}$ tijdens de onbemande meting
Bijlage I-2	SBR-B gewogen tertsbanden van de top10 gemeten passages
Bijlage I-3	Top10 gemeten treinen per meetpunt

1 Inleiding

In opdracht van Accent Adviseurs B.V. is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd in verband met het ontwikkelen van woningbouwplan Spoorweglaan te Best. Het project ligt op relatief korte afstand van de spoorlijn Eindhoven – 's-Hertogenbosch. De woonblokken in het plan liggen op circa 32 meter afstand van het spoor. Trillingen van het treinverkeer kunnen daarom tot hinder leiden voor toekomstige bewoners. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het woningbouwplan.



Figuur 1.1: Situatietekening van het woningbouwplan Spoorweglaan Best. De woonblokken zijn oranje en roze gekleurd

Het doel van het onderzoek is om:

- te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de nieuw te bouwen woningen;
- te bepalen of bij het ontwerp van de woningen rekening dient te worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen.

Ten behoeve van de onderzoeksdoelen zijn trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd en is een prognose van de trillingssterkte opgesteld.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en de beoordeling van de berekende trillingssterkte is gebruik gemaakt van de SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel B "Trillingen; hinder voor personen in gebouwen (SBR-B). SBR-B geeft streefwaarden voor de trillingssterkte in gebouwen ter voorkoming van hinder voor personen. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd ter beoordeling van de trillingen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten, de prognose en de beoordeling van de trillingen.

2 Uitgangspunten

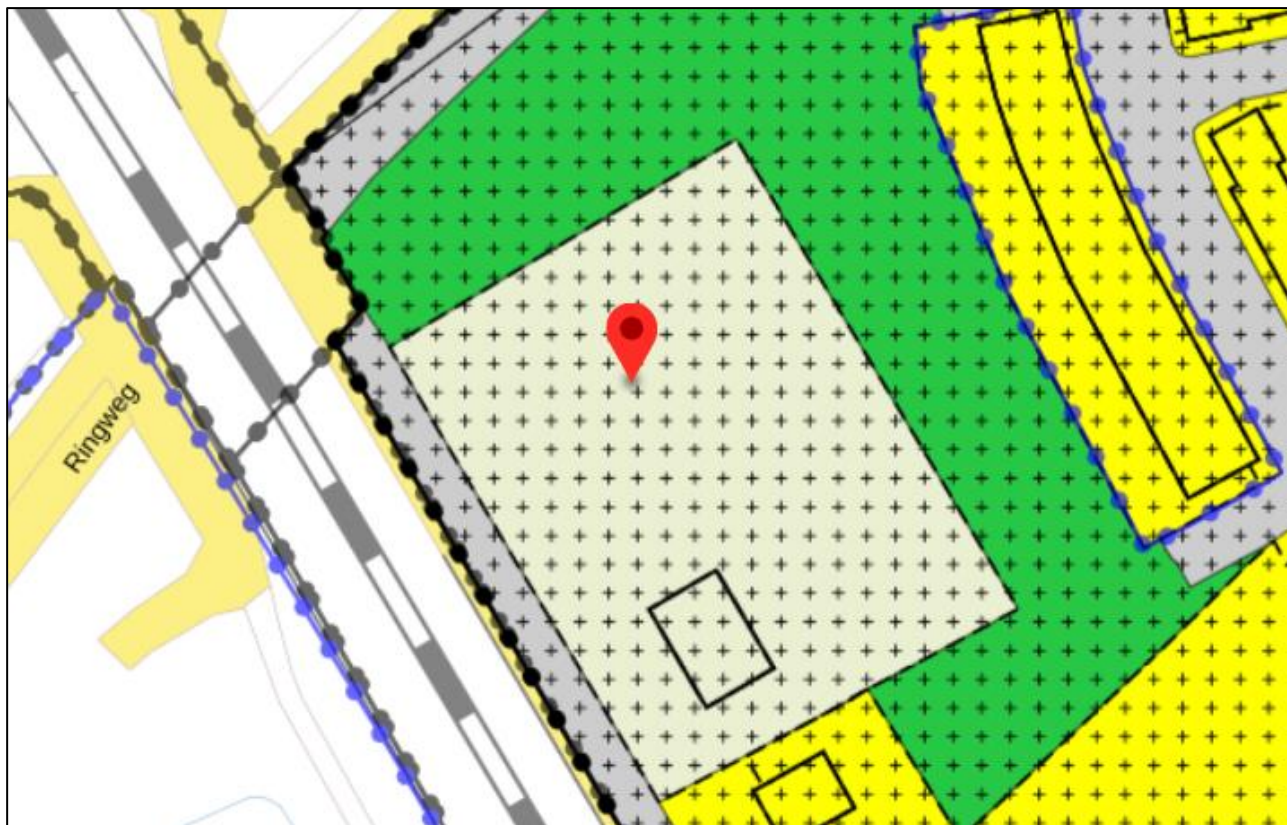
2.1 Opzet onderzoek

Voor de onderzoeksopzet is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 5 april 2022 en zijn gebruikt om de kenmerken van de trillingen van de treinpassages te bepalen. Hiermee is onderscheid gemaakt tussen treintrillingen en stoortrillingen van bijvoorbeeld het wegverkeer over de naastgelegen spooronderdoorgang of de Spoorweglaan. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd tot en met 12 april 2022 voor een periode van zeven dagen.

Er is op maaiveld gemeten, op de plaats van de hoeken van de toekomstige fundering van de twee woonblokken. Op basis van de meetresultaten op maaiveld is een trillingssterkte in de toekomstige woningen berekend. De berekende trillingssterkte $V_{\max}$ is getoetst aan de streefwaarden uit SBR-B.

2.2 Bestemmingsplan

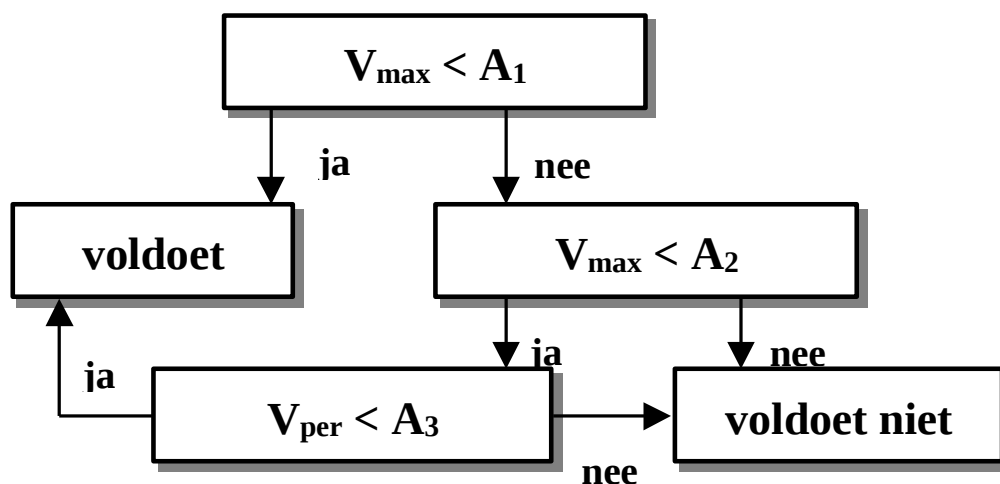
Op het plangebied rust de bestemming 'agrarisch' op basis van het op 12 juli 2010 onherroepelijk vastgestelde bestemmingsplan "Salderes" in de gemeente Best. In de planregels van het vigerende bestemmingsplan zijn geen voorwaarden opgenomen met betrekking tot trillingen. Dit betekent dat bij de beoordeling van de onderzoeksresultaten geen rekening hoeft te worden gehouden met regels vanuit het vigerende bestemmingsplan. Een afbeelding van de bestemming ter plaatse van het bouwplan is te zien in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Bestemmingsplanlocatie waarbij 'agrarisch' licht groen is gekleurd. (bron ruimtelijkeplannen.nl)

2.3 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de toekomstige woningen is gebruik gemaakt van SBR-B uit 2006. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van navolgend schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan A_1 en A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan A_3 . A_1 is de onderste streefwaarden. Als $V_{\max}$ kleiner is dan A_1 dan is verdere beoordeling niet nodig en wordt voldaan aan SBR-B. Een verdere toetsing is dan niet nodig.

A_2 is de bovenste streefwaarde. Als $V_{\max}$ niet voldoet aan A_2 dan wordt niet aan SBR-B voldaan. A_3 is de streefwaarde voor V_{per} en gaat over de gemiddelde trillingssterkte over een beoordelingsperiode. Als $V_{\max}$ groter is dan A_1 maar kleiner dan A_2 en V_{per} voldoet aan A_3 dan voldoet de trillingssterkte ook aan SBR-B. Als V_{per} groter is dan A_3 , dan wordt niet voldaan aan de SBR-B.

De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen. De functie van het bouwproject is wonen. De trillingen zijn afkomstig van railverkeer en worden daarom geclassificeerd als herhaald voorkomend. De trillingen komen zowel in de dag- (07.00-19.00 uur), avond- (19.00-23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00-07.00 uur) voor.

De voorliggende situatie betreft een nieuwe situatie want er is sprake van nieuw te bouwen woningen. In tabel 2.1 zijn de streefwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} voor een nieuwe situatie conform SBR-B opgenomen.

Tabel 2.1: Streefwaarden nieuwe situatie hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode maatgevend is voor de beoordeling van de trillingen. De streefwaarde A_2 (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het laagst en bedraagt 0,2.

2.4 Beschrijving situatie

Binnen het bouwplan zijn twee bouwblokken met appartementen voorzien. Beide bouwblokken liggen op circa 32 meter van het spoor. Het spoor ligt op maaiveld en er ligt een spooronderdoorgang vlakbij de toekomstige appartementen. Figuur 2.2 geeft een luchtfoto weer van de onbebouwde locatie.



Figuur 2.2: Luchtfoto van de onbebouwde locatie (bron: Bagviewer).

De locatie is ten tijde van het onderzoek braakliggend terrein. Een foto van de situatie is opgenomen in figuur 2.3.



Figuur 2.3: Situatiefoto van de meetlocatie vanaf meetpunt 1 richting het spoor.

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

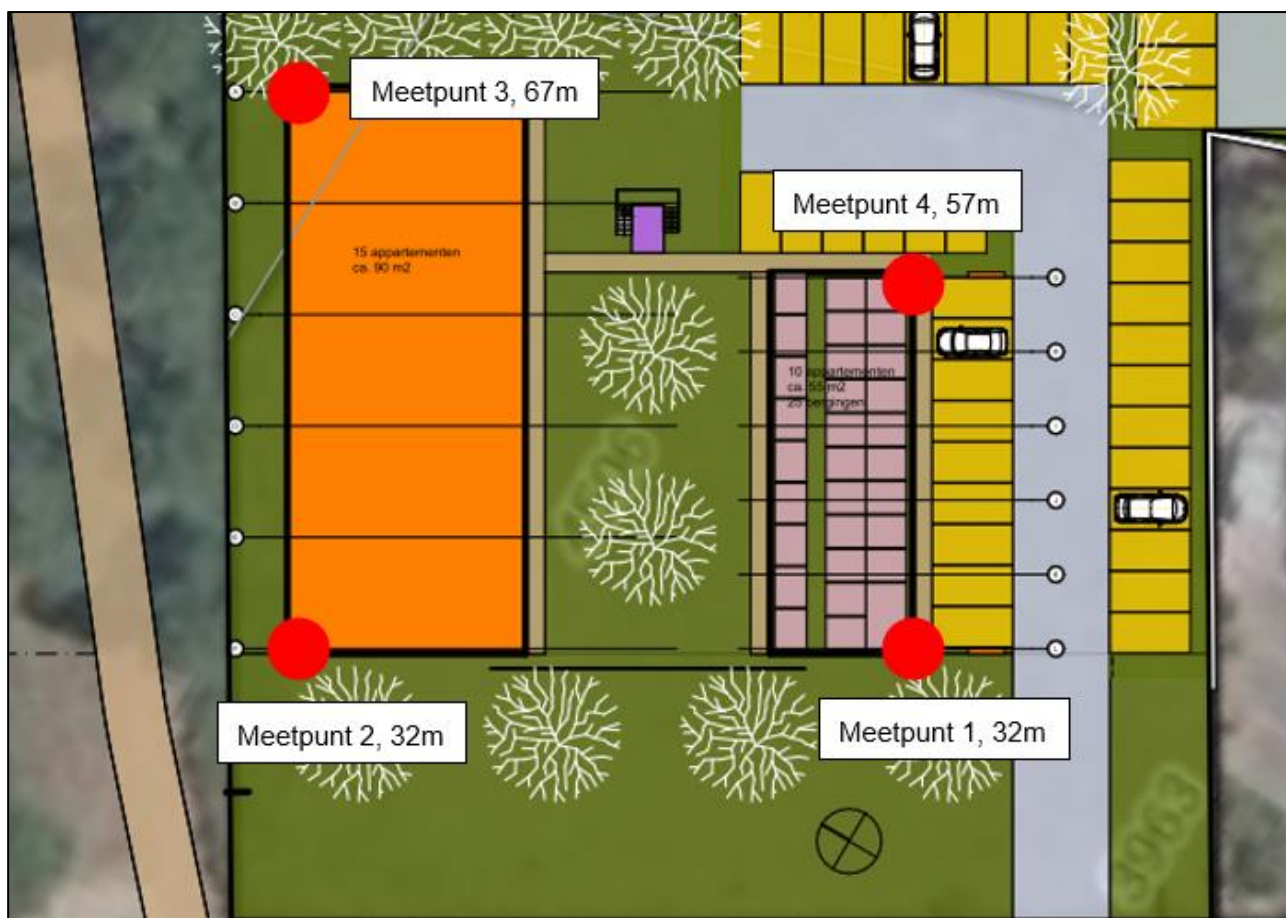
De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 5 april 2022 tot en met 12 april 2022. Bij de bemande en onbemande metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 4x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 4x triaxial Syscom trillingsopnemer MS2003+ (trillingssnelheid).

Alle trillingsmeters worden onderhouden op basis van het kwaliteitssysteem van Cauberg Huygen B.V. en zijn op basis van vier internet timeservers gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De meetpunten zijn zo dicht mogelijk bij de hoeken van de toekomstige fundering van de twee bouwblokken geplaatst. Twee meetpunten zijn geplaatst op de hoeken van de toekomstige fundering het dichtstbij het spoor. De overige twee meetpunten zijn geplaatst op de hoeken van de fundering het verst van het spoor. In figuur 3.1 is een overzicht gegeven van de meetpunten met de afstanden van de meetpunten tot het spoor.

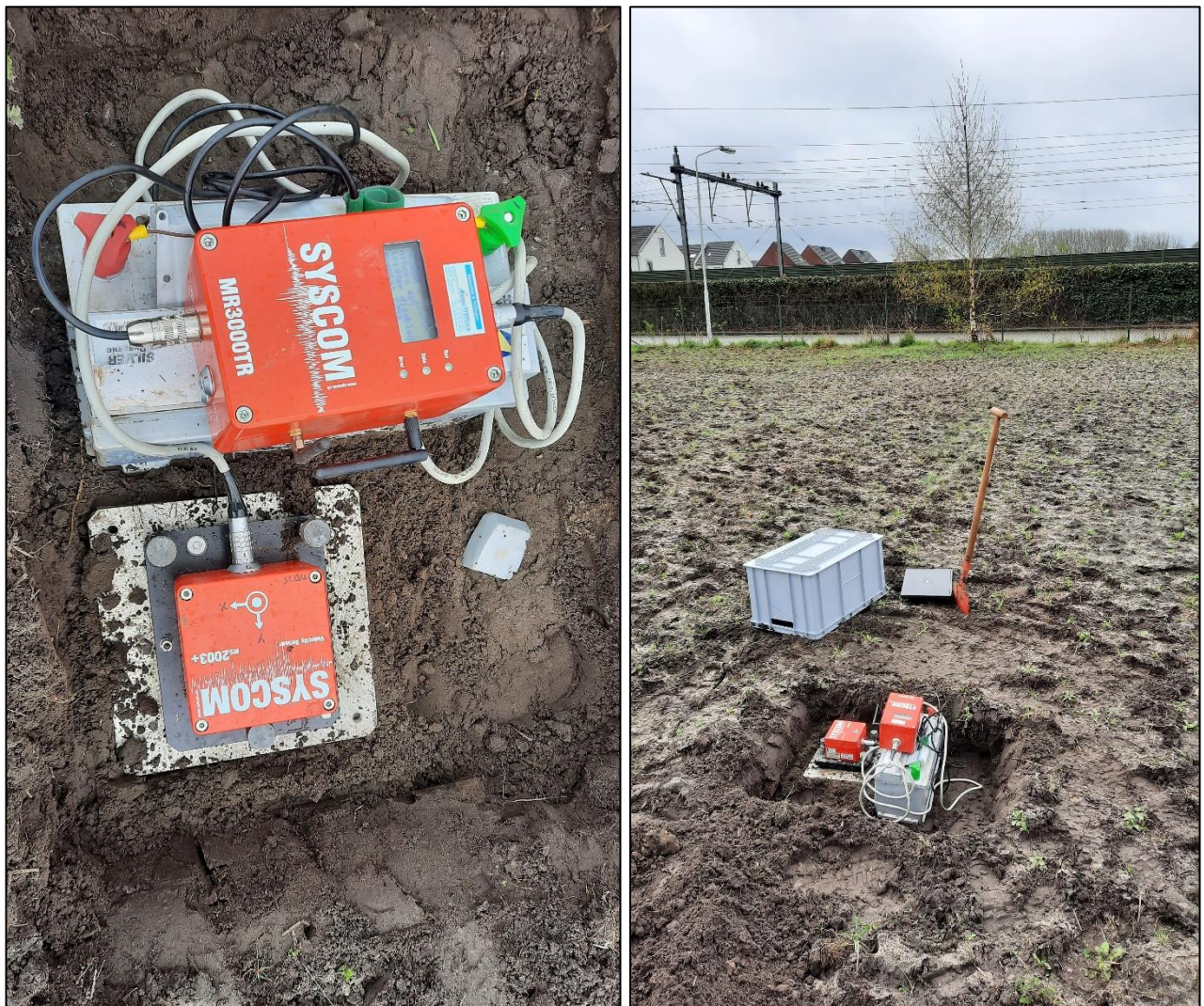


Figuur 3.1: Overzicht van de meetpunten.

Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid op maaiveld in drie richtingen gemeten:

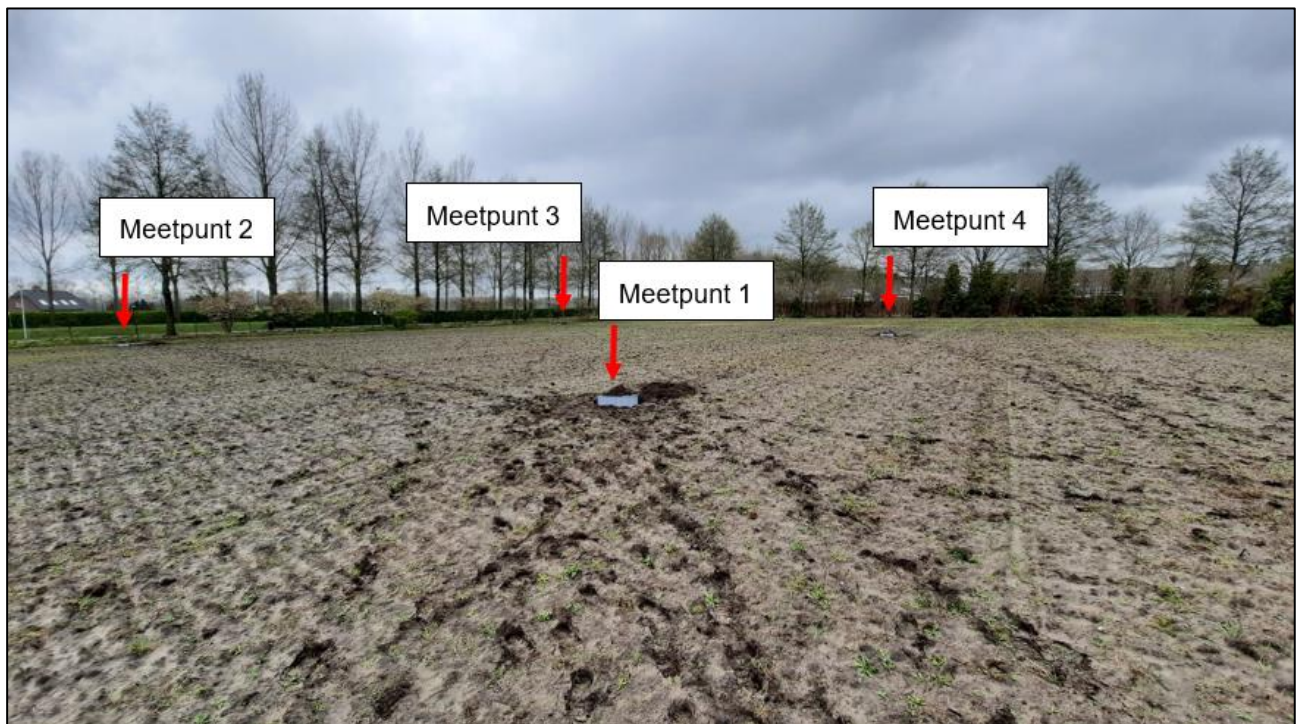
- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting).
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting).
- Verticaal (de Z-richting).

De trillingssensoren zijn ingegraven in de bodem zodat op de vaste grond is gemeten. De trillingsopnemers zijn bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. De sensor en de trillingsmeters zijn afgedekt met een plastic deksel. Figuur 3.2 geeft een voorbeeld van de opstelling geplaatst bij meetpunt 1.



Figuur 3.2: Meetopstelling bij meetpunt 1.

In figuur 3.3 is een foto opgenomen met overzicht over alle meetpunten afgedekt met de plastic deksels.



Figuur 3.3: Voorstelling van de gehele meetlocatie met meetpunt 1 midden in beeld.

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconde is de trillingssterkte $v_{eff,max,30,i}$ bepaald. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand “fast”, waarbij de frequentieweging volgens de SBR-B wordt toegepast.

Ook is voor alle treinpassages waarvan de trillingssnelheid de waarde 0,15 mm/s overschreed, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Bij meetpunt 3 en 4 is een drempelwaarde van 0,10 mm/s toegepast. Deze tijdsignalen zijn gebruikt voor de prognose.

3.4 Treinen

Tijdens de bemande trillingsmetingen is vastgesteld dat dagelijks sprinters en intercity's (type Flirt, DDZ, VIRM, ICM en ICR) over het traject rijden. Daarnaast passeren er regelmatig goederentreinen met diverse ladingen (auto's, containers, ketels en kolenwagons). De intercity's en goederentreinen rijden op volle snelheid langs de meetlocatie.

4 Meetresultaten

4.1 Bemandede meting

Op 5 april 2022 is de bemandede meting uitgevoerd. Daarbij is tussen 13:13 en 14:12 het type trein genoteerd samen met de nummer van de gereden spoor en de trillingssterkte $v_{eff,max}$ gemeten op maaiveld. Het type trein is aangegeven met GT (goederentrein), sprinter of IC (intercity). Spoor 1 is de spoorlijn het dichtstbij het plangebied en spoor 4 ligt het verste weg. Op spoor 1 en 2 rijden treinen richting 's-Hertogenbosch en op spoor 3 en 4 rijden treinen richting Eindhoven. De letter x, y of z geeft de dominante trillingsrichting aan. Het resultaat van de bemandede metingen is te zien in tabel 4.1.

Tabel 4.1: Resultaten van de bemandede meting

Tijdstip	Treintype	Spoor	$v_{eff,max}$ meetpunt 1 [-]	$v_{eff,max}$ meetpunt 2 [-]	$v_{eff,max}$ meetpunt 3 [-]	$v_{eff,max}$ meetpunt 4 [-]
13:13	IC	1	0,18 Z	0,17 Z	0,11 X	0,12 Y
13:15	sprinter	4	0,15 Z	0,16 X		
13:16	GT + IC	1 + 3	0,15 X	0,11 X	0,10 X	0,10 Y
13:21	sprinter	1	0,08 X	0,10 X	0,09 Y	0,06 X
13:21	IC + GT	2 + 4	0,27 X	0,17 X	0,14 X	0,17 X
13:25	IC	1	0,16 X	0,18 Z	0,10 X	0,10 Y
13:28	sprinter	3	0,07 X			0,05 X
13:31	sprinter	1	0,12 X	0,08 Z	0,08 Y	0,06 X
13:35	IC	3	0,17 Z	0,10 X	0,07 X	0,11 Y
13:37	IC	4	0,19 Z	0,09 Z	0,08 Z	0,10 Y
13:42	GT	1	0,18 Z	0,15 Z	0,11 X	0,12 X
13:44	sprinter	4				
13:46	sprinter	1	0,07 X			
13:47	onbekend	4	0,17 X	0,12 X	0,09 Y	0,11 Y
13:50	IC	2	0,25 X	0,18 Y	0,14 Y	0,15 X
13:52	GT	4	0,12 Y	0,09 X	0,09 Y	0,05 Y
13:52	IC	2	0,15 X	0,12 X	0,10 X	0,07 X
13:57	sprinter	3	0,09 Z	0,06 X	0,05 Y	0,05 X
14:01	GT	1	0,17 Z	0,14 X	0,14 Y	0,11 X
14:05	sprinter	1	0,09 X	0,08 X	0,06 Y	0,05 X
14:06	IC	3	0,12 Y	0,08 X	0,06 Z	0,09 Y
14:08	IC	4	0,19 Z	0,09 X	0,09 Z	0,08 Y
14:12	IC	2	0,14 X	0,13 Z	0,10 X	0,09 Y

Het hoogst gemeten trillingssterkte $v_{eff,max}$ bedroeg 0,27, in de horizontale trillingsrichting, bij meetpunt 1. Deze trilling is veroorzaakt door een intercity en goederentrein die tegelijkertijd reden op respectievelijk spoor 2 en 4. Deze passage veroorzaakte ook de hoogste gemeten trillingssterkte bij meetpunten 3 en 4 (0,14 en 0,17) en de één na hoogste trillingssterkte bij meetpunt 2 (0,17).

De trillingssterkte van de passages van de sprinters om 13.44 en 13.46 uur was te laag om op alle meetpunten boven de drempelwaarde uit te komen.

4.2 Onbemande weekmeting

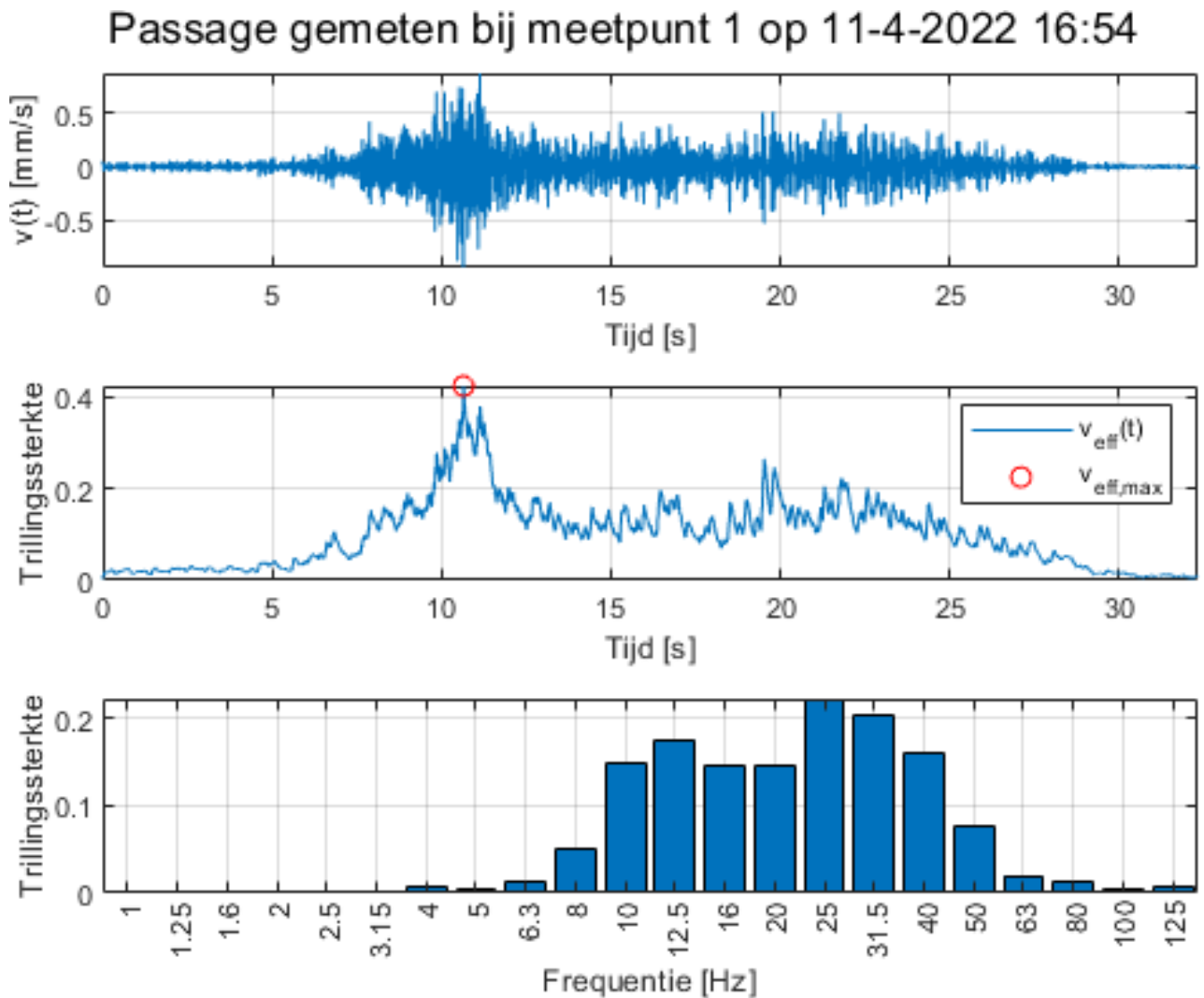
Aansluitend op de bemande meting is de onbemande meting gestart voor de gehele meetperiode. Per meetpunt is een top tien geselecteerd van de treinpassages met de hoogste trillingssterkte $V_{eff,max}$. Deze waarden zijn weergegeven in tabel 4.2. Daarin is de datum en tijd van de treinpassage opgenomen samen met de $V_{eff,max}$ en de dominante trillingsrichting gemeten bij dat meetpunt. De meetresultaten van alle treinpassages zijn opgenomen in grafieken in bijlage I.

Tabel 4.2: Top tien passages per meetpunt tijdens de onbemande meting

Datumtijd	$V_{eff,max}$ meetpunt 1 [-]	$V_{eff,max}$ meetpunt 2 [-]	$V_{eff,max}$ meetpunt 3 [-]	$V_{eff,max}$ meetpunt 4 [-]
6-4-2022 00:40		0,32 X	0,26 Y	
6-4-2022 00:56			0,26 Y	
6-4-2022 06:27	0,36 Y			
6-4-2022 12:24			0,34 Y	
6-4-2022 14:29	0,37 X			
6-4-2022 17:40			0,28 Y	
7-4-2022 08:04				0,26 X
8-4-2022 00:33	0,40 Y	0,33 X	0,26 X	0,24 X
8-4-2022 10:22		0,30 X		0,26 X
8-4-2022 17:54			0,31 Y	
9-4-2022 00:55		0,30 X		
9-4-2022 02:37				0,24 X
9-4-2022 11:39	0,34 X			
9-4-2022 13:06	0,37 X	0,31 X		0,34 X
9-4-2022 13:23				0,27 Y
9-4-2022 16:55			0,28 Y	
9-4-2022 18:41		0,34 X	0,35 X	0,24 X
10-4-2022 09:28		0,30 X	0,26 X	
10-4-2022 13:28		0,33 X		0,34 X
10-4-2022 13:28	0,35 X			
10-4-2022 20:37	0,37 Z			
10-4-2022 23:11				0,24 X
11-4-2022 07:07		0,32 X		
11-4-2022 16:54	0,42 Z	0,32 X		
12-4-2022 00:22	0,38 Z			
12-4-2022 02:39			0,26 Y	
12-4-2022 07:06	0,40 X			0,29 X

Uit de onbemande meting blijkt dat de hoogst gemeten trillingssterkte V_{max} 0,42 bedraagt in de verticale trillingsrichting. Deze trillingssterkte is gemeten tijdens een passage op 11 april 2022 om 16:54 bij meetpunt

1. In figuur 4.1 is het gemeten tijdsignaal te zien (boven) samen met de voortschrijdend effectieve waarde (midden) en het max-hold spectrum in tertsbanden (onder).



Figuur 4.1: Passage bij meetpunt 1 die de hoogste gemeten trillingssterkte veroorzaakte.

In figuur 4.1 is te zien dat de maximale trillingssterkte $v_{eff,max}$ van dit tijdssignaal aan het begin van de passage plaatsvindt rond de tijdstip 11 seconden. De trillingssterkte is waarschijnlijk veroorzaakt door een goederentrein. Het spectrum is breedbandig, met de meeste energie in de 10 tot en met 40 Hz tertsbands. De 25 Hz tertsbands is het meest dominant in het spectrum.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

Voor de berekening van de trillingsniveaus is gebruik gemaakt van het volgende empirische rekenmodel:

$$V_{\max} = V(f)_{\text{topmaaiveld}} * H(f)_{\text{fundering}} * H(f)_{\text{vloer}} * H(f)_{\text{afstand}} * H(v)_{\text{SBRB}}$$

Hierin is:

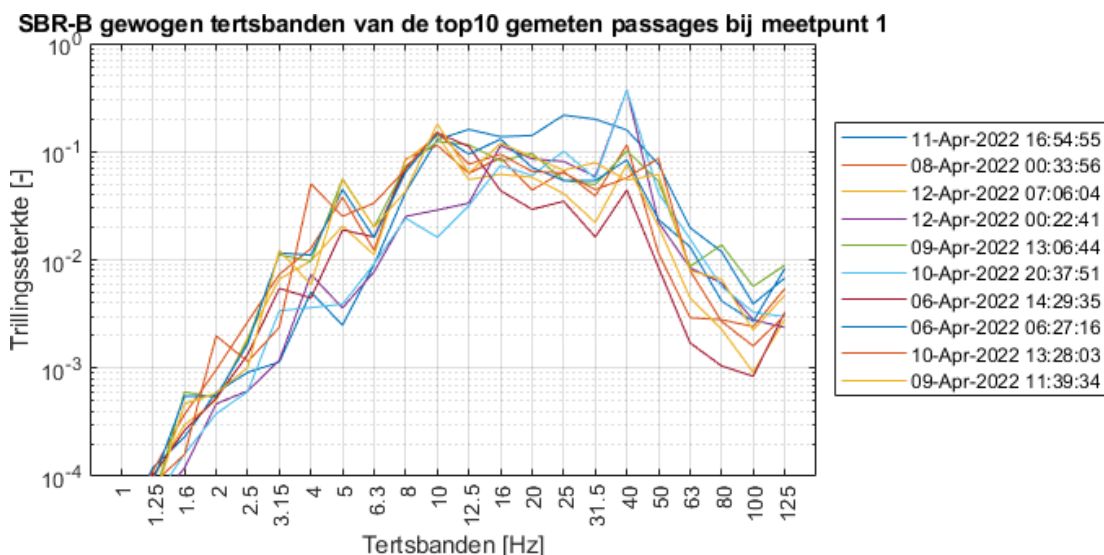
$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte
$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	de gemeten trillingssnelheid op maaiveld
$H(f)_{\text{fundering}}$	overdrachtsfactor voor de fundering
$H(f)_{\text{vloer}}$	overdrachtsfactor voor de vloer
$H(f)_{\text{afstand}}$	correctiefactor voor het verschil in afstand tussen meetpunt en nieuwbouw tot het spoor
$H(v)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 125 Hz in tertsbanden. Voor $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$ is uitgegaan van een max-hold spectrum. De weging volgens $H(v)_{\text{SBRB}}$ is toegepast op $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$. De prognose is opgesteld per meetpunt. Een berekend verschil in $V_{\max}$ van 0,05 is niet significant. Daarvoor is de onzekerheid binnen de prognose te groot.

5.2 Invoergegevens

5.2.1 $V(f)_{\text{top,maaiveld}}$

Per meetpunt zijn alle treinpassages spectraal vergeleken, waarna de prognose op basis van deze passages is opgesteld. Figuur 5.1 geeft een voorbeeld van de top tien spectra die voor meetpunt 1 zijn bepaald. Deze spectra zijn gewogen volgens de SBR-B en zijn weergegeven in de vorm van een max-hold tertsbandspectrum. De top tien spectra van de overige drie meetpunten zijn te vinden in bijlage I.

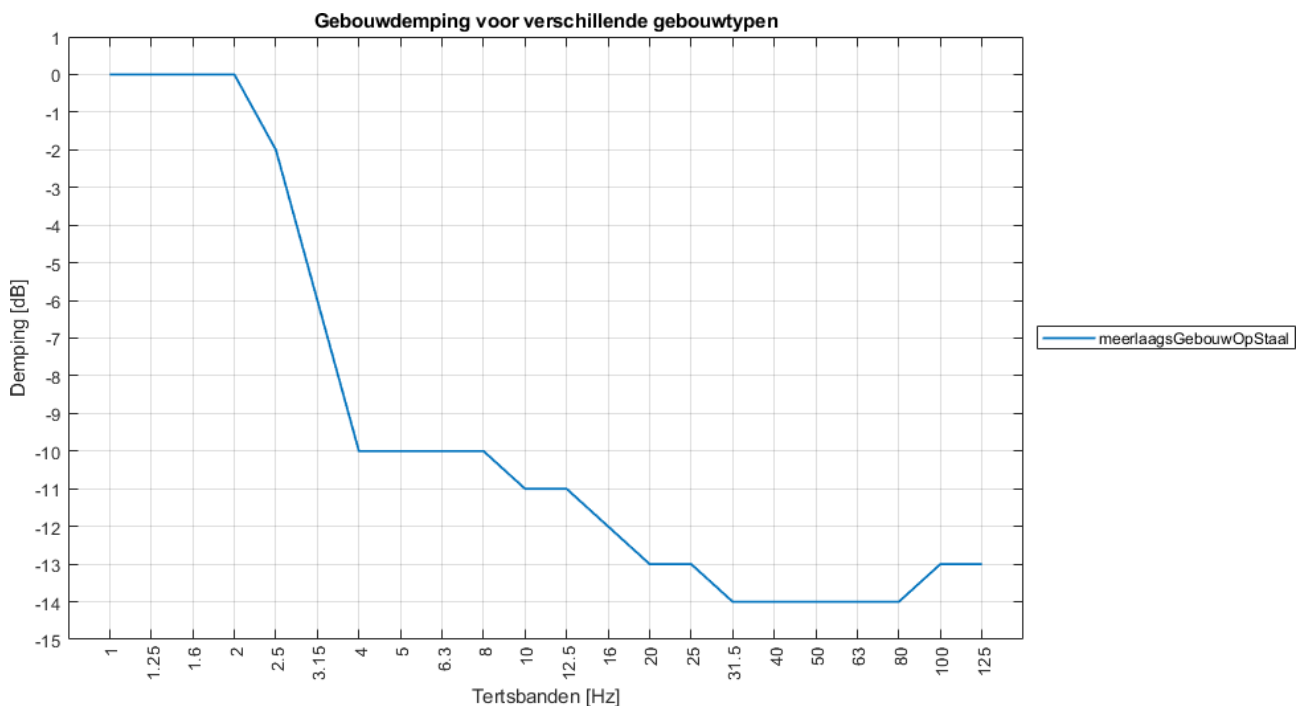


Figuur 5.1: SBR-B gewogen tertsbanden van de top 10 gemeten passages bij meetpunt 1

Uit figuur 5.1 blijkt dat de 40 en 10 Hz tertsbanden maatgevend zijn in het spectrum voor meetpunt 1.

5.2.2 $H(f)$ fundering

Voor de overdracht van de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering van de woning, is uitgegaan van een meerlaags gebouw gefundeerd op staal. Op basis van literatuurgegevens is uitgegaan van de in figuur 5.2 getoonde overdrachtsfactoren in dB voor de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering.



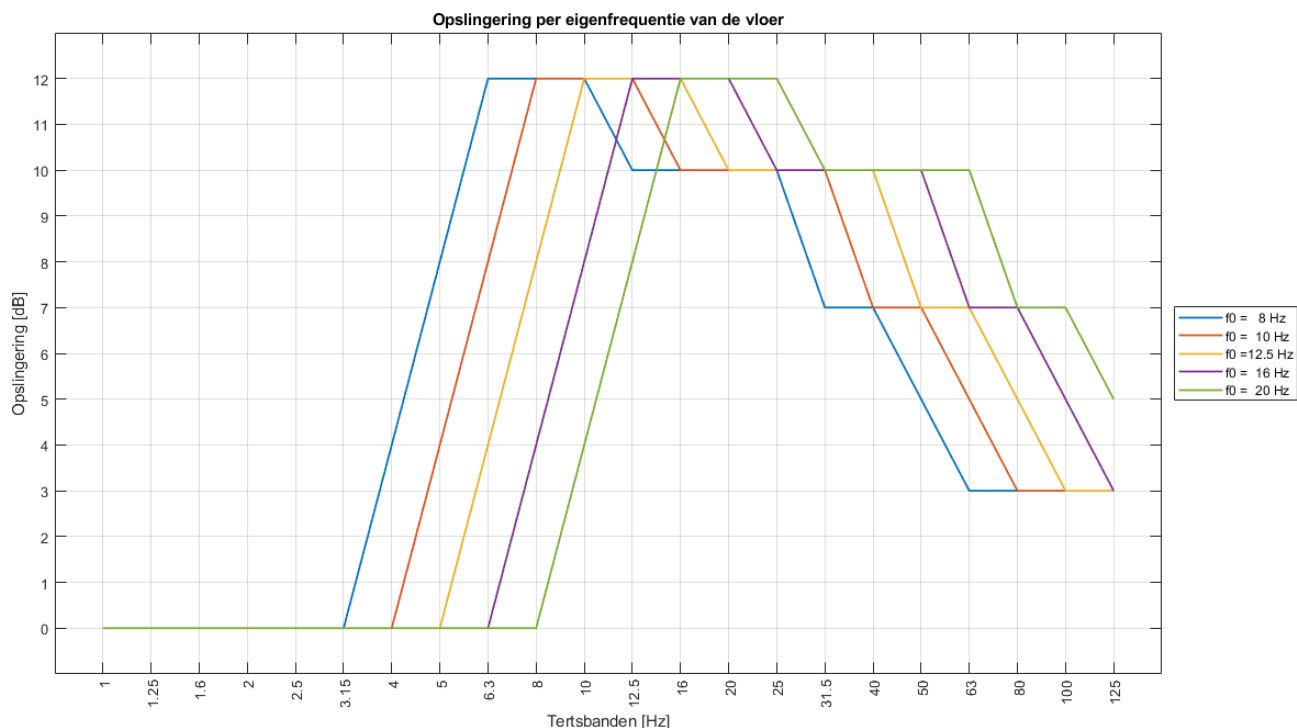
Figuur 5.2: Gebouwdemping toegepast in het prognosemodel voor een meerlaagsgebouw gefundeerd op staal

Een waarde van 0 wil zeggen dat er geen verzwakking optreedt. Een negatieve waarde betekent een reductie van de trillingen. Voor de laagste frequenties vanaf de 1 tot 2 Hz tertsbanden heeft de fundering geen reducerende invloed. De grootste verzwakking bedraagt 14 dB, ongeveer een factor 5.

5.2.3 $H(f)_{\text{vloer}}$

Omdat de vloeren van de woningen in het bouwplan nog geen vastgestelde dimensies hebben, is gerekend met eigenfrequenties van de vloer die vaak voorkomen in dit type woningen. Deze eigenfrequenties liggen tussen de 8 en 20 Hz tertsbanden.

Op basis van deze eigenfrequenties is rekening gehouden met mogelijke resonantie van de vloer waardoor versterking van de trillingen optreedt. Figuur 5.3 toont de overdrachtsfactoren. Een waarde groter dan 0 dB geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie waardoor de trillingssterkte toeneemt. Er is rekening gehouden met de onzekerheid van de gekozen eigenfrequenties in het empirisch model, waarbij een spreiding in de eigenfrequentie op kan treden. Daarom is steeds een bandbreedte aangehouden waarbinnen de resonantie optreedt. De prognose is daarom niet gevoelig voor kleine veranderingen in de eigenfrequentie.



Figuur 5.3: Opslingering per eigenfrequentie van de vloer (8 t/m 20 Hz)

De versterking als gevolg van resonantie bedraagt maximaal 12 dB, ongeveer een factor 4.

5.2.4 $H(f)_{\text{afstand}}$

De meetpunten zijn gekozen ter plaatse van de toekomstige gebouwen. Daarom is geen afstandscorrectie nodig en bedraagt de factor $H(f)_{\text{afstand}}$ 1.

5.2.5 Resultaat prognose

De geprognosticeerde trillingssterkte V_{max} is berekend door het gemeten max-hold spectrum (figuur 5.1) te vermenigvuldigen met het overdrachtsspectrum voor de fundering (figuur 5.2) en het overdrachtsspectrum voor de invloed van de vloer (figuur 5.3). Het overdrachtsspectrum voor de fundering zorgt, afhankelijk van de frequentie, voor een reductie van de trillingssterkte terwijl het overdrachtsspectrum voor de vloer, afhankelijk van de frequentie, voor een versterking zorgt. Het berekende eindspectrum in tertsbanden is opgeteld tot één totaalwaarde, de V_{max} .

Per meetpunt is voor alle treinpassages en de gekozen eigenfrequenties van de vloer een prognose opgesteld. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in tabel 5.1. De trillingssterkte V_{max} is weergegeven voor de eigenfrequenties die het meest gunstige beeld geven (best case, laagste trillingssterkte) en het meest ongunstige beeld (worst case, hoogste trillingssterkte) voor de dag-, avond- en nachtperiode.

Tabel 5.1: Prognoseresultaten van $V_{\max}$ in geval van het best case eigenfrequentie (links) en worst case (rechts)

	$V_{\max}$, best case eigenfrequentie				$V_{\max}$, worst case eigenfrequentie			
	f0	Nacht	Dag	Avond	f0	Nacht	Dag	Avond
Meetpunt 1	8	0,24	0,30	0,21	12,5	0,29	0,34	0,26
Meetpunt 2	20	0,24	0,25	0,25	12,5	0,27	0,32	0,26
Meetpunt 3	20	0,13	0,15	0,15	12,5	0,19	0,21	0,18
Meetpunt 4	8	0,14	0,16	0,16	16	0,18	0,19	0,20

Uit tabel 5.1 blijkt dat de trillingssterkte bij meetpunt 1 het hoogst is, met 0,30 bij een eigenfrequentie van de vloer van 8 Hz en 0,34 bij een eigenfrequentie van de vloer van 12,5 Hz. Bij meetpunt 2 is de maximale trillingssterkte wat lager met in het best case scenario een $V_{\max}$ van 0,25 (bij 20 Hz) en in het worst case scenario een $V_{\max}$ van 0,32 (bij 12,5 Hz).

Bij de meetpunten verder van het spoor is een veel lagere maximale trillingssterkte geprognosticeerd. Bij meetpunt 3 is bij een eigenfrequentie van de vloer van 20 Hz (best case) een $V_{\max}$ van 0,15 te zien en bij een eigenfrequentie van 12,5 Hz (worst case) bedraagt $V_{\max}$ 0,21. Voor meetpunt 4 geldt een $V_{\max}$ van 0,16 bij een vloereigenfrequentie van 8 Hz (best case) en een $V_{\max}$ van 0,20 bij een vloereigenfrequentie van 16 Hz (worst case).

5.3 Beoordeling $V_{\max}$

De eerste beoordeling van de trillingssterkte $V_{\max}$ vindt plaats op basis van de bovenste streefwaarde namelijk A_2 . Als deze waarde wordt overschreden is een verdere beoordeling niet nodig omdat er dan niet wordt voldaan aan de streefwaarden uit SBR-B. A_2 voor nieuwbouwwoningen bedraagt 0,2 in de nachtperiode en 0,4 in de dag- en avondperiode.

In tabel 5.2 zijn de prognoseresultaten voor alle meetpunten weergegeven bij de meest ongunstige eigenfrequentie van de vloer (voor meetpunten 1, 2 en 3 is dat 12,5 Hz en voor meetpunt 4 is dat 16 Hz). De trillingssterkten $V_{\max}$ in de oranje gekleurde vakken voldoen niet aan de streefwaarde A_2 (0,4 voor de dag- en avondperiode, 0,2 voor de nachtperiode), de trillingssterkten $V_{\max}$ in de geel gekleurde vakken voldoen wél aan de streefwaarde A_2 maar niet aan de streefwaarde A_1 (0,1 voor alle perioden).

Tabel 5.2: Beoordeling $V_{\max}$ in geval van de meest ongunstige eigenfrequentie van de vloer

	$V_{\max}$, worst case eigenfrequentie					
	A2 Nacht	$V_{\max}$ Nacht	A2 Dag	$V_{\max}$ Dag	A2 Avond	$V_{\max}$ Avond
Meetpunt 1	0,2	0,29	0,4	0,34	0,4	0,26
Meetpunt 2	0,2	0,27	0,4	0,32	0,4	0,26
Meetpunt 3	0,2	0,19	0,4	0,21	0,4	0,18
Meetpunt 4	0,2	0,18	0,4	0,19	0,4	0,20

Uit tabel 5.2 blijkt dat voor meetpunt 1 en 2 de geprognosticeerde maximale trillingssterkte $V_{\max}$ niet voldoet aan de streefwaarde A_2 van de nachtperiode (0,2). Er wordt wel voldaan aan de streefwaarde A_2 voor de dag- en avondperiode (0,4) voor deze twee meetpunten. De maximale trillingssterkten bij meetpunt 3 en 4 voldoen aan de streefwaarde A_2 van alle perioden (dag-, avond- en nacht).

In tabel 5.3 zijn de prognoseresultaten voor alle meetpunten weergegeven bij de meest gunstige eigenfrequentie van de vloer (voor meetpunt 1 en 4 is dit 8 Hz, voor de overige twee meetpunten is dit 20 Hz). De trillingssterkten $V_{\max}$ in de oranje gekleurde vakken voldoen niet aan de streefwaarde A_2 . Als het vak geel is gekleurd voldoet $V_{\max}$ wel aan de streefwaarde A_2 (0,4 voor de dag- en avondperiode, 0,2 voor de nachtperiode), maar niet aan de streefwaarde A_1 (0,1 voor alle perioden).

Tabel 5.3: Beoordeling $V_{\max}$ in geval van de meest gunstige eigenfrequentie van de vloer

	$V_{\max}$, worst case eigenfrequentie					
	A2 Nacht	$V_{\max}$ Nacht	A2 Dag	$V_{\max}$ Dag	A2 Avond	$V_{\max}$ Avond
Meetpunt 1	0,2	0,24	0,4	0,30	0,4	0,21
Meetpunt 2	0,2	0,24	0,4	0,25	0,4	0,25
Meetpunt 3	0,2	0,13	0,4	0,15	0,4	0,15
Meetpunt 4	0,2	0,14	0,4	0,16	0,4	0,16

Uit tabel 5.3 blijkt dat hoewel de maximale trillingssterktes voor alle meetposities en perioden lager is door de gunstige eigenfrequentie, dit niet leidt tot een ander toetsingsresultaat dan bij de berekende waarden in tabel 5.2. Wederom voldoet de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ bij meetpunt 1 en 2 aan de streefwaarde A_2 voor de dag- en avondperiode (0,4), maar niet aan de streefwaarde A_2 voor de nachtperiode (0,2). Daarnaast voldoet de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in alle perioden aan de streefwaarde A_2 bij meetpunt 3 en 4.

De maximale overschrijding in geval van het meest gunstige eigenfrequentie van de vloer is slechts 0,24 ten opzichte van de streefwaarde van 0,2 (meetpunt 1, nachtperiode). Dan is de factor van de overschrijding ongeveer 1,25 (of 25%). Het is echter mogelijk dat de trein die deze $V_{\max}$ van 0,30 zou veroorzaken ook 's nachts rijdt. In dat geval is de overschrijding ongeveer een factor 1,5 (of 50%).

Omdat voor sommige meetpunten $V_{\max}$ voldoet aan de streefwaarde A_2 , is voor deze meetpunten en perioden een beoordeling nodig van de onderste streefwaarde A_1 (0,1). In de best case scenario voldoet $V_{\max}$ voor geen enkel meetpunt en periode aan de streefwaarde A_1 . Voor de meetpunten en perioden waarin $V_{\max}$ voldoet aan de streefwaarde A_2 , is een aanvullende beoordeling nodig van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} .

5.4 Beoordeling V_{per}

De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is berekend voor de dag-, avond- en nachtperiode voor het meest ongunstige scenario van de vloereigenfrequentie (voor meetpunten 1, 2 en 3 is dat 12,5 Hz en voor meetpunt 4 is dat 12,5 Hz). Voor de volledigheid is de berekening en beoordeling voor alle meetpunten en perioden uitgevoerd. Bij de berekening van V_{per} zijn conform SBR-B alleen die passages meegenomen met een geprognosticeerde $v_{\text{eff,max}}$ van 0,1 of hoger. De waarden voor V_{per} zijn per periode opgenomen in tabel 5.4. De waarden die niet beoordeeld hoeven worden omdat daar niet wordt voldaan aan de streefwaarde A_2 , hebben een grijze kleur.

Tabel 5.4: Beoordeling V_{per} in geval van de meest ongunstige eigenfrequentie van de vloer

	V_{per} , worst case eigenfrequentie					
	A3 Nacht	V_{per} Nacht	A3 Dag	V_{per} Dag	A3 Avond	V_{per} Avond
Meetpunt 1	0,05	0,036	0,05	0,054	0,05	0,060
Meetpunt 2	0,05	0,028	0,05	0,047	0,05	0,049
Meetpunt 3	0,05	0,014	0,05	0,020	0,05	0,021
Meetpunt 4	0,05	0,008	0,05	0,010	0,05	0,017

Uit tabel 5.4 blijkt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet aan de streefwaarde A_3 bij meetpunt 3 en 4 in de dag-, avond- en nachtperiode. Bij meetpunt 2 voldoet V_{per} ook in alle perioden aan de streefwaarde A_3 echter is de toetsing voor de nachtperiode niet nodig omdat daar niet wordt voldaan aan de streefwaarde A_2 voor V_{max} . Meetpunt 1 voldoet in zowel de dag- en avondperiode niet aan de streefwaarde A_3 .

Uit de beoordelingen van V_{per} en V_{max} in geval van de meest ongunstige scenario volgt dat voor meetpunt 1 in alle perioden de kans op hinder als gevolg van trillingen van passerende treinen aanwezig is. Daarnaast is bij meetpunt 2 de kans op hinder aanwezig in de nachtperiode als gevolg van deze trillingen. Bij meetpunt 3 en 4 wordt aan alle streefwaarden voldaan. Dat betekent dat voor deze twee meetpunten de kans op hinder als gevolg van trillingen van passerende treinen klein wordt geacht.

De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is ook berekend voor het meest gunstige scenario van de vloereigenfrequentie. De waarden hiervan zijn per periode opgenomen in tabel 5.5. De waarden die niet beoordeeld hoeven worden omdat daar niet wordt voldaan aan de streefwaarde A_2 , hebben een grijze kleur.

Tabel 5.5: Beoordeling V_{per} in geval van de meest gunstige eigenfrequentie van de vloer

	V_{per} , best case eigenfrequentie					
	A3 Nacht	V_{per} Nacht	A3 Dag	V_{per} Dag	A3 Avond	V_{per} Avond
Meetpunt 1	0,05	0,028	0,05	0,041	0,05	0,048
Meetpunt 2	0,05	0,021	0,05	0,037	0,05	0,040
Meetpunt 3	0,05	0,005	0,05	0,007	0,05	0,010
Meetpunt 4	0,05	0,007	0,05	0,008	0,05	0,014

Uit tabel 5.5 volgt dat in alle perioden voor alle meetpunten wordt voldaan aan de streefwaarde A_3 . In combinatie met de resultaten van de toetsing van V_{max} uit tabel 5.3 betekent dit dat alleen voor meetpunt 1 en 2 de kans bestaat op trillingshinder als gevolg van passerende treinen in de nachtperiode. Voor de dag- en avondperiode wordt de kans op trillingshinder op voorhand klein geacht. Bij meetpunt 3 en 4 is de kans op trillingshinder in alle perioden wederom klein.

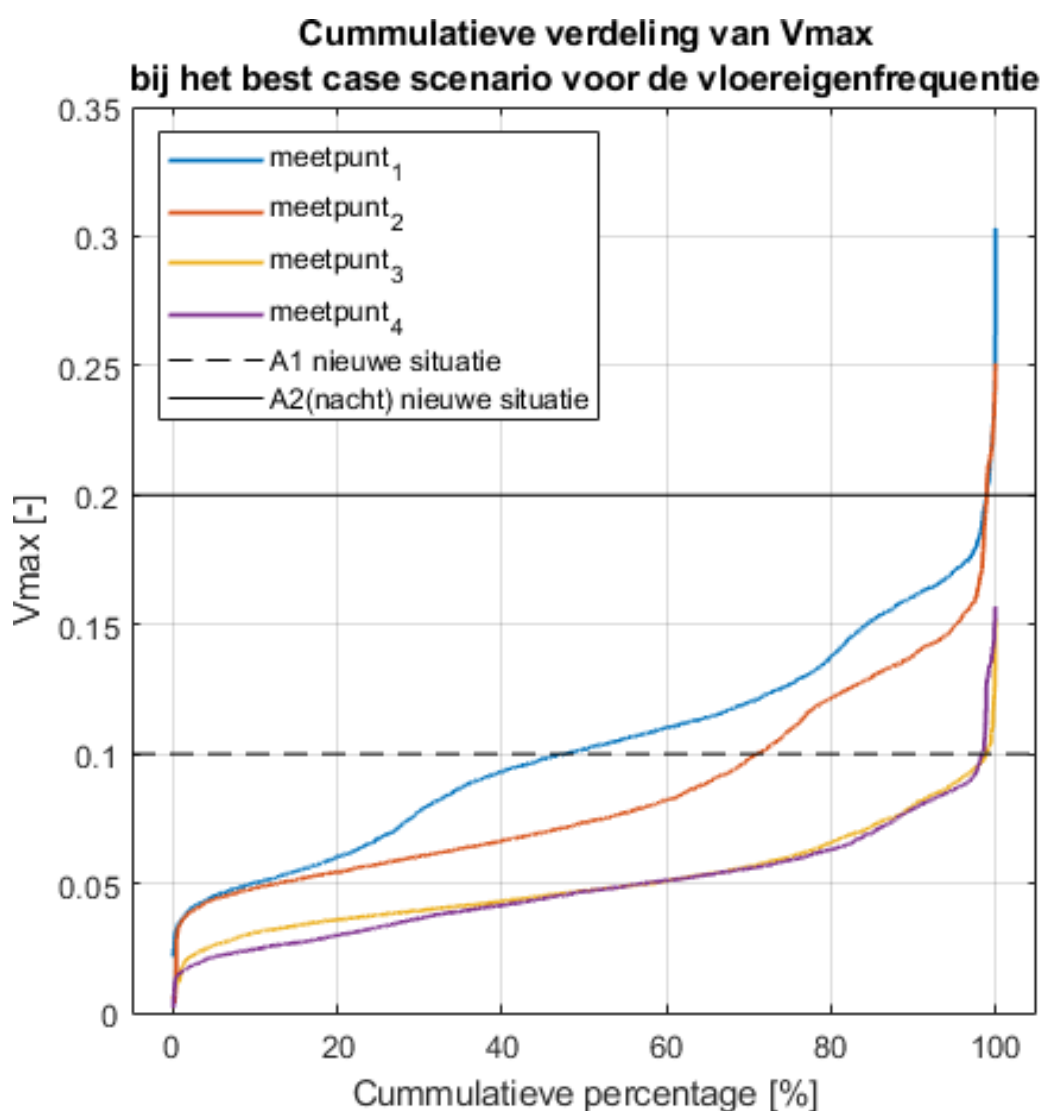
5.5 Beschouwing

5.5.1 Conservatief model

Het is van belang om te beseffen dat het rekenmodel conservatief rekent en uitgaat van ongunstige situaties. Deze wijze van rekenen past bij de bepaling van een maximale waarde zoals V_{max} . Het rekenmodel is zo opgebouwd dat de kans groter is dat de werkelijke trillingssterkte na realisatie van het gebouw lager is dan de voorspelde trillingssterkte, dan dat de werkelijke trillingssterkte hoger is dan de voorspelde trillingssterkte.

5.5.2 Aantal overschrijdingen per week en per etmaal

Het is belangrijk om te beseffen dat niet elke treinpassage zal zorgen voor de berekende overschrijdingen. De prognose is beoordeeld op basis van de $V_{\max}$ over een meetperiode van een week. Figuur 5.4 toont de verdeling van de geprognosticeerde $v_{\max}$ voor alle meetpunten over de meetperiode van één week op basis van de best case (dus met een gunstige eigenfrequentie van de vloer). De streefwaarde A_2 in de nacht is aangegeven met een doorgetrokken zwarte lijn. De streefwaarde A_1 is aangegeven met een stippellijn. Overschrijding van de streefwaarde A_1 is acceptabel als $V_{\max}$ voldoet aan A_2 en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet aan de streefwaarde A_3 .



Figuur 5.4: Cummulatieve verdeling van $v_{\text{eff,max}}$ bij het best case scenario voor de eigenfrequentie van de vloer

Uit figuur 5.4 blijkt dat bij meetpunt 1 en 2 in het geval van het best case scenario ongeveer 3% van het aantal treinp passages in de week, leidt tot een overschrijding van de streefwaarde A_2 voor de nachtperiode (0,2). Op basis van de meetgegevens is aanvullend het gemiddeld aantal overschrijdingen per etmaal berekend. Dit is te zien in tabel 5.5.

Tabel 5.6: Aantal overschrijdingen per periode per etmaal volgens de streefwaarde A_2 voor nieuwe situaties

Meetpunt	Aantal overschrijding per etmaal van A_2 nacht nieuwe situatie (0,2)
Meetpunt 1	1
Meetpunt 2	<1

Uit tabel 5.5 volgt dat het aantal overschrijdingen per etmaal laag ligt. Slechts 1 passage gemeten bij meetpunt 1 die in de nacht heeft gereden zou leiden tot een overschrijding van de streefwaarde A_2 voor de nachtperiode. Bij meetpunt 2 is dit aantal gemiddeld kleiner dan 1.

5.5.3 Keuze eigenfrequentie van de vloeren

De keuze van de eigenfrequenties van de vloeren is van belang voor de uiteindelijke trillingssterkte in beide woonblokken. Uit de meet- en rekenresultaten blijkt dat een eigenfrequentie met ordegrootte 12,5 á 16 Hz ongunstig is voor de appartementen omdat ook de aanstootfrequentie veel energie in deze middenfrequenties bevat. Een eigenfrequentie hoger of lager dan deze midden frequenties is gunstiger. Voor het woonblok behorende bij meetpunt 1 en 4 is dit 8 Hz en voor het woonblok behorende bij meetpunt 2 en 3 is dit 20 Hz. Bij het ontwerp van de appartementen dient dus rekening te worden gehouden met deze eigenfrequenties. Dat kan door de keuze van de vloerconstructie en de grootte van de overspanning. In het algemeen geldt dat een stijve vloerconstructie in combinatie met een kleine overspanning zorgt voor een hoge eigenfrequentie. Een grotere overspanning en een minder stijve vloerconstructie, zorgt voor een lage eigenfrequentie.

Ongeacht de uiteindelijke eigenfrequentie van de vloer, blijven overschrijdingen bestaan voor de geprognoseerde trillingssterkte in de appartementen het dichtstbij het spoor. Onderzoek naar aanvullende trillingsreducerende maatregelen is nodig om de trillingssterkte voor deze woningen verder te reduceren.

5.5.4 Trillingssterkte verder reduceren

In 5.3 is vermeld dat een reductie van de trillingssterkte met een factor 1,5 nodig is om te voldoen aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie (uitgaande van een gunstige eigenfrequentie, 8 of 20 Hz afhankelijk van de positie van het woonblok). Op basis van ervaring en literatuurgegevens is de verwachting dat de nodige reducties haalbaar zijn met aanvullende trillingsreducerende maatregelen. Alleen de keuze van een zo gunstig mogelijke eigenfrequentie van de vloeren, is dus niet voldoende.

6 Conclusie

Het trillingsonderzoek dat is uitgevoerd ten behoeve van de ontwikkeling van het woningbouwplan Spoorweglaan te Best, leidt tot de volgende conclusies:

1. De locatie van het bouwplan is zodanig dat hinder door trillingen als gevolg van treinverkeer aannemelijk is. Voor de appartementen het dichtstbij het spoor (meetpunt 1 op 32 meter van het spoor), bedraagt de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ 0,34 uitgaande van een ongunstige eigenfrequentie van de vloer van 12,5 Hz. Dit leidt tot een overschrijding van de streefwaarde A_2 (0,2) uit SBR richtlijn deel B. Bij een gunstige eigenfrequentie van de vloer (8 Hz), is $V_{\max}$ lager en bedraagt 0,30 (meetpunt 1). In deze situatie blijft een overschrijding bestaan. De overschrijding van de streefwaarde voor de nacht in de nieuwe situatie, bedraagt een factor 1,5.
2. Als rekening wordt gehouden met een gunstige eigenfrequentie van de vloer, bedraagt de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voor de appartementen het dichtstbij het spoor maximaal 0,048 en voldoet aan de streefwaarde A_3 (0,05) uit SBR richtlijn deel B.
3. Om te voldoen aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie (0,2), zijn trillingsreducerende maatregelen nodig. Bij het bouwkundig en constructief ontwerp van de appartementengebouwen dient, ten behoeve van de omgevingsvergunning, dus rekening te worden gehouden met het integreren van trillingsreducerende maatregelen in het ontwerp. De verwachting is dat met de juiste maatregelen voldaan kan worden aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie.

Cauberg Huygen B.V.

De heer C.J. Ostendorf
Senior adviseur