

Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam

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

K.V.K. 58792562
IBAN NL71RABO0112075584

Trillingsonderzoek Moleneind Breda; prognose voor woningen in projectfase 1

Datum **18 december 2020**
Referentie **07015-53590-02**

Referentie 07015-53590-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek Moleneind Breda;
prognose voor woningen in projectfase 1

Datum 18 december 2020

Opdrachtgever Antea Group
Postbus 40
4900 AA OOSTERHOUT
Contactpersoon De heer M. Stabel

Behandeld door De heer C.J. Ostendorf
De heer H.E.O. Williams
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	7
2.1	Opzet onderzoek	7
2.2	Bestemmingsplan	7
2.3	Toetsingskader	8
2.4	Beschrijving situatie	9
3	Trillingsmetingen	11
3.1	Algemeen	11
3.2	Meetposities	11
3.3	Meetparameters	12
3.4	Treinen	12
4	Meetresultaten	13
4.1	Bemande metingen	13
4.2	Onbemande metingen	14
5	Prognose	17
5.1	Werkwijze	17
5.2	Invoergegevens	17
5.2.1	$V(f)_{\text{top, maaiveld}}$	17
5.2.2	$H(f)_{\text{fundering}}$	18
5.2.3	$H(f)_{\text{vloer}}$	19
5.2.4	Resultaat prognose	20
5.3	Beoordeling V_{max}	21
5.4	Beoordeling V_{per}	22
5.5	Beschouwing	22
5.5.1	Aantal overschrijdingen per etmaal	22
5.5.2	Conservatief model	24
5.5.3	Maatregelen	24
6	Conclusie	25

Bijlagen

Bijlage I Achtergrondmetingen

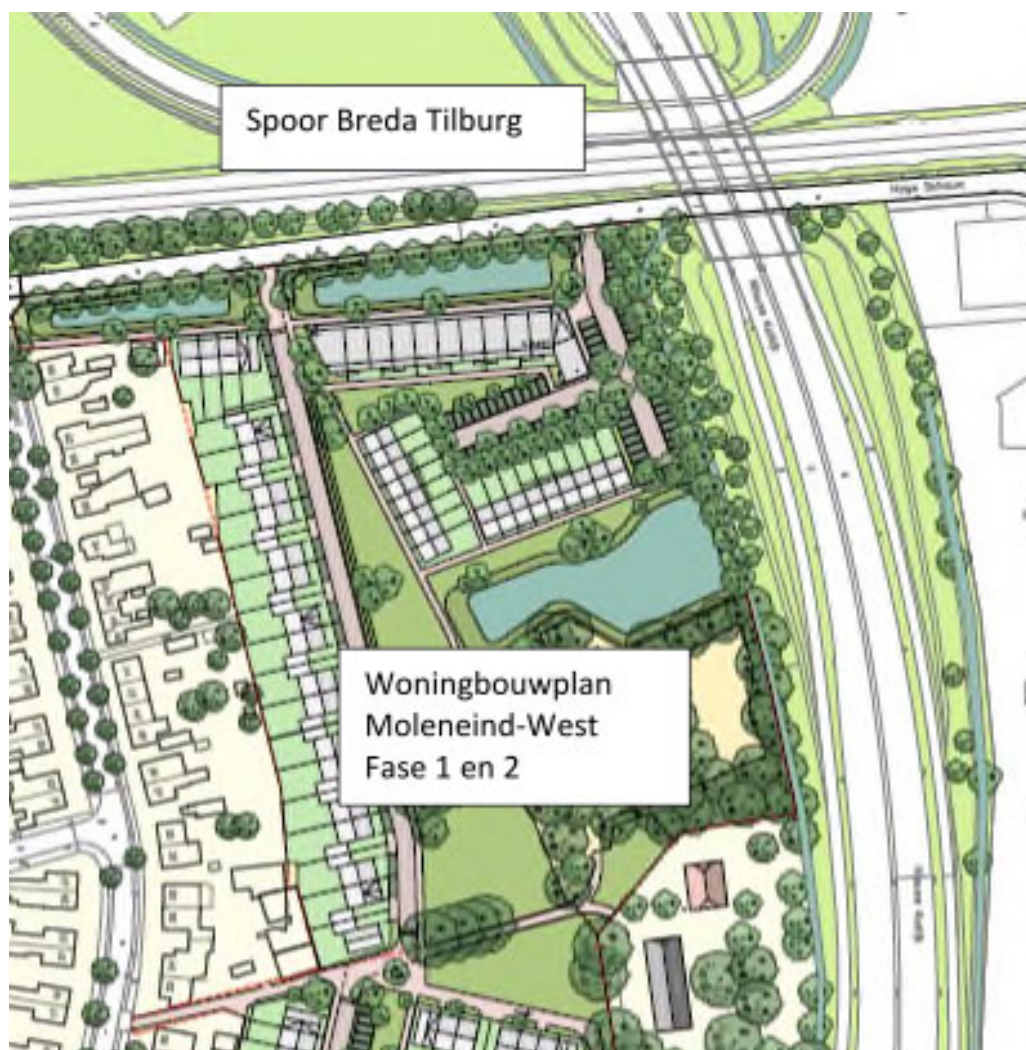
Bijlage I-1	Achtergrondmeting MP1
Bijlage I-2	Achtergrondmeting MP2
Bijlage I-3	Achtergrondmeting MP3
Bijlage I-4	Achtergrondmeting MP4

Bijlage II SBR-B gewogen gemeten tertsbandspectra van de top tien passages per meetpunt

Bijlage II-1	Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP2
Bijlage II-2	Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP3
Bijlage II-3	Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP4

1 Inleiding

In opdracht van Antea Group is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd in verband met de herbestemming van het projectgebied Moleneind-west gelegen in het bestemmingplan Driesprong te Breda. Het trillingsonderzoek is benodigd in verband met de ruimtelijke onderbouwing die wordt opgesteld voor het project Moleneind-west in verband met de optredende trillingen vanwege railverkeer vlak bij het projectgebied. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het projectgebied.



Figuur 1.1: Overzicht van het projectgebied Moleneind Breda, fase 1 en 2.

Het projectgebied ligt op een relatief korte afstand ten zuiden van de spoorlijn Breda – Tilburg ten oosten van Station Breda. 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 uitgevoerd op maaiveld 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 de woning 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

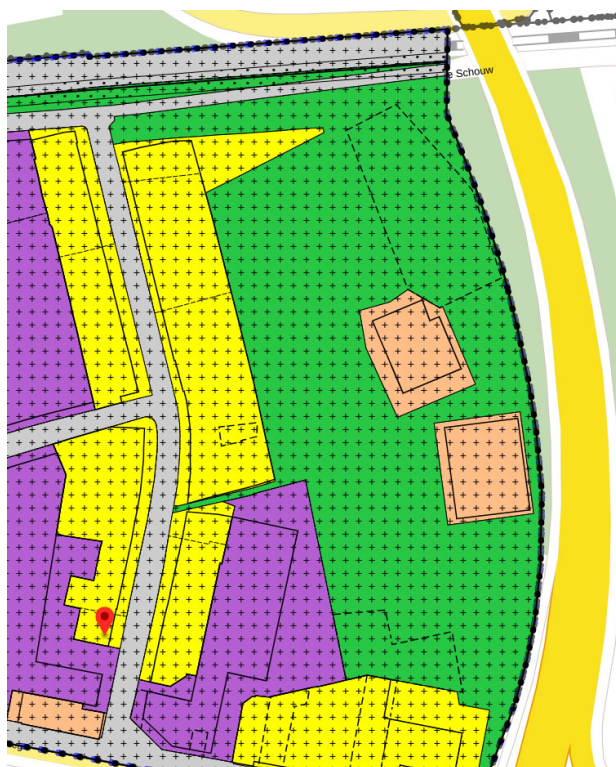
2.1 Opzet onderzoek

Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 2 november 2020. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 2 november t/m 9 november voor een periode van 7 dagen. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Er is gemeten op maaiveld op hoekpunten van de geplande bebouwing het dichtste bij het spoor en op grotere afstand van het spoor. Op basis van de meetresultaten op maaiveld is de trillingssterkte in de toekomstige woningen berekend. De berekende trillingssterkte $V_{\max}$ is getoetst aan de streefwaarden uit SBR-B.

2.2 Bestemmingsplan

Het onderzoeksgebied valt binnen het bestemmingsplan Driesprong te Breda dat onherroepelijk is vastgesteld op 7 juli 2014. Op de locatie rusten de bestemmingen "wonen", "groen" en "gemengd". Figuur 2.1 toont de bestemmingskaart voor de planlocatie op basis van het vigerende bestemmingsplan.

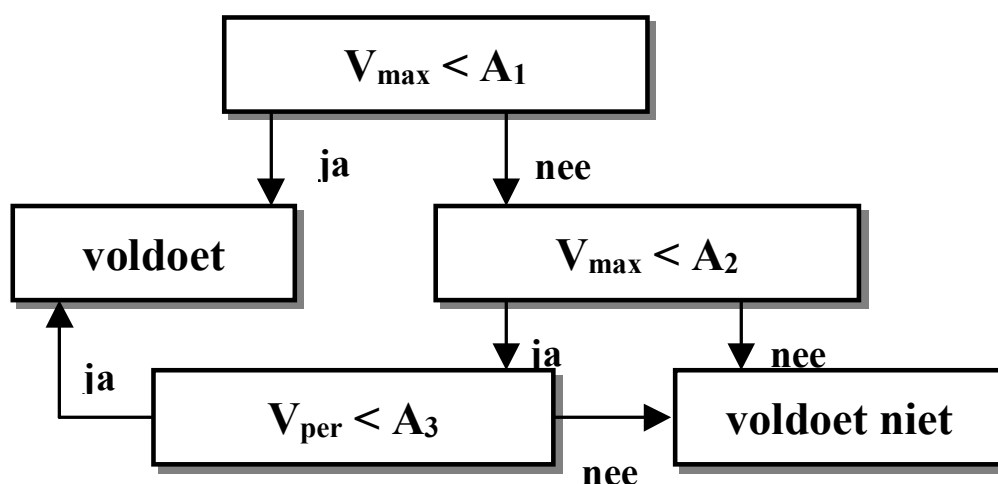


Figuur 2.1: Vigerende bestemmingsplanlocaties waarbij "Wonen" geel, "groen" groen en "gemengd" bruin zijn gearceerd.

In de planregels 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 bestemmingsplan. Om nieuwbouw mogelijk te maken, is een wijziging van het bestemmingsplan nodig.

2.3 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de woning is gebruik gemaakt van SBR richtlijn 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 richtlijn deel 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 richtlijn deel 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 richtlijn deel B. Als V_{per} groter is dan A_3 , dan wordt niet voldaan aan de SBR richtlijn deel 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 richtlijn 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 verschillende bouwblokken voorzien. De dichtstbij het spoor liggende woningen liggen op circa 35 meter afstand van het spoor. Het spoor ligt op maaiveld. Figuur 2.2 geeft een luchtfoto weer van de onbebouwde locatie.



Figuur 2.2: Luchtfoto van de bouwplanlocatie (bron Bagviewer)

De locatie is ten tijde van het onderzoek deels ingericht als een recreatieterrein en deels openbaar groen. Drie van de vier gerealiseerde meetpunten liggen op het recreatieterrein (figuur 2.3) terwijl het andere meetpunt vlak naast het openbare pad ligt (figuur 2.4).



Figuur 2.3: Het recreatieterrein gezien vanaf meetpunt 2.



Figuur 2.4: Het pad gezien vanaf de openbare weg.

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 2 tot en met 9 november 2020. 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 dichtbij mogelijk op de hoek van de toekomstige funderingen van de verschillende bouwblokken geplaatst. Het tweedelijs bouwblok aan de westzijde van het terrein bleek niet bereikbaar. Het geplande meetpunt op deze locatie is verplaatst naar meetpunt 4. De afstand van de meetpunten tot het spoor varieert tussen de 37m (meetpunt 1) en 95m (meetpunt 3). In figuur 3.1 zijn de meetpunten weergegeven.



Figuur 3.1: Overzicht van de gebruikte 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 wordt gemeten. De trillingsopnemers zijn bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. De sensor en de trillingsmeter bij meetpunt 1 zijn afgedekt met een kist en vervolgens is de kuil dicht gemaakt. De meetpunten 2, 3 en 4 zijn afgedekt met een houten deksel. Figuur 3.2 geeft voorbeelden van beide opstellingen.



Figuur 3.2: De trillingssensor ingegraven bij meetpunt 1 links en bij meetpunt 3 rechts in beeld.

Voor de aanvang van de metingen zijn alle trillingssensoren waterpas gezet.

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 richtlijn B wordt toegepast.

Ook is voor alle treinpassages waarvan de trillingssnelheid de waarde 0,1 mm/s overschreed, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Deze tijdsignalen zijn gebruikt voor de prognose.

3.4 Treinen

Tijdens de bemande trillingsmetingen is vastgesteld dat sprinters (SLT), intercity's (VIRM, ICM) en goederentreinen op het traject tussen Breda en Tilburg rijden. Intercity's rijden op dit traject regulier ordegrrootte 135 km/u. Goederentreinen rijden regulier langzamer, ordegrrootte 90 km/u.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande metingen

De bemande metingen zijn gebruikt om de duur van treinpassages per treintype vast te leggen alsmede het tijdstip van de passage zodat bij de analyse van de onbemande metingen inzicht kan worden gekregen in het type trein. Reizigerstreinen rijden op een vast schema dat door de dag heen zich met enige variatie herhaalt. Het tijdstip van de passages is daarmee een aanwijzing voor het treintype. Daarnaast is de passageduur van goederentreinen over het algemeen langer dan die van reizigerstreinen. De bemande metingen zijn uitgevoerd tussen 14:38 en 15:35 op 2 november 2020. Tijdens deze metingen is van iedere treinpassage het type trein en de rijrichting genoteerd.

Tabel 4.1 geeft de resultaten van de bemande metingen weer. Per passage en per meetpunt is $v_{\max}$ bepaald samen met de maatgevende trillingsrichting (X, Y of Z). Daarnaast zijn de passageduur, het treintype en de rijrichting in de tabel opgenomen. Als een treinpassage voor een bepaald meetpunt niet tot een registratie van een tijdsignaal heeft geleid, dan is een streepje opgenomen in de tabel. De trillingssterkte is dan niet bepaald.

Tabel 4.1: Meetresultaten bemande metingen

Tijdstip	Treintype	Duur [s]	Rijrichting	$v_{\max}$ MP1	$v_{\max}$ MP2	$v_{\max}$ MP3	$v_{\max}$ MP4
14:38	SLT	13,3	Breda	-	0,06 X	-	-
14:43	ICM	23,2	Tilburg	0,09 Z	0,14 Z	0,06 Z	0,07 Z
14:44	ICM	14,9	Breda	-	0,07 Y	-	-
14:50	Goederen	36,6	Breda	0,25 Z	0,21 Z	0,16 Z	0,10 Z
14:52	ICM	14,5	Tilburg	0,06 Z	0,08 Z	0,07 Z	0,07 Z
14:53	ICM	10,4	Breda	0,05 Z	0,06 X	-	-
14:56	SLT	14,0	Tilburg	0,08 Z	0,10 Z	0,05 Z	0,07 Z
14:58	Goederen	30,5	Breda	0,07 Z	0,12 Z	0,06 X	-
15:05	SLT	15,1	Breda	0,04 Z	0,07 X	-	-
15:07	VIRM	14,6	Breda	-	0,07 X	-	-
15:11	ICM	23,0	Tilburg	0,10 Z	0,15 Z	0,07 Z	0,08 Z
15:14	Goederen	41,8	Tilburg	0,08 Z	0,10 Z	0,05 Z	0,06 Z
15:17	Goederen	33,4	Breda	0,07 Z	0,09 X	0,05 Z	0,04 Z
15:21	ICM	20,6	Breda	0,06 Z	0,07 Z	-	-
15:22	SLT	15,5	Tilburg	0,07 Z	0,11 Z	0,05 Z	0,05 Z
15:26	SLT	17,6	Tilburg	0,09 Z	0,12 Z	0,07 Z	0,08 Z

Uit tabel 4.1 blijkt dat zowel goederen- als reizigerstreinen over het spoortraject vlak bij het projectgebied rijden. Goederentreinen registreren tijdsignalen met een duur tussen de 33 en 42 seconde terwijl reizigerstreinen tijdsignalen met een duur tussen de 10 en 23 seconde veroorzaken. Bij sommige passages worden alleen tijdsignalen gemeten bij de meetpunten het dichtst bij het spoor, MP1 en MP2. Dit heeft te maken met het feit dat de passerende treinen soms een trilling veroorzaken die het triggerniveau van de sensors niet haalt. De hoogste $v_{\max}$ waarden zijn gemeten het dichtst bij het spoor bij MP1 (0,25) en MP2 (0,21), beide gemeten bij de passage van dezelfde goederentrein.

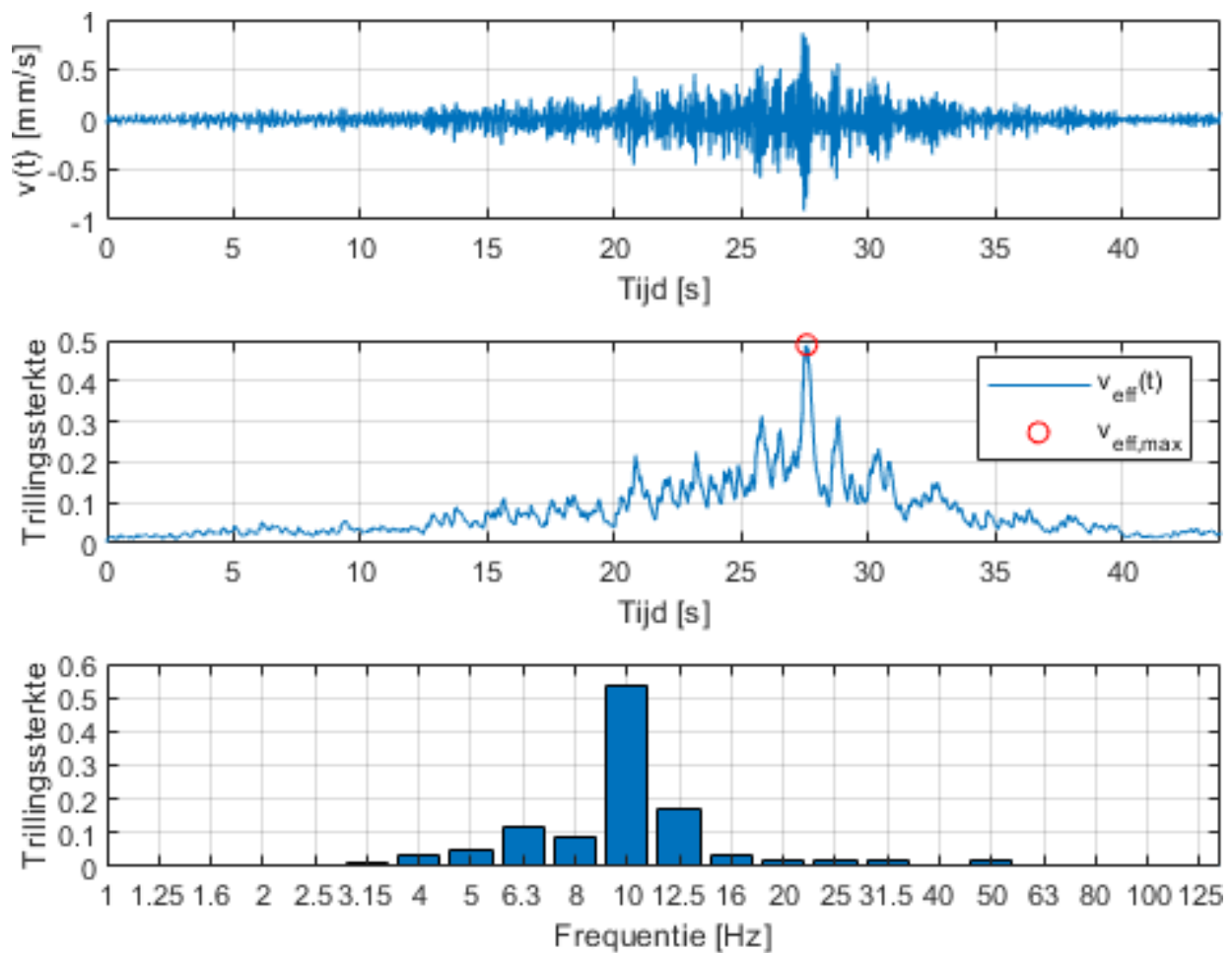
4.2 Onbemande metingen

De meetresultaten van de onbemande metingen zijn opgenomen in grafieken in bijlage I. Hieruit is per meetpunt een top 10 van de treinpassages geselecteerd met de hoogste $v_{\max}$. Deze waarden zijn weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2: Meetresultaten top 10 $v_{\max}$ per meetpunt

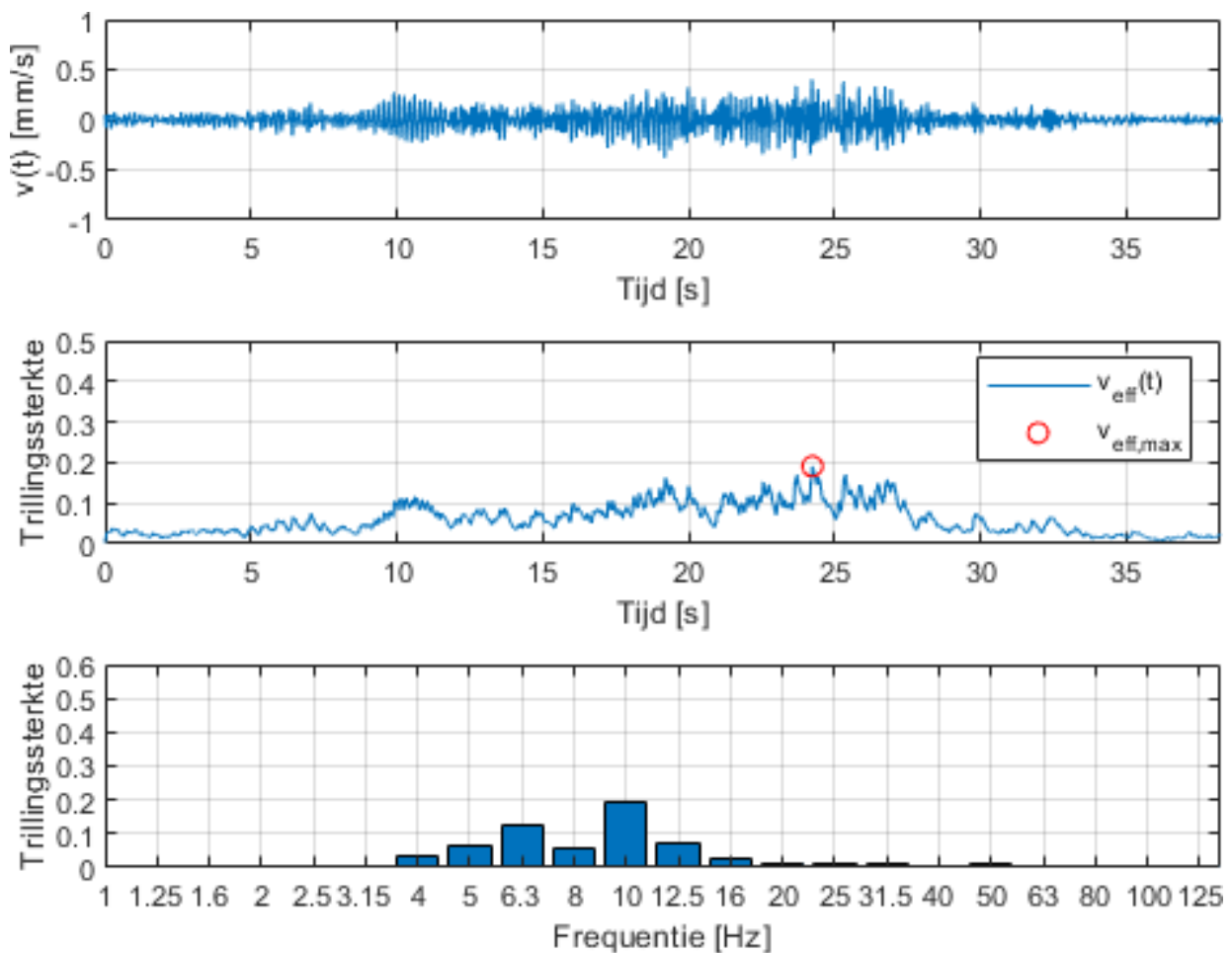
Datum en Tijd	$v_{\max}$ MP1	$v_{\max}$ MP2	$v_{\max}$ MP3	$v_{\max}$ MP4
2-11-2020 14:50	-	-	0,16 Z	-
2-11-2020 18:30	-	0,32 Z	-	-
2-11-2020 19:15	-	0,30 Z	-	0,24 Z
3-11-2020 01:41	0,49 Z	0,47 Z	0,27 Z	0,19 Z
3-11-2020 02:46	-	-	0,17 Z	-
3-11-2020 08:33	-	-	0,17 Z	0,17 Z
4-11-2020 18:30	0,31 Z	0,36 Z	0,19 Z	0,20 Z
4-11-2020 22:32	-	0,29 Z	-	-
5-11-2020 11:18	0,30 Z	-	-	-
5-11-2020 18:44	-	0,33 Z	-	0,21 Z
6-11-2020 16:14	-	-	-	0,18 Z
6-11-2020 18:45	0,27 Z	0,29 Z	-	0,23 Z
6-11-2020 19:26	-	0,29 Z	0,15 Z	-
6-11-2020 22:30	0,28 Z	-	0,16 Z	-
6-11-2020 23:17	0,39 Z	0,41 Z	0,20 Z	0,29 Z
7-11-2020 09:14	0,29 Z	0,30 Z	-	-
7-11-2020 10:02	0,30 Z	-	0,18 Z	0,19 Z
8-11-2020 16:13	0,34 Z	-	0,21 Z	0,18 Z
9-11-2020 12:13	0,27 Z	-	-	-

Tabel 4.2 toont aan dat de hoogste $v_{\max}$ 0,49 bedraagt, gemeten bij MP1. Dezelfde passerende trein behoort tot de tien hoogst gemeten trillingssterktes bij de overige meetpunten. In figuur 4.1 is de passage met het maximale gemeten trillingssterkte bij MP1 als voorbeeld getoond samen met dezelfde passage gemeten bij MP4, weergegeven in figuur 4.2. Daarin is het gemeten tijdsignaal te zien samen met de voortschrijdende effectieve waarde $v_{\text{eff}}(t)$ en bijbehorende maxhold tertsbandspectrum. Alle drie de grafieken zijn van de Z-richting omdat deze maatgevend is voor deze passage.



Figuur 4.1: Het gemeten tijdsignaal (boven), de resulterende voortschrijdende effectieve waarde (midden) en de maxhold tertsbandspectrum (onder) van de passage met het maximale trillingssterkte gemeten op MP1.

In figuur 4.1 is het gemeten tijdsignaal te zien met de bijbehorende effectieve waarde in de tijd. Daarin is de maximale trillingssterkte v_{max} aangeduid met een rode cirkel, in dit geval 0,49. Daarnaast is duidelijk te zien dat de 10 Hz tertsband bepalend is voor de trillingssterkte. Dezelfde passage is ook weergegeven in figuur 4.2, maar nu voor meetpunt 4.



Figuur 4.2: Het gemeten tijdsignaal (boven), de resulterende voortschrijdende effectieve waarde (midden) en de maxhold tertsbandspectrum (onder) van de passage met het maximale trillingssterkte gemeten op MP4.

In figuur 4.2 heeft het tijdsignaal gemeten bij MP4 een andere vorm dan bij MP1. Daarom is ook de vorm van de effectieve trillingssterkte anders. Dit is een gevolg van de grotere afstand en de invloed van de overdracht door de bodem. De 10 Hz tertsband blijft maatgevend voor deze passage.

De meetresultaten uit tabel 4.2 zijn gebruikt voor de prognose die is omschreven in hoofdstuk 5.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

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

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

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
$H(v)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 80 Hz in tertsbanden. Voor $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$ is er uitgegaan van een maxhold spectrum. De weging volgens $H(v)_{\text{SBRB}}$ is toegepast op $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$. De prognose is opgesteld per meetpunt en daarmee per bouwblok. Voor meer inzicht in de trillingssterkte in de woningen links in het plangebied, zijn de meetresultaten van MP3 en MP4 verplaatst naar het verlengde van MP1. Daarmee zijn twee extra punten geprognosticeerd, PP3' en PP4', zie figuur 5.1.

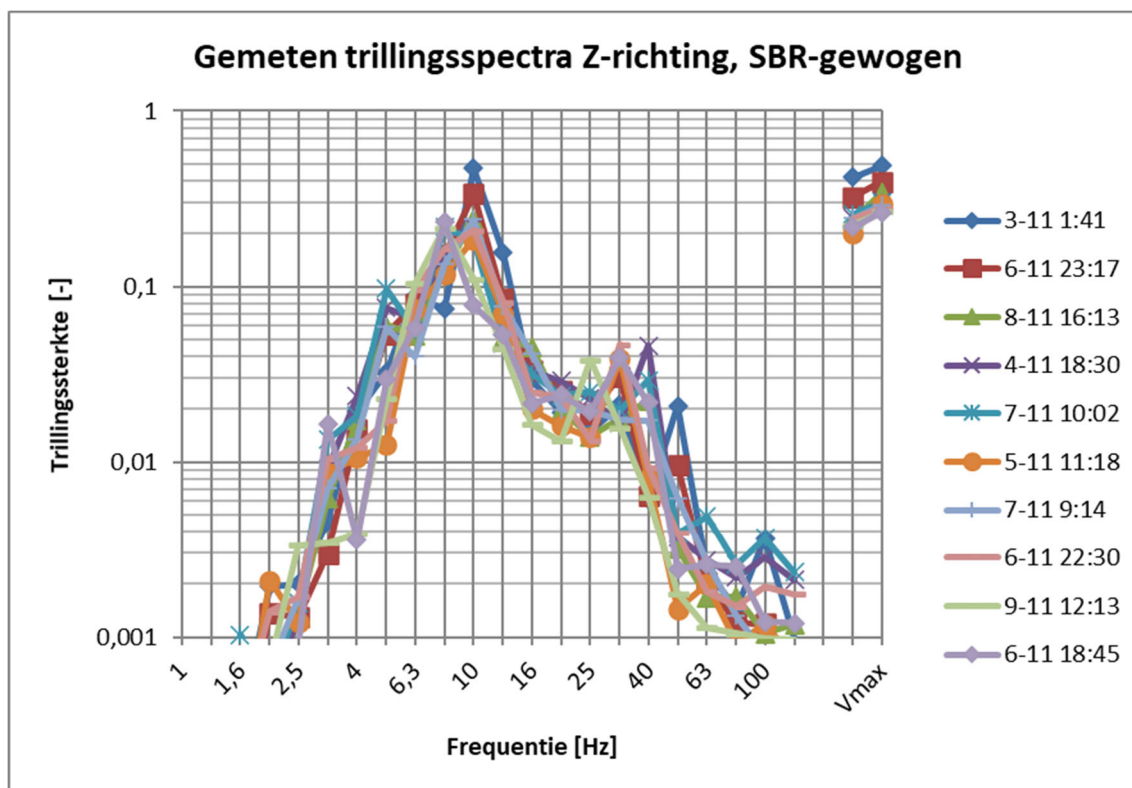


Figuur 5.1: De positie van alle prognosepunten inclusief de twee extra prognosepunten.

5.2 Invoergegevens

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

Per meetpunt zijn de top tien treinpassages spectraal vergeleken. De prognose is opgesteld voor deze veertig treinpassages, tien per meetpunt. Figuur 5.2 geeft een voorbeeld van de tien spectra die voor meetpunt 1 zijn gebruikt. Deze spectra zijn gewogen volgens de SBR-B en worden weergegeven in de vorm van een maxhold tertsbandspectrum. De spectra van de overige meetpunten zijn te vinden in bijlage II.



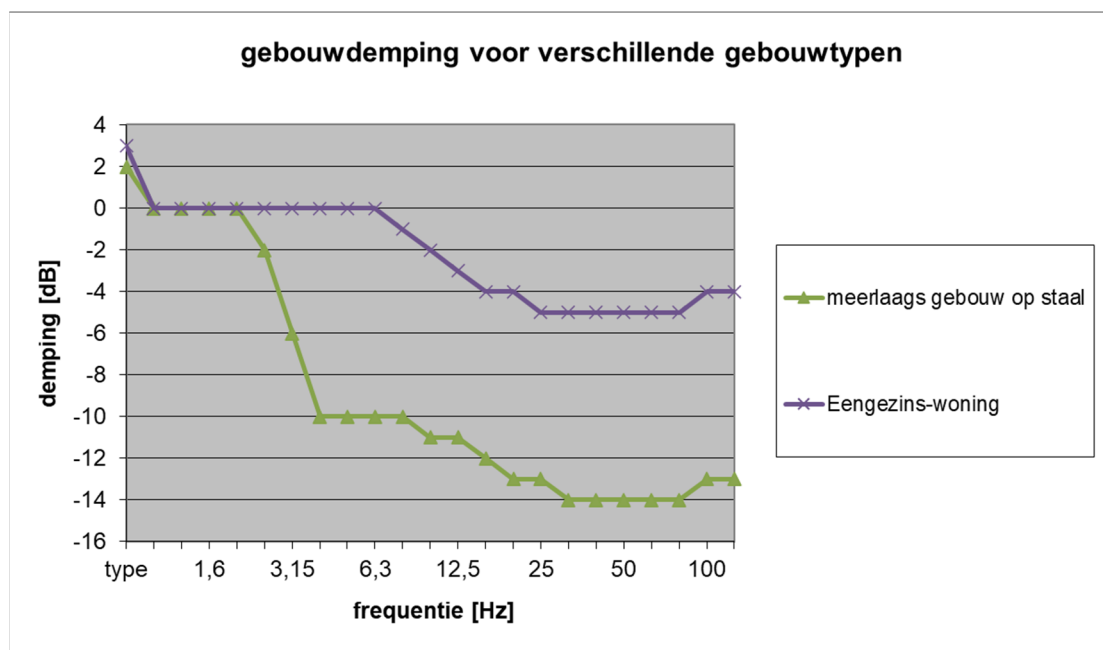
Figuur 5.2: Overzicht gewogen trillingsspectra treinpassages meetpunt 1 gebruikt in prognose

Uit figuur 5.2 blijkt dat de 10 Hz tertsband maatgevend is in het spectrum.

5.2.2 H(f)fundering

Voor de fundering is uitgegaan van een fundering op staal voor alle prognosepunten. Verder is onderscheid gemaakt in het woningtype: een meerlaags gebouw op staal voor de prognosepunten PP2, 3 en 4 en een eengezinswoning voor de punten PP1, 3' en 4'.

Op basis van literatuurgegevens is uitgegaan van de in figuur 5.3 getoonde overdrachtsfactoren in dB voor de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering. Een waarde van 0 wil zeggen dat er geen verzwakking optreedt. Voor de laagste frequenties vanaf 1,6 Hz tot 2 Hz tertsband heeft de fundering geen reducerende invloed. Een negatieve waarde wil zeggen dat er verzwakking optreedt. De grootste verzwakking bedraagt met 14 dB ongeveer een factor 5.



Figuur 5.3: Verloop overdrachtsfactor voor trillingen maaiveld naar fundering

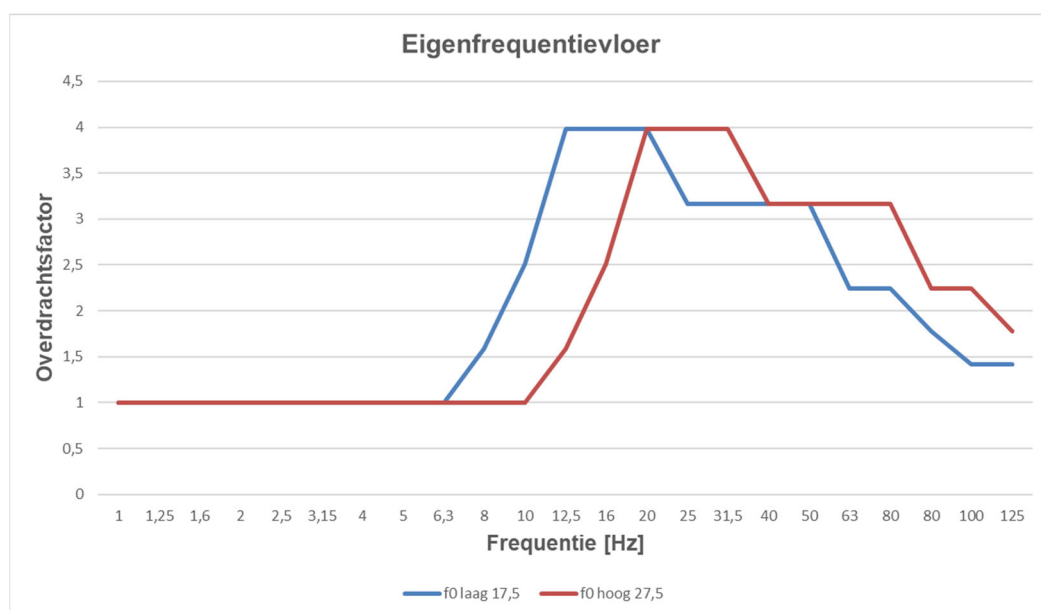
5.2.3 $H(f)_{\text{vloer}}$

De opbouw en de afmetingen van de vloeren zijn deels bekend zodat een schatting is gemaakt van de mogelijke eigenfrequenties in de woningen. De vloeren in de eengezinswoningen zijn ribcassette- of kanaalplaatvloeren en in de appartementen is uitgegaan van kanaalplaat- of breedplaatvloeren. De exacte overspanningen zijn niet bekend, maar bedragen ordegrrootte tussen de 4,8 en 6 m in de eengezinswoningen en 7 m in de appartementen. Met deze parameters is een schatting gemaakt van de eigenfrequentie f_0 van deze vloeren. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de eigenfrequenties en voor welke prognosepunten ze zijn toegepast.

Tabel 5.1: Geschatte eerste eigenfrequenties voor alle prognosepunten

Prognosepunten	Vloertype	Overspanning [m]	Vloerdikte [m]	Eigenfrequentievloer [Hz]
PP1, PP3, PP4'	kanaalplaat	6,0	0,32	18
PP1, PP3, PP4'	kanaalplaat	4,8	0,32	27
PP2, PP3, PP4	breedplaat	7,0	0,2	5
PP2, PP3, PP4	breedplaat	7,0	0,4	10

Op basis van de eigenfrequenties is rekening gehouden met mogelijke resonantie van de vloer waardoor versterking van de trillingen optreedt. Figuur 5.4 toont de overdrachtsfactor. Een waarde groter dan 1 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 5.4: Overdrachtsfactor vloer voor verschillende eigenfrequenties bij prognosepunt 1.

5.2.4 Resultaat prognose

De geprognosticeerde trillingssterkte $V_{\max}$ is berekend door het gemeten maxhold spectrum (figuur 5.2) te vermenigvuldigen met het overdrachtsspectrum voor de fundering (figuur 5.3) en het overdrachtsspectrum voor de invloed van de vloer (figuur 5.4). 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 de tien gekozen treinpassages en de twee eigenfrequenties van de vloer een prognose opgesteld. De resultaten zijn weergegeven in tabellen 5.2 en 5.3, respectievelijk de resultaten voor de eengezinswoningen en de appartementen. Per eigenfrequentie is de trillingssterkte $V_{\max}$ weergegeven. Dit is de hoogste berekende trillingssterkte voor de tien gebruikte treinpassages en de drie trillingsrichtingen voor dat prognosepunt. Tussen haakjes is de maatgevende trillingsrichting (X, Y of Z) aangegeven.

Tabel 5.2: $V_{\max}$ resultaten van de geprognosticeerde eengezinswoningen.

Prognose punt	$V_{\max}$ prognose	
	18 Hz eigenfrequentie	27 Hz eigenfrequentie
PP1	1,30 (Z)	0,54 (Z)
PP3'	0,43 (Z)	0,31 (Z)
PP4'	0,63 (Z)	0,30 (Z)

In tabel 5.2 is te zien dat de geprognosticeerde $V_{\max}$ hoger ligt voor de vloeren met een eigenfrequentie van 18 Hz dan bij de vloeren met een 27 Hz eigenfrequentie. Dit is logisch omdat de aanstootfrequentie vooral rond de 10 Hz ligt en daarmee meer invloed heeft op de eigenfrequentie van 18 Hz dan van 27 Hz.

Tabel 5.3 toont de resultaten voor de prognose voor de appartementengebouwen.

Tabel 5.3: $V_{\max}$ resultaten van de geprognoseerde appartementen

Prognose punt	$V_{\max}$ prognose	
	5 Hz eigenfrequentie	10 Hz eigenfrequentie
PP2	0,55 Z	0,64 Z
PP3	0,32 Z	0,36 Z
PP4	0,35 Z	0,37 Z

In tabel 5.3 is te zien dat de geprognoseerde $V_{\max}$ hoger ligt voor de vloeren met een eigenfrequentie van 10 Hz dan bij de vloeren met een 5 Hz eigenfrequentie.

5.3 Beoordeling $V_{\max}$

De eerste beoordeling vindt plaats op basis van de bovenste streefwaarde voor $V_{\max}$, 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 richtlijn B. A_2 bedraagt voor nieuwbouwwoningen 0,4 in de dag- en avondperiode en 0,2 in de nachtperiode. In tabel 5.4 zijn de resultaten voor de eengezinswoningen beoordeeld en in tabel 5.5 die van de appartementen.

Tabel 5.4: Beoordeling A_2 voor de eengezinswoningen.

Meetpunt	Eigenfrequentie [Hz]	$V_{\max}$	A_2 dag/avond	Beoordeling A_2 dag/avond	A_2 nacht	Beoordeling A_2 nacht
PP1	18	1,30	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP1	27	0,54	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP3'	18	0,43	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP3'	27	0,31	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet
PP4'	18	0,63	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP4'	27	0,30	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet

Uit tabel 5.4 blijkt dat $V_{\max}$ bij geen enkel prognosepunt voldoet aan A_2 in de nacht. Daarnaast voldoen de twee prognosepunten verder van het spoor (PP4' en PP3') in het geval van een vloer eigenfrequentie van 27 Hz wel voor A_2 dag/avond. Omdat deze niet voldoen aan A_1 (0,1) moet een beoordeling op basis van V_{per} worden uitgevoerd. Dit is omschreven in paragraaf 5.4.

Eerst de beoordeling van $V_{\max}$ voor de appartementen.

Tabel 5.5: Beoordeling A_2 voor de appartementen.

Meetpunt	Eigenfrequentie [Hz]	$V_{\max}$	A_2 dag/avond	Beoordeling A_2 dag/avond	A_2 nacht	Beoordeling A_2 nacht
PP2	5	0,55	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP2	10	0,64	0,4	Voldoet niet	0,2	Voldoet niet
PP3	5	0,32	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet
PP3	10	0,36	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet
PP4	5	0,35	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet
PP4	10	0,37	0,4	Voldoet	0,2	Voldoet niet

Uit tabel 5.5 blijkt dat $V_{\max}$ wederom voor geen enkel prognosepunt voldoet aan A_2 in de nacht. In de dag en avond voldoet $V_{\max}$ wel voor vier prognosepunten-eigenfrequentie combinaties aan A_2 dag/avond als deze verder van het spoor liggen (PP3 en PP4). Omdat deze niet voldoen aan A_1 (0,1) is een beoordeling van V_{per} nodig en die is omschreven in paragraaf 5.4.

Omdat er in geen combinatie van type woning, eigenfrequentievloer en afstand tot het spoor wordt voldaan aan A_2 in de nachtperiode, bestaat een kans op trillingshinder in alle type woningen tijdens de nachtperiode.

5.4 Beoordeling V_{per}

Voor de prognosepunten-eigenfrequentie combinaties die voldoen aan A_2 in de dag/avond periode is V_{per} bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gemeten $V_{\text{effmax},30,i}$ vermenigvuldigd met de factor tussen de gemeten $V_{\max}$ en de geprognosticeerde $V_{\max}$. Bij de berekening is rekening gehouden met de drempelwaarde van 0,1. De berekende V_{per} Prognose is beoordeeld aan de hand van A_3 voor de dag en avond. De resultaten hiervan zijn terug te vinden in tabel 5.6.

Tabel 5.6: V_{per} berekend voor alle prognosepunten die voldoen aan A_3 dag/avond

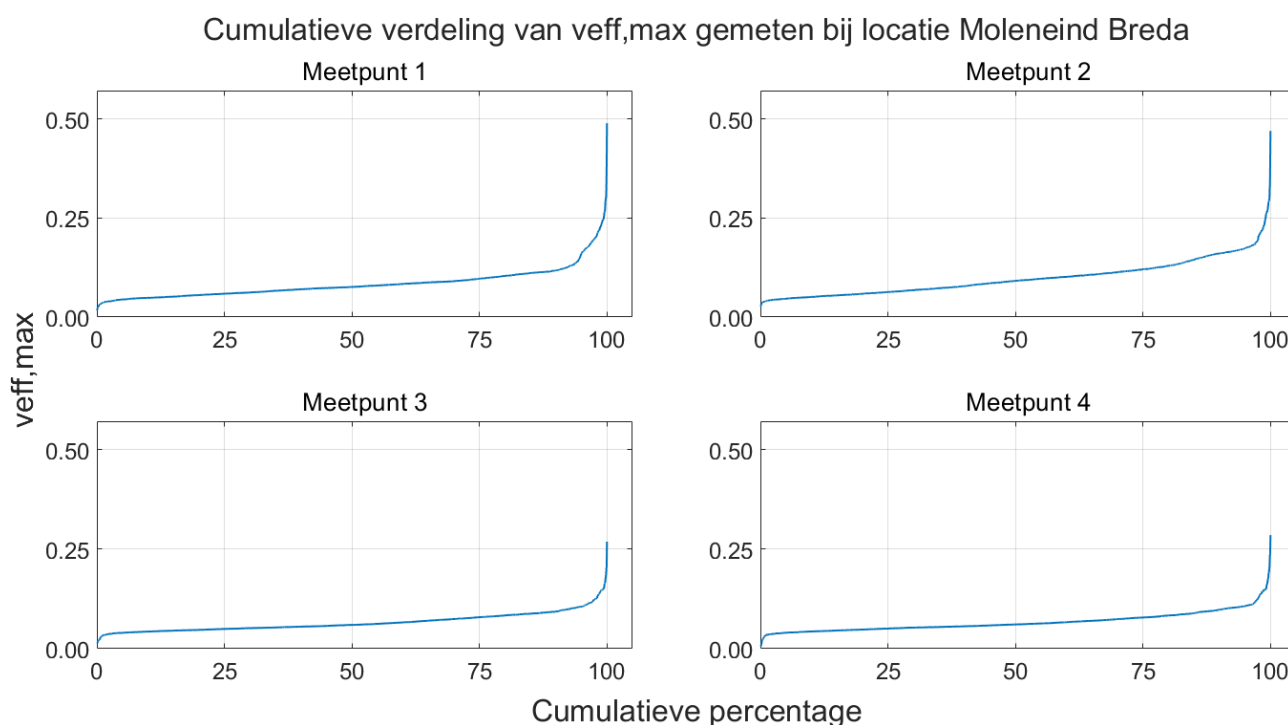
Meetpunt	Eigenfrequentie [Hz]	V_{per} dag	V_{per} avond	A_3 dag/avond	Beoordeling A_3 dag	Beoordeling A_3 avond
PP3'	27	0,03	0,04	0,05	Voldoet	Voldoet
PP4'	27	0,02	0,02	0,05	Voldoet	Voldoet
PP3	5	0,02	0,02	0,05	Voldoet	Voldoet
PP3	10	0,03	0,03	0,05	Voldoet	Voldoet
PP4	5	0,02	0,02	0,05	Voldoet	Voldoet
PP4	10	0,02	0,03	0,05	Voldoet	Voldoet

Uit tabel 5.6 blijkt dat de V_{per} voor eengezinswoningen op afstand van het spoor met een eigenfrequentie van 27 Hz en de appartementen op afstand van het spoor ongeacht de eigenfrequentie van de vloer voldoen aan A_3 in de dag en avond periodes. Dat betekent dat de kans op trillingshinder in de woning tijdens de dag- en avondperiode klein wordt geacht.

5.5 Beschouwing

5.5.1 Aantal overschrijdingen per etmaal

Het is belangrijk om te beseffen dat niet elke treinpassage zal zorgen voor de berekende overschrijdingen. De prognose is opgesteld op basis van de $V_{\max}$ over een meetperiode van een week. Figuur 5.5 toont de verdeling van de gemeten $V_{\max}$ bij alle vier meetpunten. Uit figuur 5.5 blijkt dat voor alle meetpunten alleen een klein deel van de gemeten passages daadwerkelijk voor hoge waarden van $V_{\max}$ zorgen. Dicht bij het spoor (MP1 en 2) is ongeveer 3% van de treinen (ordegrootte 40 treinen per week) goed voor een gemeten $V_{\max}$ hoger dan 0,2. Voor de meetpunten verder van het spoor is dit percentage nog kleiner. De meeste treinpassages zullen dus niet tot een overschrijding van de streefwaarden leiden.



Figuur 5.5: Verdeling van de gemeten trillingssterkte op maaiveld bij alle vier meetpunten.

Op basis van de verdelingen in trillingssterkte is onderzocht hoeveel treinen dagelijks passeren met een geprognostiseerde v_{max} groter dan de grenswaarden A_2 0,2 (nieuwe situatie, nacht) en 0,4 (bestaande situatie, nacht). Deze aantallen zijn voor de twee prognosepunten PP1 en PP2 terug te vinden in tabel 5.7.

Tabel 5.7: Het aantal treinen per etmaal met een geprognostiseerde v_{max} groter dan de grenswaarde A_2 (nacht) voor nieuwe en bestaande situaties.

	PP1		PP2	
	Eigenfrequentie 18 Hz	Eigenfrequentie 27 Hz	Eigenfrequentie 5 Hz	Eigenfrequentie 10 Hz
Aantal treinen per etmaal met v_{max} groter dan 0,2	144	11	20	53
Aantal treinen per dag met v_{max} groter dan 0,4	15	<1	<1	1

In tabel 5.7 is te zien dat voor PP1 uitgaande van een toetsingswaarde van 0,2 en een ongunstige eigenfrequentie, per etmaal 144 treinen passeren met een trillingssterkte gelijk of groter dan 0,2. Niet al deze treinen zullen in de nachtperiode rijden dus het aantal werkelijke overschrijdingen in de nacht zal kleiner zijn. Dit aantal is echter niet met zekerheid te bepalen omdat de maatgevende treinen die in de dag- of avondperiode rijden ook in de nachtperiode kunnen rijden en andersom. Bij een gunstigere eigenfrequentie neemt het aantal overschrijdingen sterk af.

Bij de beoordeling van de trillingssterkte heeft de gemeente de vrijheid om af te wijken van de streefwaarden uit SBR richtlijn B voor de nieuwe situatie. Men kiest hier vaak voor omdat in veel gevallen de streefwaarde van 0,2 niet haalbaar is ook niet met trillingsreducerende maatregelen. Om woningbouw dan toch mogelijk te maken, gebruikt men de toetsingswaarde voor de bestaande situatie die een factor 2 hoger ligt. Deze streefwaarde bedraagt 0,4 en de verwachting is dat bewoners na verloop van tijd kunnen wennen aan af en toe een trillingssterkte van 0,4. Zeker als het aantal overschrijdingen beperkt is, kan dan toch sprake zijn van een acceptabel woon- en leefklimaat.

Uitgaande van een streefwaarde van 0,4 in de nachtperiode, is het aantal overschrijdingen beperkt. Zeker als de eigenfrequentie gunstig kan worden gekozen, is de kans groot dat maximaal 1 treinpassage in de nacht leidt tot een overschrijding van de streefwaarde. In de meeste nachten zal dan geen overschrijding voorkomen.

5.5.2 Conservatief model

Het is ook 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 de gebouwen lager is dan de voorspelde trillingssterkte dan dat de werkelijke trillingssterkte hoger is dan de berekende trillingssterkte.

5.5.3 Maatregelen

De keuze van de eigenfrequenties van de vloeren is van groot belang voor de uiteindelijke trillingssterkte in de nieuwbouwwoningen. Uit de meet- en rekenresultaten blijkt dat een eigenfrequentie met ordegrootte 10 Hz erg ongunstig is omdat ook de aanstootfrequentie rond die frequentie ligt. Hoe groter het verschil tussen de eerste eigenfrequentie van de vloer en deze aanstootfrequentie, hoe kleiner de kans op te hoge trillingssterkten. Bij het ontwerp van de woningen dient dus rekening te worden gehouden met deze eigenfrequenties.

Ongeacht de uiteindelijke eigenfrequentie van de vloer, blijven overschrijdingen bestaan in alle geprognosticeerde eengezinswoningen en de appartementen het dichtst bij het spoor. Onderzoek naar aanvullende trillingsreducerende maatregelen is nodig om de trillingssterkte verder te reduceren.

6 Conclusie

Het trillingsonderzoek dat is uitgevoerd ten behoeve van het projectplan Moleneind te Breda leidt tot de volgende conclusies:

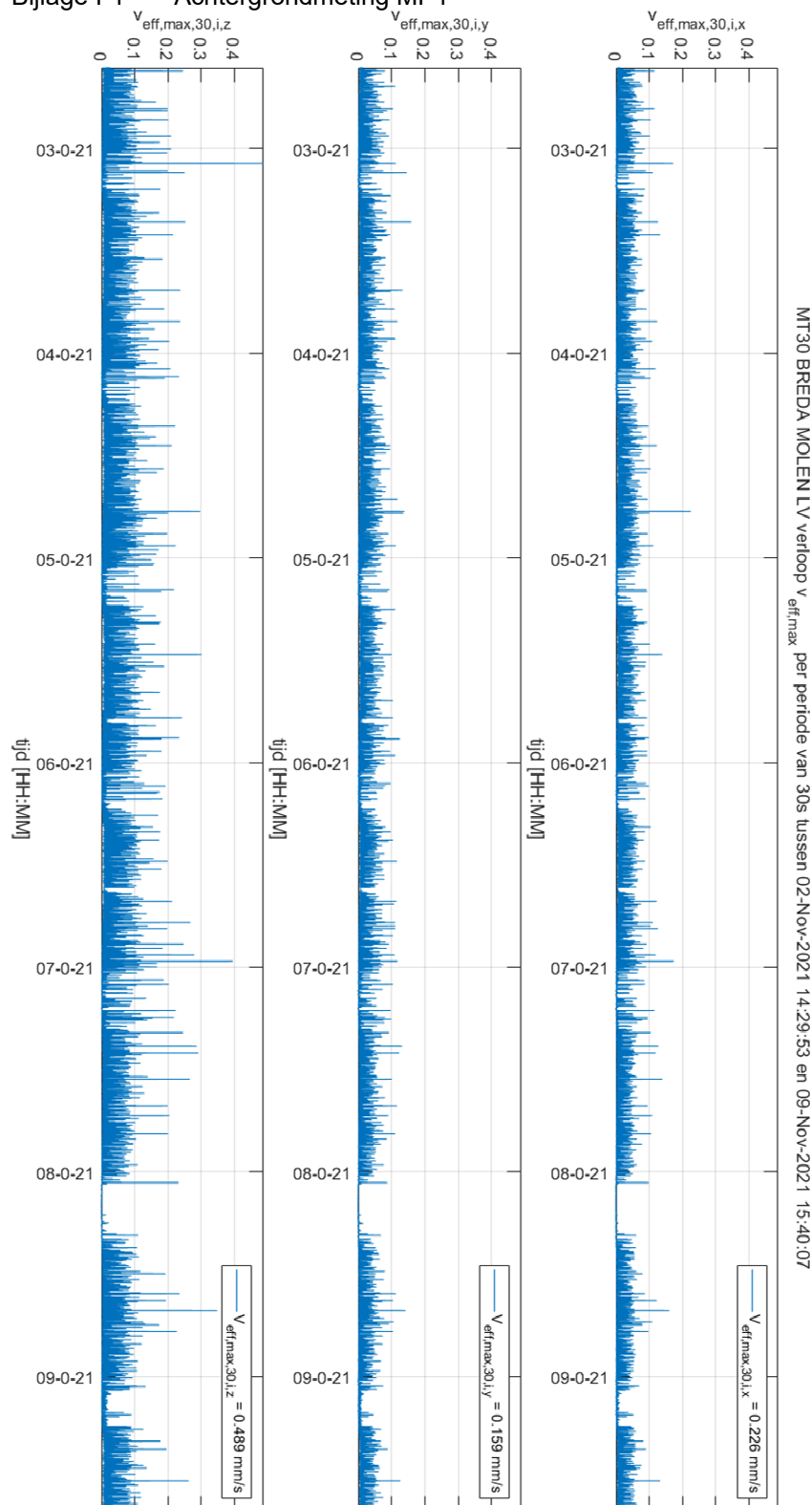
1. Vanuit het bestemmingsplan zijn ten tijde van het onderzoek geen regels van toepassing met betrekking tot het milieuaspect trillingen. In het te wijzigen bestemmingsplan kunnen planregels worden opgenomen om een acceptabel woon- en leefklimaat op het gebied van trillingen te borgen.
2. De locatie van het bouwplan is zodanig dat hinder door trillingen als gevolg van treinverkeer op voorhand aannemelijk is. Vooral in de eengezinswoningen die vlak bij het spoor liggen, is de kans op trillingshinder hoog in alle perioden. De berekende $V_{\max}$ bedraagt 1,3 in de ongunstigste situatie en overschrijdt de streefwaarde voor de nacht met een ruime factor 6.
3. Deze mate van overschrijding zorgt ervoor dat de kans klein is dat met realistische trillingsreducerende maatregelen voor alle treinpassages voldaan zal worden aan de strengste streefwaarde voor de nacht van 0,2. Dit betekent dat de gemeente in de eventuele planregels rekening moet houden met de mogelijkheid om af te kunnen wijken van de streefwaarden voor de nieuwe situatie uit SBR richtlijn B.
4. Ook op grotere afstand van het spoor (ordegrootte 90 – 100 meter) bestaat nog de kans op overschrijding van de streefwaarde voor de nieuwe situatie voor de nachtperiode. De overschrijding is beperkt tot een ordegrootte met een factor 3.
5. Bij het bouwkundig en constructief ontwerp van de eengezinswoningen en de appartementen dient rekening te worden gehouden met het integreren van trillingsreducerende maatregelen in het ontwerp.
6. Voor de dimensionering van de maatregelen is aanvullend onderzoek nodig.

Cauberg Huygen B.V.

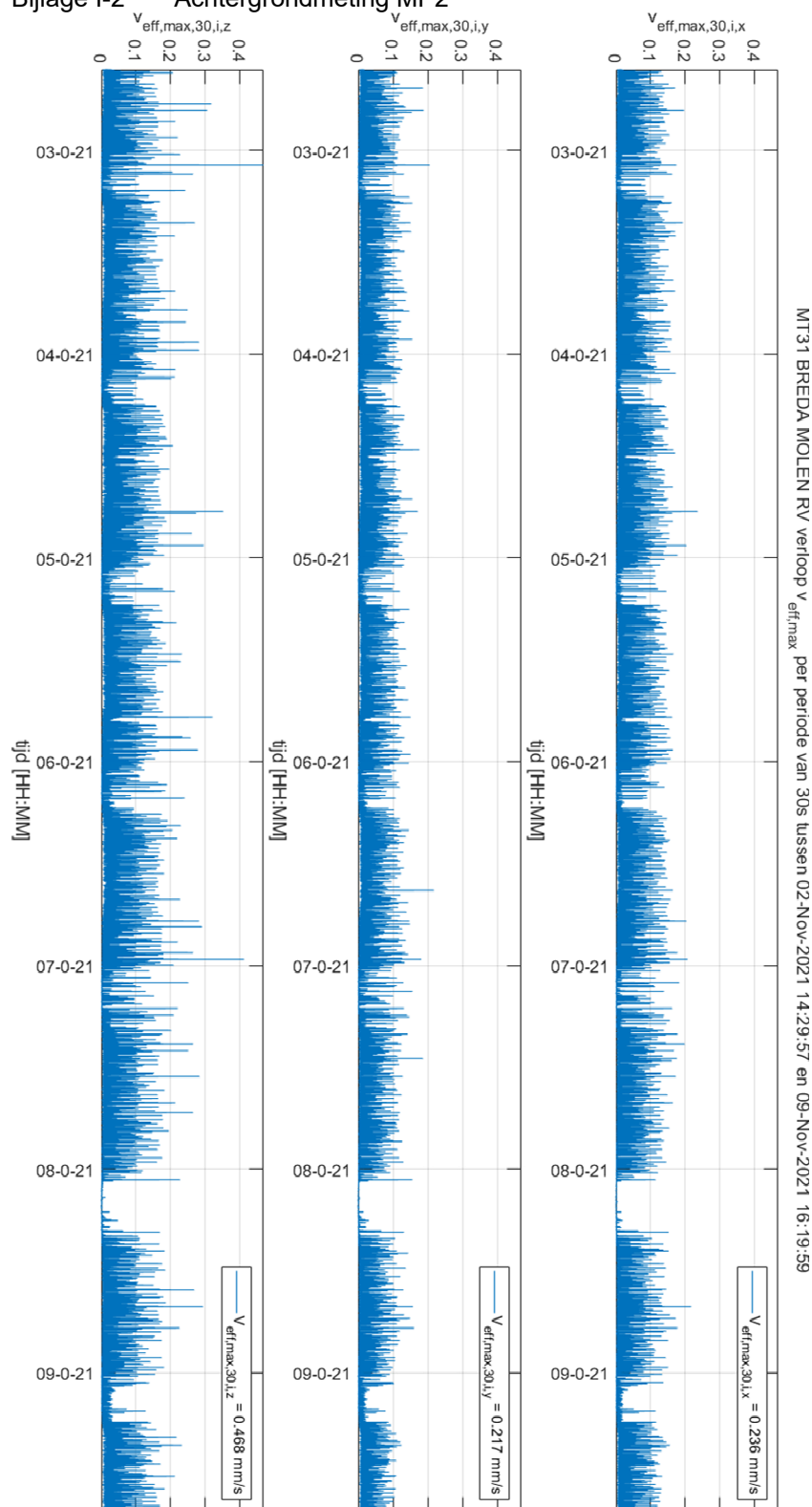
De heer C.J. Ostendorf
Senior adviseur

Bijlage I Achtergrondmetingen

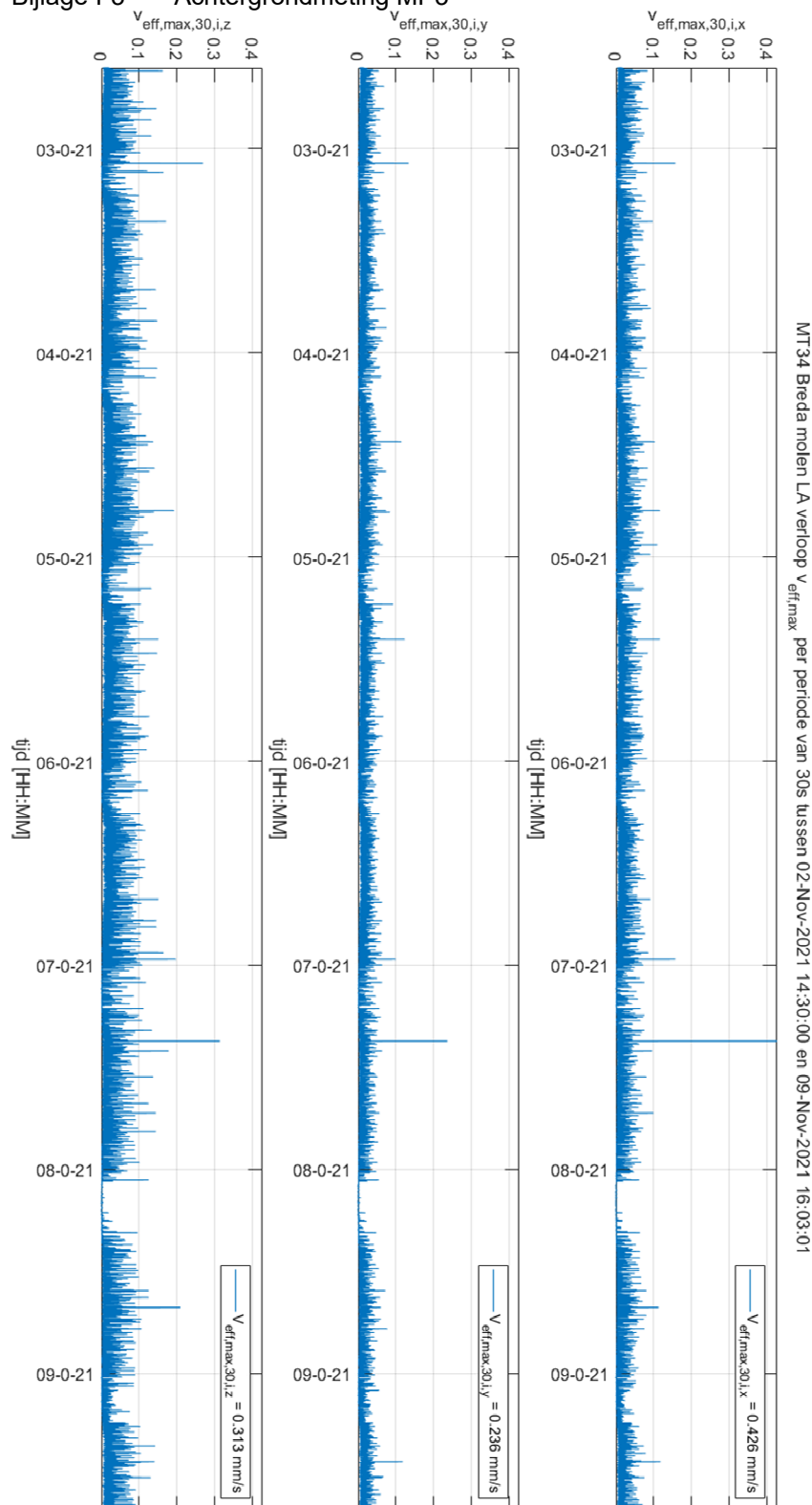
Bijlage I-1 Achtergrondmeting MP1



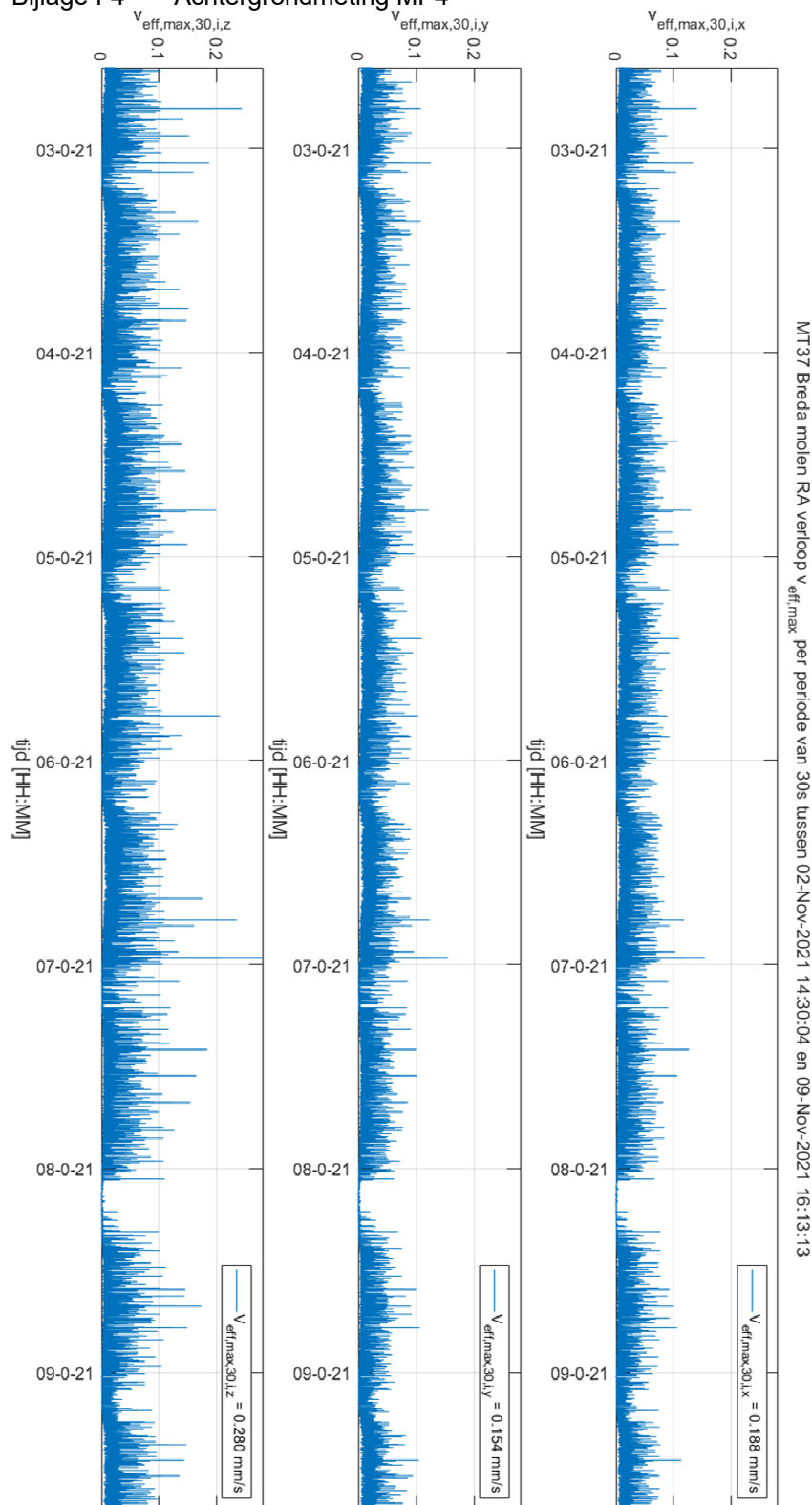
Bijlage I-2 Achtergrondmeting MP2



Bijlage I-3 Achtergrondmeting MP3

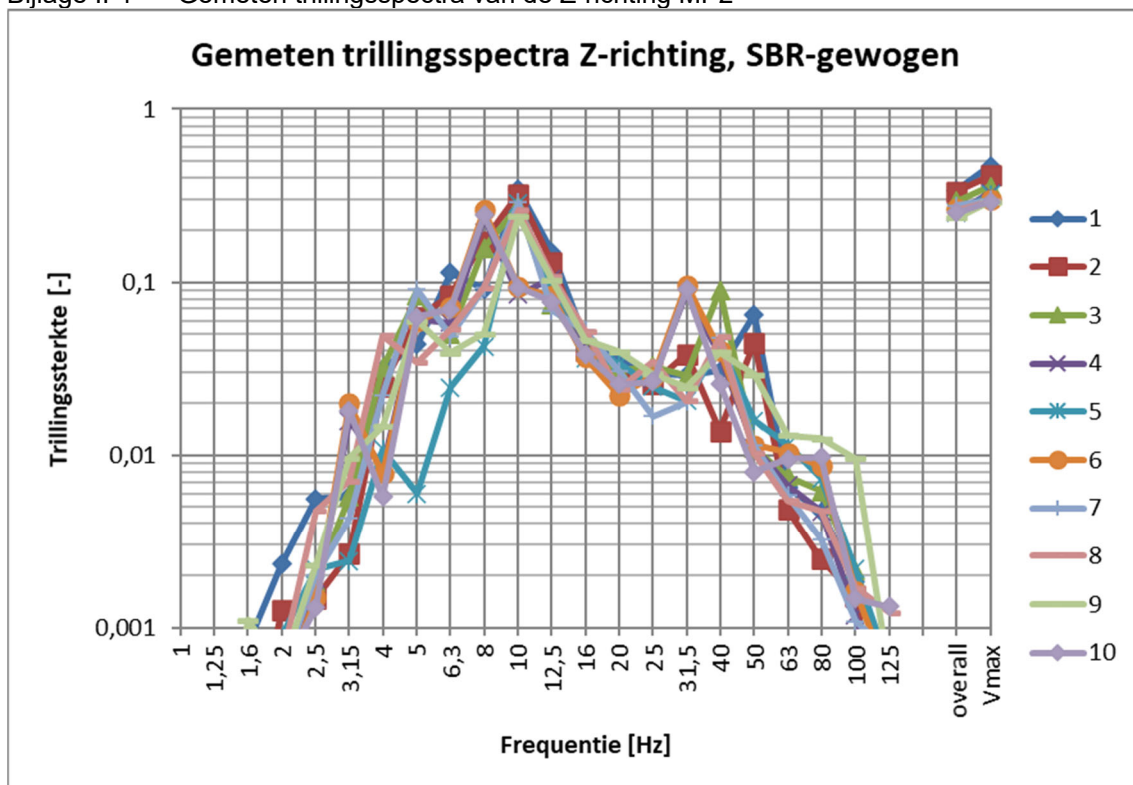


Bijlage I-4 Achtergrondmeting MP4

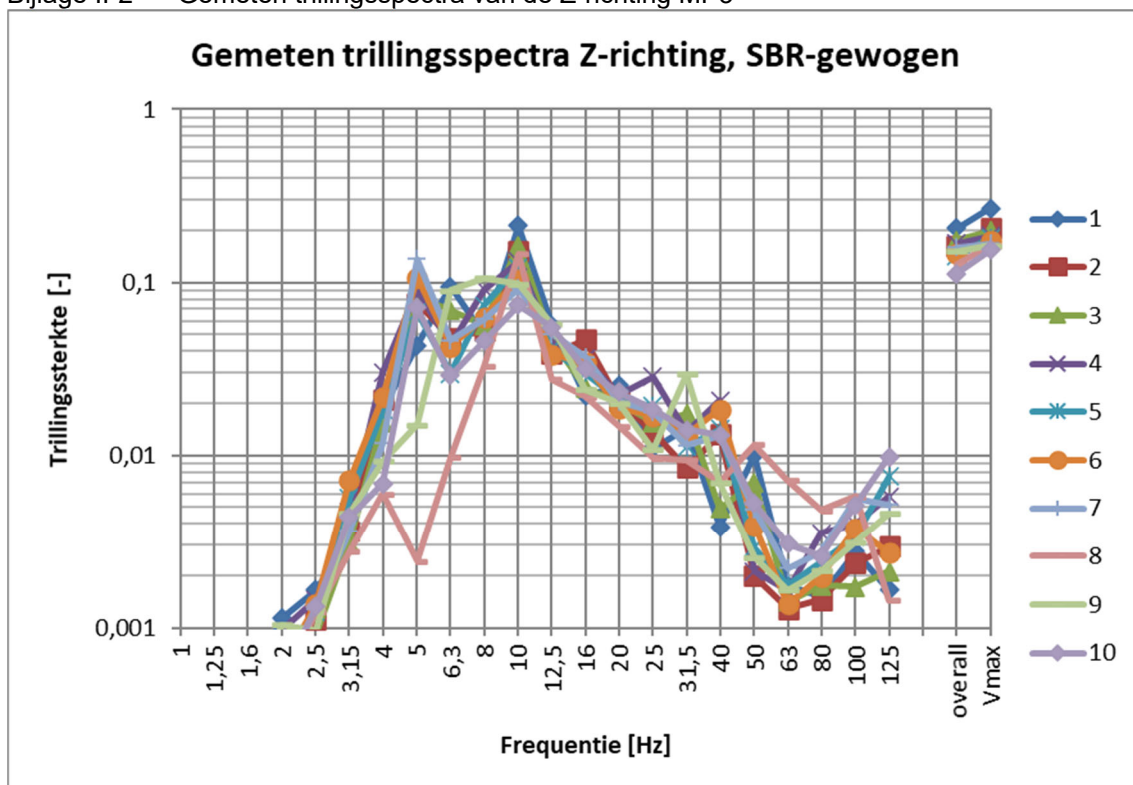


Bijlage II SBR-B gewogen gemeten tertsbandspectra van de top tien passages per meetpunt

Bijlage II-1 Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP2



Bijlage II-2 Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP3



Bijlage II-3 Gemeten trillingsspectra van de Z-richting MP4

