

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

Trillingsprognose railverkeer; Molenven te Vught

Datum **1 april 2021**
Referentie **07156-53796-04**

Referentie 07156-53796-04
Rapporttitel Trillingsprognose railverkeer;
Molenven te Vught

Datum 1 april 2021

Opdrachtgever Bureau Verkuylen
Veemarktkade 8
5222 AE 'S-HERTOGENBOSCH
Contactpersoon De heer J. Nijssen

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 70
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Opzet onderzoek	5
2.2	Toetsingskader	5
2.3	Beschrijving situatie	6
3	Trillingsmetingen	7
3.1	Algemeen	7
3.2	Meetposities	7
3.3	Treinen	8
3.4	Omstandigheden tijdens de metingen	8
4	Meetresultaten	9
4.1	Bemande metingen	9
4.1.1	Treinpassages	9
4.1.2	Eigenfrequentie bestaande vloer	10
4.2	Onbemande metingen	11
5	Prognose	13
5.1	Werkwijze	13
5.2	Invoergegevens	14
5.3	Resultaat prognose	15
5.4	Bepaling en toetsing V_{\max} en V_{per} over een week	16
5.5	Invloed PHS	17
5.6	Trillingsreducerende maatregelen	17
6	Conclusie	18

Bijlagen

Bijlage I **Achtergrondmetingen**

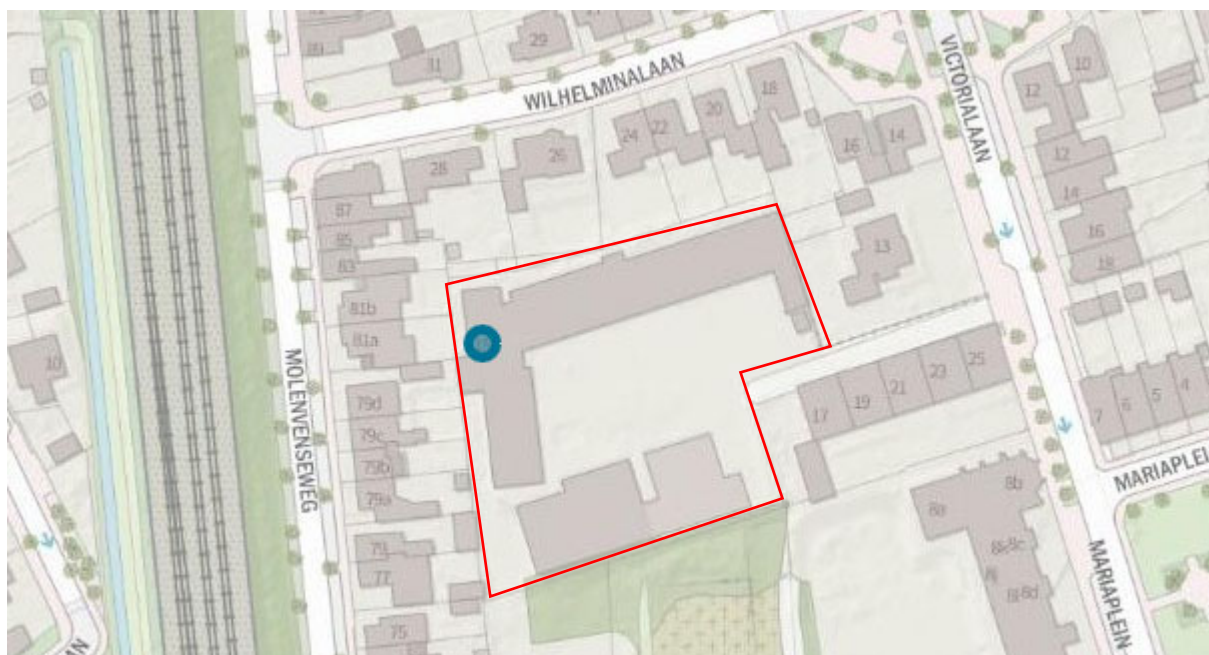
Bijlage I-1	Meetpunt woning 1
Bijlage I-2	Meetpunt woning 1 (kelder)
Bijlage I-3	Meetpunt woning 4
Bijlage I-4	Meetpunt woning 7
Bijlage I-5	Meetpunt maaiveld (woning 12)

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

Bijlage II-1	Meetpunt woning 1
Bijlage II-2	Meetpunt woning 4
Bijlage II-3	Meetpunt woning 7
Bijlage II-4	Meetpunt maaiveld (woning 12)

1 Inleiding

In opdracht van Bureau Verkuylen is een trillingsonderzoek uitgevoerd in verband met de ruimtelijke onderbouwing van het project Molenven te Vught, waarbij 10 woningen worden toegestaan in een monumentaal schoolgebouw en twee vrijstaande woningen zijn gepland. Aanleiding voor het onderzoek is de zorg dat trillingen veroorzaakt door het railverkeer hinder zouden kunnen veroorzaken in de toekomstige woningen. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie.



Figuur 1.1: Locatie bouwplan Molenven

Het projectgebied ligt op een korte afstand van de spoorlijn 's-Hertogenbosch-Eindhoven, ten noorden van Station Vught. 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 trillingsreducerende maatregelen in het ontwerp van de woningen nodig zijn om de trillingshinder te beperken of te voorkomen.

Om vast te kunnen stellen of sprake is van trillingshinder zijn gedurende een week ter plekke trillingsmetingen uitgevoerd. Vervolgens is op basis van de resultaten een prognose opgesteld van de trillingen in de toekomstige woningen. Ter beoordeling van de mate van hinder zijn de geprognosticeerde trillingen getoetst aan 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

Er is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemane metingen. Met de bemande metingen zijn de trillingskarakteristieken van de treinpassages vastgelegd samen met het type trein, de rijrichting alsmede de overdrachten van trillingen tussen de verschillende meetpunten. Met de onbemane metingen ontstaat inzicht in de spreiding van de trillingssterkte over een langere periode. Conform SBR richtlijn B is gekozen voor een meetperiode van 1 week.

Omdat sprake is van renovatie van een bestaand gebouw, zijn de meetpunten in het bestaande gebouw gekozen om zo zoveel mogelijk van de totale overdracht van trillingen vanuit het spoor op te nemen in het meetresultaat. De meetpunten zijn gekozen in een aantal dichtbij het spoor gelegen toekomstige woningen alsmede op grotere afstand van het spoor en op maaiveld ter plaatse van de fundering van te realiseren nieuwbouw.

Op basis van de meetresultaten is de trillingssterkte in de toekomstige woningen berekend. Hiervoor is een empirisch rekenmodel gebruikt.

2.2 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingshinder in de woning is gebruik gemaakt van SBR-B. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk V_{\max} en V_{per} . De parameter V_{\max} staat voor de maximale trillingssterkte (gewogen trillingssnelheid) binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). De parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssterkte over een beoordelingsperiode.

Voor het betreffende plan is ter bepaling van de streefwaarden conform de SBR-B uitgegaan van een “nieuwe situatie”, trillingen door een “herhaald kortdurende bron” en gebouwfunctie “wonen”. De streefwaarden die daaruit volgen zijn samengevat in onderstaande tabel 2.1. Naast streefwaarden ter voorkoming van hinder in nieuwe situaties zijn ook de streefwaarden ter voorkoming van hinder in bestaande situaties in de tabel weergegeven. Er is immers sprake van een bestaand gebouw hoewel sprake is van een nieuwe bestemming (functie) van het gebouw. Deze streefwaarden worden gebruikt om bij overschrijding van de streefwaarden voor nieuwe situaties, de ernst van de overschrijding in te kunnen schatten.

Tabel 2.1: SBR-B streefwaarden ter voorkoming van hinder bij gebouwfunctie wonen

	Dag-/avondperiode (7:00 – 19:00 en 19:00 – 23:00)			Nachtperiode (23:00 – 7:00)		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Nieuwe situaties	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Bestaande situaties	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

Er wordt voldaan aan de streefwaarden als:

- de maximale trillingssterkte V_{\max} kleiner is dan streefwaarde A₁ óf als
- de maximale trillingssterkte V_{\max} kleiner is dan streefwaarde A₂ én de gemiddelde trillingssterkte V_{per} kleiner is dan streefwaarde A₃.

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 in nieuwe situaties.

Conform SBR-B dient overschrijding van de streefwaarden aanleiding te zijn voor overleg tussen de betrokken partijen. Afhankelijk van de omstandigheden kan vervolgens een afweging worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is. Conform SBR-B zijn daarbij de volgende aspecten van belang:

- de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen;
- de mate waarin de trillingssterkte voorkomt (zowel in sterkte als in duur);
- de aanwezigheid van andere trillingsbronnen die zorgen voor een verhoogd achtergrondniveau;
- de historie.

Afhankelijk van deze aspecten kan (matige) hinder conform SBR-B geaccepteerd worden.

Ten aanzien van de streefwaarden voor bestaande situaties kan gesteld worden dat voor nieuwe bewoners in eerste instantie sprake zou kunnen zijn van enige mate van hinder door de trillingen maar dat men, vanwege gewenning, na verloop van tijd geen hinder meer zou kunnen ondervinden.

2.3 Beschrijving situatie

Het project Molenven te Vught bestaat uit de realisatie van 10 woningen in een monumentaal schoolgebouw en 2 vrijstaande woningen. In figuur 2.1 is de situatie weergegeven. Het spoor ligt aan de onderzijde van de tekening.



Figuur 2.1: Overzicht bouwplan

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

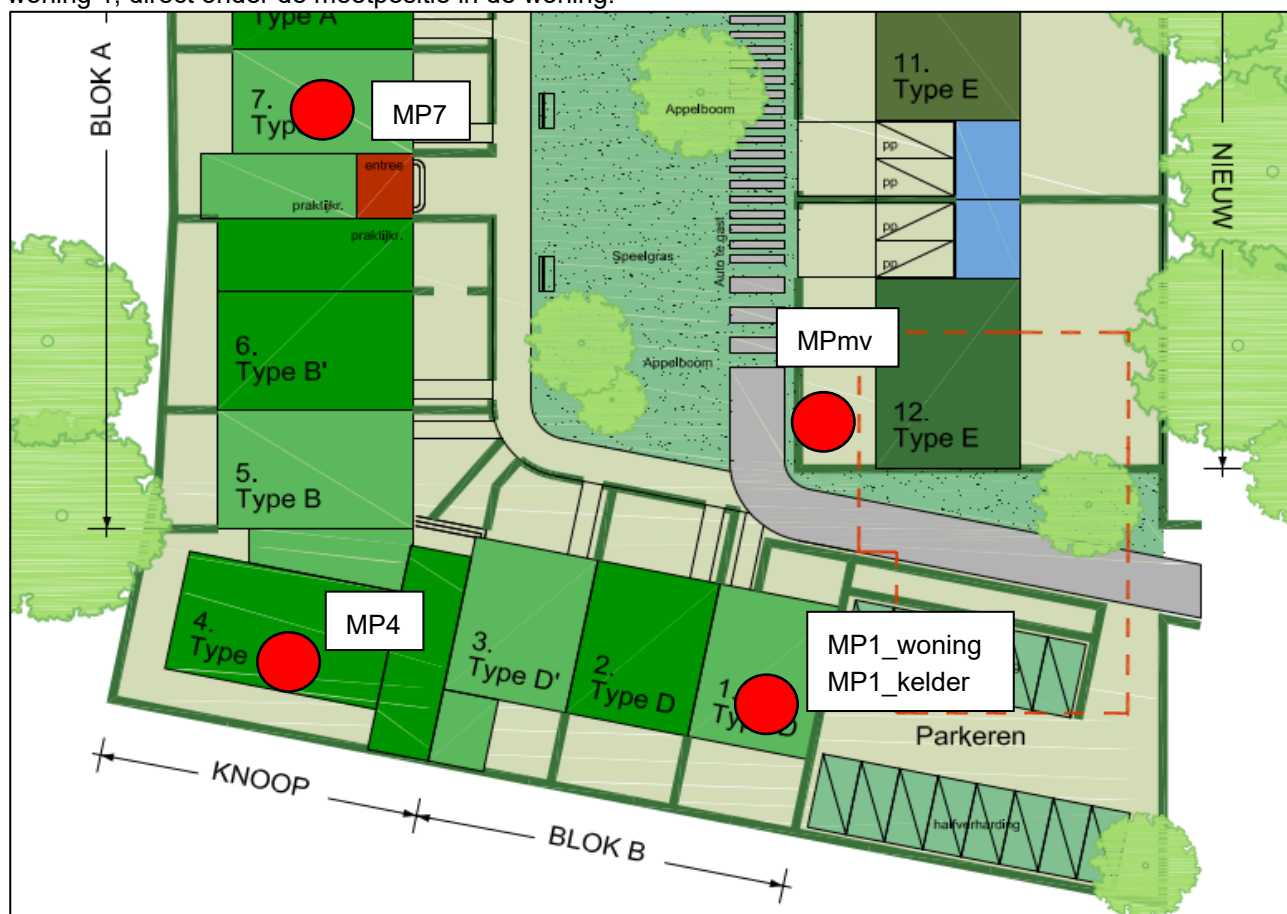
De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 16 tot en met 23 maart 2021. Bij de bemande en onbemande metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

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

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

Drie meetpunten zijn geplaatst in het midden van een ruimte op de bestaande vloer in het bestaande gebouw. De toekomstige woningen die daar gerealiseerd worden, zijn genummerd 1, 4 en 7. Zo dicht mogelijk bij de fundering van de te realiseren woning 12 is een meetpunt geplaatst op maaiveld. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de geplaatste meetpunten. Tijdens de bemande meting is een extra meetpunt geplaatst in de kelder onder woning 1, direct onder de meetpositie in de woning.



Figuur 3.1: Overzicht meetposities

De trillingsopnemers zijn direct op de houten verdiepingsvloer geplaatst of op de betonnen vloer in de kelder en waterpas gezet. Gekozen is voor meetposities in het midden van een overspanning tussen de dragende balken.

Het meetpunt buiten op maaiveld is gekozen ter plaatse van de tegelbestrating voor het bestaande gebouw. De trillingssensor is geplaatst op een speciale bodemplaat die in het zand is gelegd. Daartoe is de bestrating plaatselijk verwijderd.

3.3 Treinen

Tijdens de bemande trillingsmetingen is vastgesteld dat reizigerstreinen van type SNG, SLT (sprinters), VIRM en ICM (intercity's) op het spoortraject rijden, evenals goederentreinen. De passerende treinen rijden ter plekke met een snelheid van circa 70 tot 90 km/u.

3.4 Omstandigheden tijdens de metingen

Het schoolgebouw is niet meer in gebruik als school maar er zijn nog wel activiteiten in het gebouw. Stoortrillingen door lopende mensen in het gebouw of activiteiten in of buiten het gebouw zijn mogelijk. Stoortrillingen zijn niet meegenomen in de prognose. De identificatie van stoortrillingen is uitgevoerd op basis van:

- het gelijktijdig optreden van trillingen op alle meetpunten: treinen zorgen gelijktijdig voor trillingen op alle meetpunten. Stoortrillingen komen meestal maar bij 1 meetpunt gelijktijdig voor;
- de vorm van het tijdsignaal: op basis van de bemande metingen is vastgesteld hoe de tijdsignalen van treinpassages eruit zien. Sterk afwijkende tijdsignalen zijn buiten beschouwing gelaten.

4 Meetresultaten

4.1 Bemane metingen

4.1.1 Treinpassages

De bemane metingen zijn gebruikt om eigenschappen van de treintrillingen vast te leggen zoals de duur van treinpassages per treintype, het tijdstip van de passage zodat bij de analyse van de onbemane metingen inzicht kan worden gekregen in het type trein. De bemane metingen zijn uitgevoerd tussen 12:02 en 13:50 op 16 maart 2021. Tijdens deze metingen is van iedere treinpassage het type trein en de rijrichting genoteerd. Voor iedere treinpassage is de maximale trillingssterkte v_{max} bepaald. Deze zijn weergegeven in tabel 4.1.

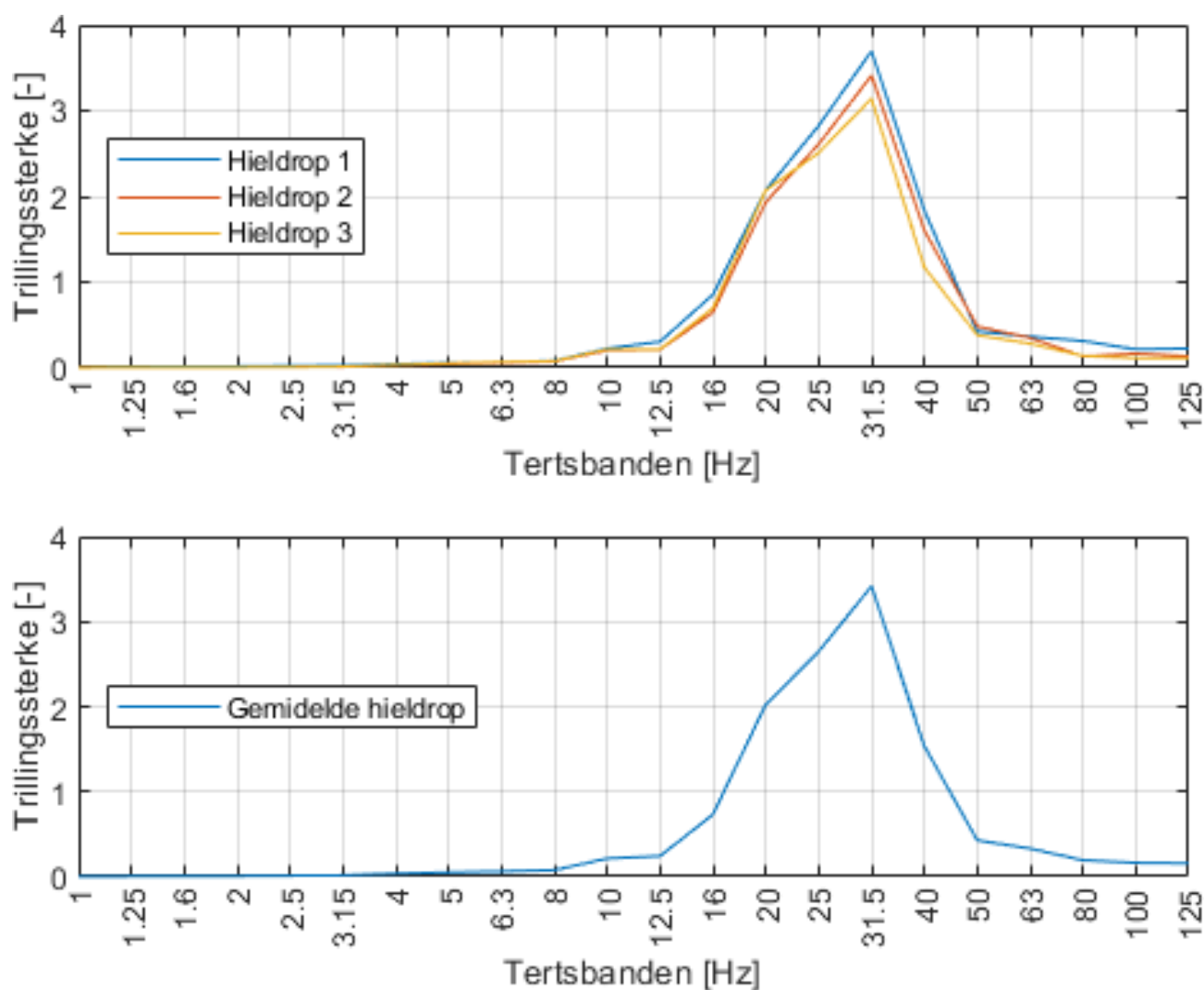
Tabel 4.1: Resultaten bemane meting treinpassages

Tijdstip	Trein	Rijrichting	Duur [s]	v_{max} MPkelder1 [-]	v_{max} MPwoning1 [-]	v_{max} Mpwoning4 [-]	v_{max} MPwoning7 [-]
12:02	SPRINTER	Den Bosch					
12:04	VIRM	Den Bosch					
12:07	VIRM	Den Bosch	18,4	0,036 Z	0,141 Z		
12:08	VIRM	Eindhoven					0,050 Z
12:15	VIRM	Den Bosch	12,3			0,029 Z	0,060 Z
12:21	VIRM	Den Bosch					
12:24	SPRINTER	Den Bosch	10,0	0,005 X			
12:27	VIRM	Eindhoven	19,0	0,032 Z	0,172 Z	0,053 Z	0,086 Z
12:29	SPRINTER	Den Bosch					
12:30	SPRINTER	Eindhoven	10,0	0,019 X	0,077 Z	0,024 X	0,041 Z
12:32	VIRM	Den Bosch			0,050 Z		0,047 Z
12:35	SPRINTER	Eindhoven	14,1	0,025 Z	0,056 Z	0,022 Z	0,044 Z
12:35	GOEDEREN	Den Bosch	44,0	0,030 Z	0,086 Z	0,047 Z	0,049 Z
12:38	VIRM	Eindhoven	15,0	0,030 Z	0,125 Z	0,042 X	0,062 Z
12:44	VIRM	Eindhoven	12,8	0,020 Z	0,081 Z	0,029 Z	0,068 Z
12:45	VIRM	Den Bosch	31,0	0,005 Z	0,044 Z		
12:51	VIRM	Den Bosch			0,057 Z		0,040 Z
12:54	SPRINTER	Den Bosch					
13:15	VIRM	Den Bosch	18,0	0,032 X	0,094 Z	0,040 Z	0,065 Z
13:17	GOEDEREN	Den Bosch	45,9	0,031 Z	0,119 Z	0,041 Z	0,068 Z
13:21	VIRM	Den Bosch	12,4	0,022 Z	0,058 Z		
13:27	VIRM	Eindhoven	18,0	0,041 Z	0,121 Z	0,040 Z	0,073 Z
13:30	SPRINTER	Eindhoven	15,1	0,024 Z	0,107 Z	0,025 Z	0,057 Z
13:35	SPRINTER	Eindhoven	12,6	0,026 Z	0,054 Z	0,024 Z	0,046 Z
13:38	VIRM	Eindhoven	18,0	0,043 Z	0,121 Z	0,041 Z	0,061 Z

In tabel 4.1 is te zien dat de hoogste niveaus gemeten zijn op MPwoning1. De hoogste gemeten waarde van 0,125 is gemeten bij een passerende VIRM.

4.1.2 Eigenfrequentie bestaande vloer

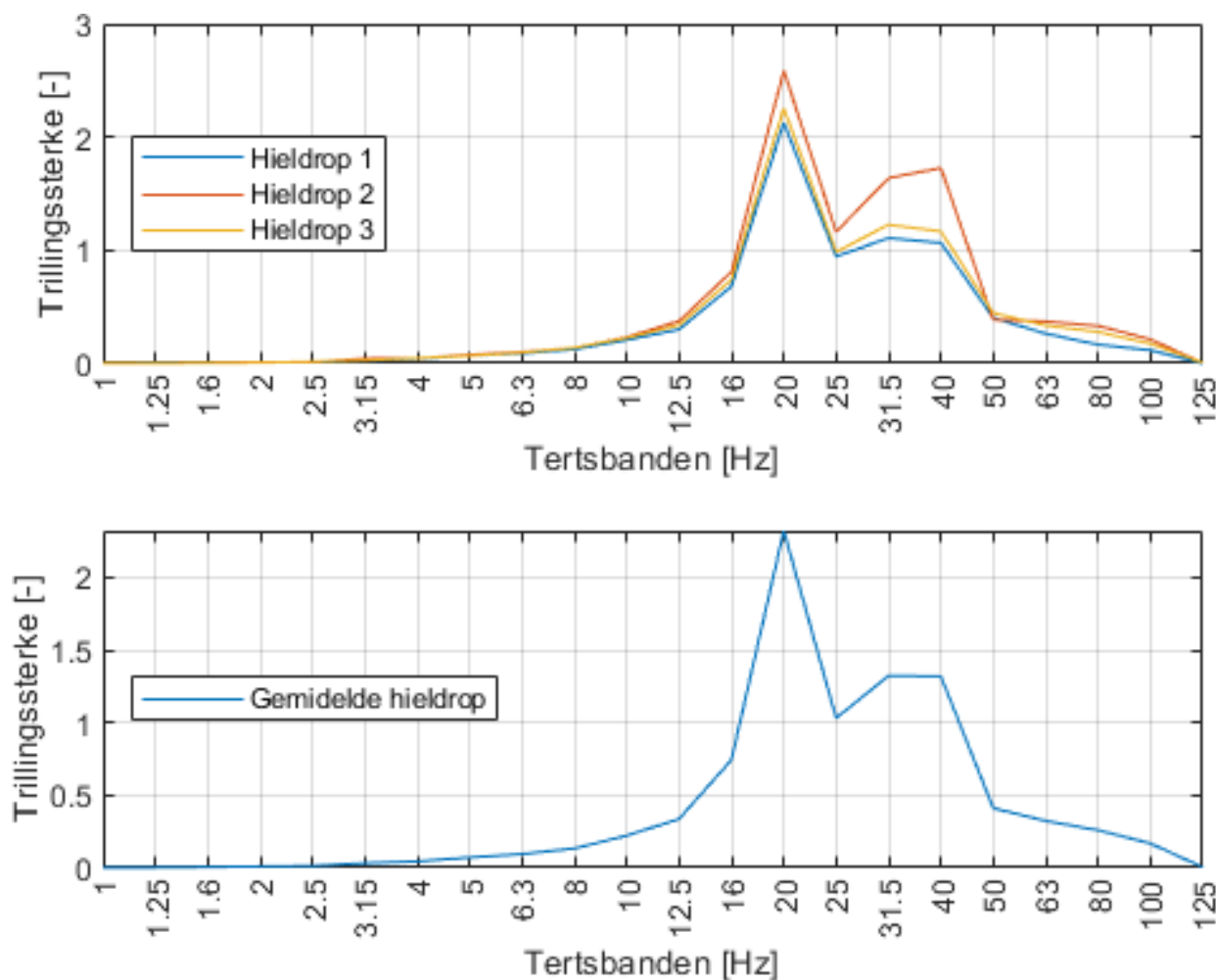
Omdat de bestaande vloerconstructie in woning 1 en 7 deels behouden blijft maar wel wordt aangepast, is de eigenfrequentie van deze vloeren bepaald tijdens de bemande meting door middel van een reeks hieldvallen. Daarbij is de vloer in trilling gebracht door een ongedwongen trilling waardoor de vloer in de eigenfrequentie gaat resoneren. Het resultaat van deze test in woning 1 is te zien in figuur 4.1.



Figuur 4.1: Resultaat van de hieldroptest in woning 1.

In figuur 4.1 is te zien dat de gemiddelde van de drie hieldrops piekt bij 31,5 Hz. Dit geeft aan dat de eigenfrequentie van de vloer zich in de 31,5 Hz tertsbands bevindt.

Dezelfde test is uitgevoerd in woning 7. De resultaten hiervan zijn te zien in figuur 4.2.



Figuur 4.2: Resultaat van de hieldroptest in woning 7.

Uit figuur 4.2 blijkt dat de eigenfrequentie van de vloer in woning 7 zich in de 20 Hz tertsband bevindt.

4.2 Onbemande metingen

De meetresultaten van de onbemande metingen zijn grafisch weergegeven in bijlage I. Per richting en per meetpunt is daarbij het verloop van de trillingssterkte gedurende de week weergegeven. Navolgende tabel 4.2 geeft de 10 hoogste waarden van de gemeten trillingssterkte per meetpunt met de optredende dominante trillingsrichting en het bijbehorende tijdstip. De hoogste waarden per meetpunt zijn gemarkeerd.

Omdat per meetpunt de top 10 in trillingssterkte is weergegeven, is niet voor elke treinpassage in alle meetpunten een waarde ingevuld. Deze waarden zijn wel gemeten maar niet relevant voor de prognose van V_{max} . De betreffende vakken in de tabel zijn leeg gelaten.

Tabel 4.2: Hoogste gemeten trillingssterkte per meetpunt

Starttijd	v_{max} [-]		v_{max} [-]		v_{max} [-]		v_{max} [-]	
	MPwoning1		Mpwoning4		MPwoning7		MPmaaiveld	
16-3-2021 14:27					0,091	Z		
17-3-2021 02:37	0,280	Z						
17-3-2021 14:30					0,091	Z		
17-3-2021 16:38					0,096	Z		
17-3-2021 16:57					0,091	Z		
18-3-2021 02:08							0,096	Z
18-3-2021 03:42			0,079	Z			0,086	Z
18-3-2021 11:08	0,216	Z			0,095	Z		
18-3-2021 13:46			0,105	Z	0,101	Z	0,102	Z
18-3-2021 16:14	0,234	Z						
19-3-2021 00:48			0,100	Z			0,090	Z
19-3-2021 01:05							0,097	Z
19-3-2021 02:37	0,244	Z						
19-3-2021 03:38			0,084	Z			0,095	Z
19-3-2021 10:57					0,091	Z		
19-3-2021 11:27					0,095	Z		
19-3-2021 11:42			0,083	Z				
19-3-2021 12:38	0,215	Z						
19-3-2021 12:56	0,228	Z						
19-3-2021 16:25	0,221	Z						
19-3-2021 17:57			0,077	Z				
20-3-2021 03:41							0,094	Z
20-3-2021 08:41			0,066	Z				
20-3-2021 13:10							0,088	Z
20-3-2021 19:39			0,066	Z				
21-3-2021 13:08					0,107	Z		
21-3-2021 19:12							0,086	Z
22-3-2021 08:38	0,205	Z						
22-3-2021 09:30							0,087	Z
22-3-2021 21:21	0,268	Z	0,075	Z				
23-3-2021 04:09	0,399	Z			0,096	Z		
23-3-2021 05:48			0,075	Z				

In de tabel is te zien dat op meetpunt woning 1 de hoogst gemeten trillingssterkte van 0,40 optreedt op 23 maart om 04:09. Op meetpunt woning 7 is tegelijkertijd een signaal gemeten met een trillingssterkte van 0,096 maar dit is daar niet de hoogst gemeten v_{max} . Die is opgetreden op 21 maart op 13:08 en bedraagt 0,107. De hoogste gemeten trilling in woning 4 bedraagt 0,105, gemeten op 18 maart om 13:46. Tegelijkertijd is de hoogst gemeten trilling op meetpunt maaiveld gemeten, 0,102.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

Voor de prognose van de trillingssterkte zijn twee scenario's beschouwd:

1. met de treinenloop in de huidige situatie;
2. als het spoor in Vught is aangepast.

Paragraaf 5.3 geeft de resultaten van de prognose voor de huidige situatie. In het kader van het Programma Hoogfrequent Spoor, zal het spoor bij Vught verdiept worden aangelegd en een extra spoor worden bijgeplaatst. De invloed van PHS op het bouwplan is opgenomen in paragraaf 5.4.

Ook binnen deze scenario's is sprake van een verschillende werkwijze:

1. voor de meetpunten in het bestaande gebouw is rekening gehouden met het effect van een andere vloeropbouw in de toekomstige situatie;
2. voor de nieuw te bouwen losse woningen is gebruik gemaakt van een empirische rekenmodel waarmee de trillingssterkte op maaiveld is omgerekend naar een trillingssterkte in de toekomstige woningen.

In dat model is de overdracht van trillingen van bodem op gebouw in rekening gebracht samen met de versterking van trillingen door resonantie van vloeren in het gebouw. Alle effecten zijn spectraal in rekening gebracht op basis van de gemeten trillingspectra. Het daarmee berekende trillingsspectrum op de vloer van het gebouw is omgerekend naar een overall maximale trillingssterkte V_{max} die vervolgens is beoordeeld. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de gevolgde prognosemethode per woning.

Tabel 5.1: Methode prognose voor woningen.

Woning	Gebruikte meetpunt	Afstand tot het spoor [m]	Methode
1	MP1	57	Gemeten V_{max} vloer, invloed wijziging vloer
4	MP4	56	Gemeten V_{max} vloer, invloed wijziging vloer
7	MP7	98	Gemeten V_{max} vloer, invloed wijziging vloer
12	MPmaaiveld	72	Gemeten V_{max} maaiveld, overdracht fundering, vloer

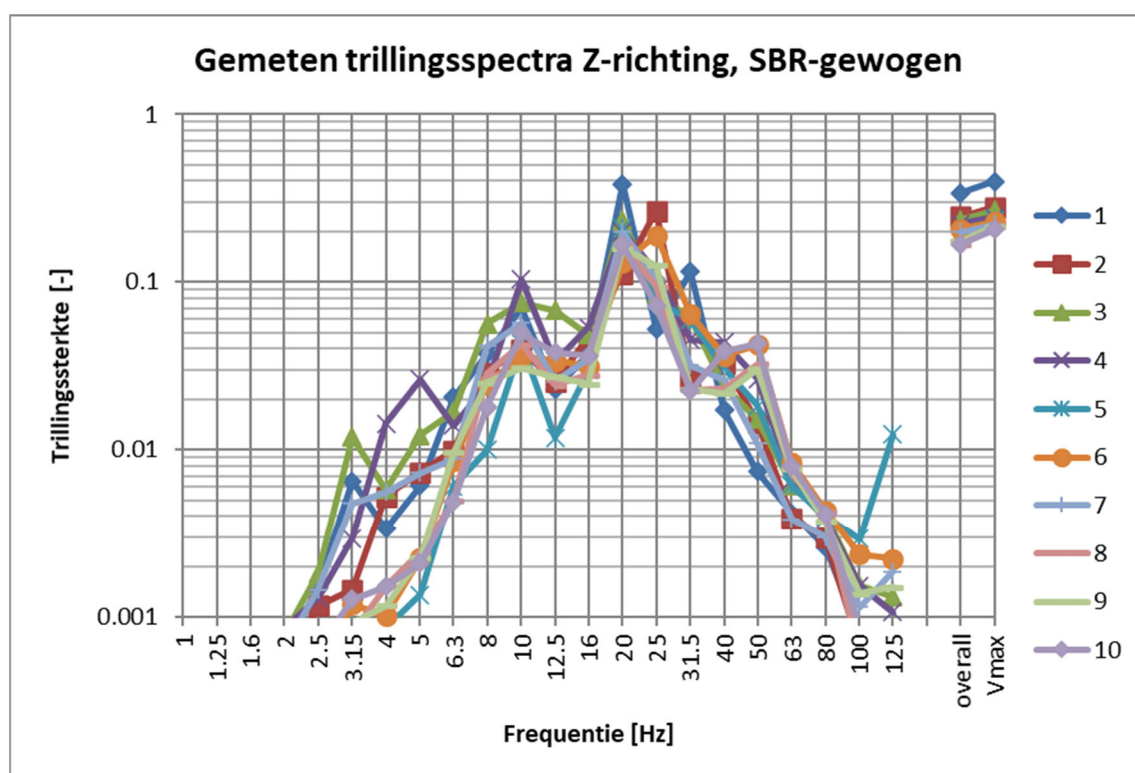
Ten aanzien van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het rekenmodel wordt opgemerkt dat de prognose gebaseerd is op een empirisch rekenmodel. Omdat een model een vereenvoudiging vormt van de werkelijkheid, zal sprake zijn van een bepaalde onzekerheid in het rekenresultaat ten opzichte van de werkelijke situatie. Dit betekent dat de kans groot is dat het resultaat van het rekenmodel enigszins af zal wijken van de werkelijkheid als de nieuwbouw is gerealiseerd. Het model is over het algemeen conservatief. Er is een grote kans dat de werkelijke trillingsniveaus lager zijn dan berekend en een beperkte kans dat ze hoger zijn dan de werkelijke situatie na de renovatie. Deze conservatieve benadering past bij een beoordeling op basis van een maximale situatie.

5.2 Invoergegevens

De volgende gegevens zijn gehanteerd als invoer voor het rekenmodel:

Trillingspectra

De prognose is opgesteld voor de 10 treinpassages die de sterkste trillingen hebben veroorzaakt. Figuur 5.1 geeft de bijbehorende spectra weer van de top tien passages die zijn gemeten op MPwoning1. De spectra van de andere meetpunten zijn te vinden in bijlage II.



Figuur 5.1: Op MP woning1 gemeten trillingspectra, in verticale trillingsrichting en gewogen volgens SBR-B.

Uit figuur 5.1 blijkt dat de 20 Hz tertsbands maatgevend is in de spectra gemeten op MP woning1. Voor MP woning 7 geldt dat ook. Voor MP woning 4 en MP maaiveld geldt dat de 8 en 10 Hz tertsbands maatgevend zijn.

Overdracht van maaiveld op gebouw

Voor de woningen in het bestaande gebouw is ervan uitgegaan dat de overdracht van maaiveld naar fundering niet wijzigt omdat de fundering niet wijzigt. Voor woning 12 is uitgegaan van een kenmerkende overdracht voor een eengezinswoning.

Versterking van trillingen in de vloer

De bestaande houten vloeren zullen worden verzaamd om de geluidisolatie te verbeteren en overlast door looptrillingen te voorkomen. Daarnaast zal de balkconstructie worden verzaamd om de extra massa constructief op te kunnen vangen. Uit een eerste ontwerp blijkt dat de massa van de bestaande vloer met circa een factor 3 toeneemt. Bij gelijkblijvende stijfheid van de vloer zou daarmee de eigenfrequentie van de vloer afnemen en dat is ongunstig omdat treintrillingen over het algemeen in de lagere frequenties meer trillingsenergie bevatten. Het is dus aan te bevelen om de stijfheid van de vloer mee te verhogen zodat de verhouding tussen massa en stijfheid in ordegrootte gelijk blijft zodat ook de eigenfrequentie in ordegrootte gelijk blijft. Dit is met constructieve maatregelen op te lossen in de vorm van:

- toevoegen van balken met een grotere hoogte dan de bestaande balken;
- toevoegen van balken met een veel grotere breedte dan de bestaande balken;
- toevoegen van stalen verstijvingen aan de balken;
- combinatie van bovenstaande maatregelen.

Omdat er diverse constructieve en uitvoerbare maatregelen zijn om te zorgen dat de bestaande eigenfrequentie in ordegrootte gelijk blijft, is er in de prognose voor de woningen in het bestaande gebouw van uitgegaan dat geen verdere versterking van de trillingen op zal treden door de aangepaste vloerconstructie.

Omdat het type vloer en zijn afmetingen van woning 12 nog niet bekend zijn, is de prognose opgesteld voor verschillende eerste eigenfrequentie van de vloer. In de regel ligt deze tussen circa 8 en 20 Hz. Voor een aantal frequenties in deze bandbreedte is een prognose gemaakt.

5.3 Resultaat prognose

Voor de in tabel 5.1 benoemde woningen is een prognose opgesteld op basis van de meetresultaten uit tabel 4.2. De resultaten voor woning 1, 4 en 7 zijn weergegeven in tabel 5.2. Daarin is de hoogste berekende trillingssterkte weergegeven voor de tien gebruikte treinpassages en de drie trillingsrichtingen.

Tabel 5.2: Geprognosticeerde maximale trillingssterkte V_{max} in woning 1, 4 en 7

Woning	V_{max} prognose
1	0,40
4	0,11
7	0,11

Woning 1, met houten vloeren ondervindt een maximale trillingssterkte van 0,40 en woning 7 met een vergelijkbare vloerconstructie, maar op een grotere afstand tot het spoor, ondervindt een maximale trillingssterkte van 0,11. Woning 4 met een betonnen vloerconstructie heeft een maximale trillingssterkte van 0,11.

Voor woning 12 is voor vijf eigenfrequenties een prognose opgesteld, waarbij de V_{max} volgens het *worst case* scenario oranje is gearceerd, en de V_{max} volgens het *best case* scenario groen. Dit is te zien in tabel 5.3.

Tabel 5.3: Geprognosticeerde maximale trillingssterkte in woning 12.

Woning	V_{\max} prognose				
	$f_0 = 8 \text{ Hz}$	$f_0 = 10 \text{ Hz}$	$f_0 = 12,5 \text{ Hz}$	$f_0 = 16 \text{ Hz}$	$f_0 = 20 \text{ Hz}$
12	0,33	0,30	0,29	0,20	0,13

In tabel 5.3 is te zien dat met een toenemende eigenfrequentie de trillingssterkte afneemt.

5.4 Bepaling en toetsing V_{\max} en V_{per} over een week

De berekende waarde van V_{\max} uit de tabellen 5.2 en 5.3 zijn getoetst aan de streefwaarden voor de nachtperiode. Tabel 5.4 toont het resultaat. Weergegeven zijn de streefwaarden A_1 (ondergrens) en A_2 (bovengrens) voor V_{\max} alsmede de streefwaarde A_3 voor V_{per} . De beoordeling vindt eerst plaats op basis van V_{\max} . Alleen als V_{\max} tussen A_1 en A_2 ligt, is V_{per} berekend en getoetst aan A_3 . In het geval van woning 12 zijn zowel de worst-case situatie als best-case situatie weergegeven.

Door middel van kleuren is in de tabel de toetsing aan de streefwaarden voor nieuwe situaties weergegeven:

- daar waar V_{\max} voldoet aan A_1 is deze groen gemarkeerd. Daar waar deze niet aan A_1 voldoet maar wel aan A_2 is deze geel gemarkeerd. In dat geval is V_{per} aan A_3 getoetst. Daar waar de V_{\max} de A_2 overschrijdt is deze oranje gemarkeerd;
- daar waar V_{per} voldoet aan A_3 is deze groen gemarkeerd en daar waar deze de A_3 streefwaarde overschrijdt, is deze oranje gemarkeerd.

 Tabel 5.4: Toetsing trillingssterkte V_{\max} en V_{per} aan SBR-B streefwaarden in de nachtperiode voor woning 1, 4, 7 en 12

	V_{\max}	V_{per}
A_1 / A_2 en A_3 streefwaarden	0,1 / 0,2	0,05
Woning 1	0,40	0,04
Woning 4	0,11	0,01
Woning 7	0,11	0,01
Woning 12 (worst case)	0,33	0,04
Woning 12 (best case)	0,13	0,01

Uit tabel 5.4 blijkt dat alleen voor woning 1 sprake is van een overschrijding van de streefwaarde A_2 van 0,2 in de nachtperiode. Voor de overige woningen voldoet V_{\max} aan de streefwaarde A_2 . Dit geldt ook voor woning 12 als in het ontwerp rekening wordt gehouden met een voldoende hoge eigenfrequentie van de vloeren.

Voor V_{per} geldt dat deze voor alle woningen voldoet aan de streefwaarde A_3 . Dit betekent dat als voor woning 1 de overschrijding van A_2 wordt opgelost er voldaan wordt aan de streefwaarden uit SBR richtlijn B. De V_{per} vormt geen knelpunt.

Als voor de beoordeling uit wordt gegaan van de streefwaarden voor de bestaande situatie (0,4 in de nachtperiode), dan voldoet de V_{\max} in woning 1 bijna aan de streefwaarde van 0,4. Formeel dient de trillingssterkte kleiner te zijn dan 0,4 maar een waarde van 0,4 levert geen andere beleving van de trillingen op en het verschil tussen 0,4 en 0,39 is niet voelbaar. In de praktijk wordt een V_{\max} die gelijk is aan de streefwaarde vaak beschouwd als voldoen aan de streefwaarde.

5.5 Invloed PHS

Op basis van het rapport TB RAPPORT – TRILLINGEN DEEL 2 (MB1.3.2-03) van Arcadis (versie definitief d.d. 2 april 2020) is een inschatting gemaakt van de invloed van het PHS op het bouwplan. In paragraaf 3.3 van genoemd rapport staat op pagina 26 over Vught: “Op basis van analyses van bestaande projecten (combitunnel Nijverdal, Vrije Spoorkruising Amersfoort) is het effect van een spoor op ballastbed in een betonnen constructie nader onderzocht. Op basis van de literatuur is voor Vught aangehouden dat de trillingsoverdracht van een conventioneel spoor in een open bak constructie identiek is aan die van de huidige spoorbaanconstructie”. De verwachting is dus dat de invloed van PHS nihil is op de prognose van de trillingen voor het bouwplan. De resultaten uit tabel 5.4 blijven derhalve van toepassing.

5.6 Trillingsreducerende maatregelen

Omdat de streefwaarde A_2 voor de nieuwe situatie in de nachtperiode wordt overschreden, is onderzocht of trillingsreducerende maatregelen mogelijk zijn voor de woningen 1 t/m 3. De benodigde reductie bedraagt een factor 2. Een dergelijke reductie is in een bestaand gebouw niet met eenvoudige maatregelen te realiseren. Het verhogen van de eigenfrequentie van de vloeren wordt vaak gezien als een mogelijk maatregel. In de huidige situatie is echter al sprake van een relatief hoge eigenfrequentie van de vloeren en dat is gunstig. Om die eigenfrequentie nog hoger te maken, zijn ingrijpende maatregelen nodig. Bovendien is sprake van een rijksmonument. Dit betekent dat ingrijpende bouwkundige veranderingen meestal niet zijn toegestaan. De conclusie luidt dan ook dat het treffen van technisch en financieel haalbare trillingsreducerende maatregelen, naar verwachting niet mogelijk is. Dit betekent dat niet voor alle treinpassages voldaan kan worden aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie. Daarom is af te wegen om de streefwaarden voor de bestaande situatie te hanteren als grenswaarden in het bestemmingsplan.

Uit het trillingsonderzoek volgt dat één treinpassage in een week heeft gezorgd voor de V_{\max} van 0,4 in woning 1. De volgende v_{\max} waarden bedragen 0,28 gevolgd door 0,27 en 0,24. Deze v_{\max} waarden liggen dicht in de buurt van de streefwaarde voor de nieuwe situatie voor de nachtperiode en ruim onder de streefwaarde voor de bestaande situatie. Met andere woorden: de mate van overschrijding is beperkt zowel in aantal als in hoogte van de overschrijding. De overschrijding treedt alleen op voor de maximale trillingssterkte, niet voor de gemiddelde trillingssterkte.

De trillingssterkte in de woningen 1 t/m 3 is gelijk aan de streefwaarden voor de bestaande situatie. Voor deze streefwaarden kan gesteld worden dat voor nieuwe bewoners in eerste instantie sprake zou kunnen zijn van enige mate van hinder, maar dat men vanwege gewenning na verloop van tijd geen hinder meer ondervindt. Rekening houdend met het beperkte aantal treinpassages per week met een trillingssterkte boven de 0,2, is sprake van een acceptabel woon- en leefklimaat en is de kans op trillingshinder klein.

6 Conclusie

Ten behoeve van het nieuwbouwplan Molenven te Vught is een trillingsonderzoek uitgevoerd naar de invloed van treintrillingen op het bouwplan. Het trillingsonderzoek leidt tot de volgende conclusies:

1. De geprognosticeerde trillingssterkte V_{\max} en V_{per} voldoen voor drie van de vier onderzochte woningen aan de streefwaarden uit SBR richtlijn B voor de nieuwe situatie.
2. Voor één onderzochte woning overschrijdt V_{\max} de streefwaarde voor de nieuwe situatie in de nachtperiode.
3. Om te voldoen aan de streefwaarde voor de nieuwe situatie, is een reductie van V_{\max} nodig met een factor 2.
4. Omdat sprake is van een bestaand gebouw met de status rijksmonument, is de verwachting dat technisch en financieel haalbare trillingsreducerende maatregelen niet mogelijk zijn. Dit betekent dat niet voor alle treinpassages voldaan kan worden aan de streefwaarden voor de nieuwe situatie. Daarom is af te wegen om de streefwaarden voor de bestaande situatie te hanteren als grenswaarden in het bestemmingsplan.
5. De geprognosticeerde trillingssterkte V_{\max} is gelijk aan de streefwaarde voor de bestaande situatie. De trillingssterkte V_{\max} ten gevolge van de overige treinpassages bedraagt hooguit 0,28 en voldoet ruimschoots aan de streefwaarde voor de bestaande situatie.

Rekening houdend met het beperkte aantal treinpassages per week met een trillingssterkte boven de 0,2, is sprake van een acceptabel woon- en leefklimaat en is de kans op trillingshinder klein.

Cauberg Huygen B.V.

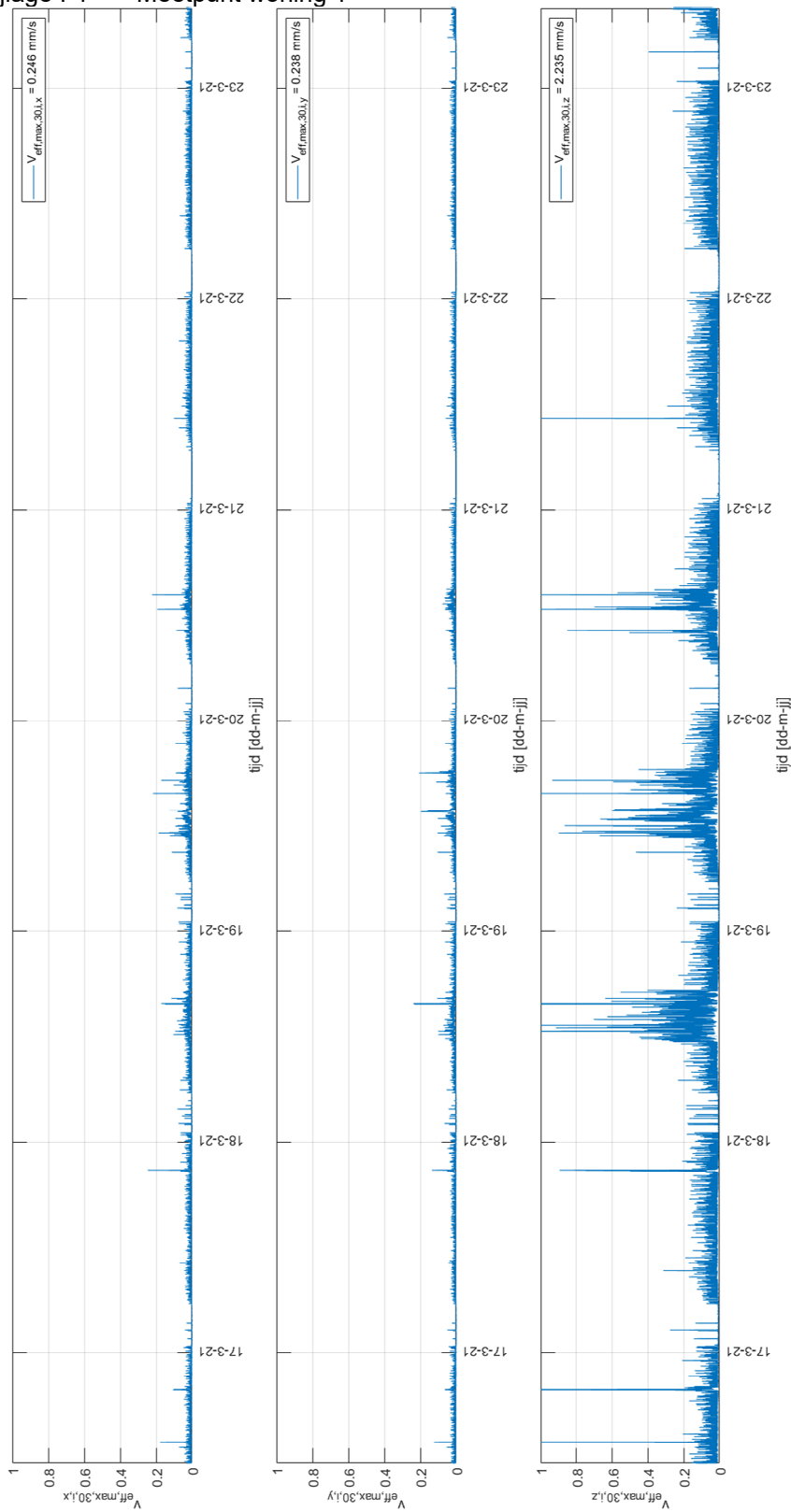


De heer C.J. Ostendorf
Senior adviseur

Bijlage I Achtergrondmetingen

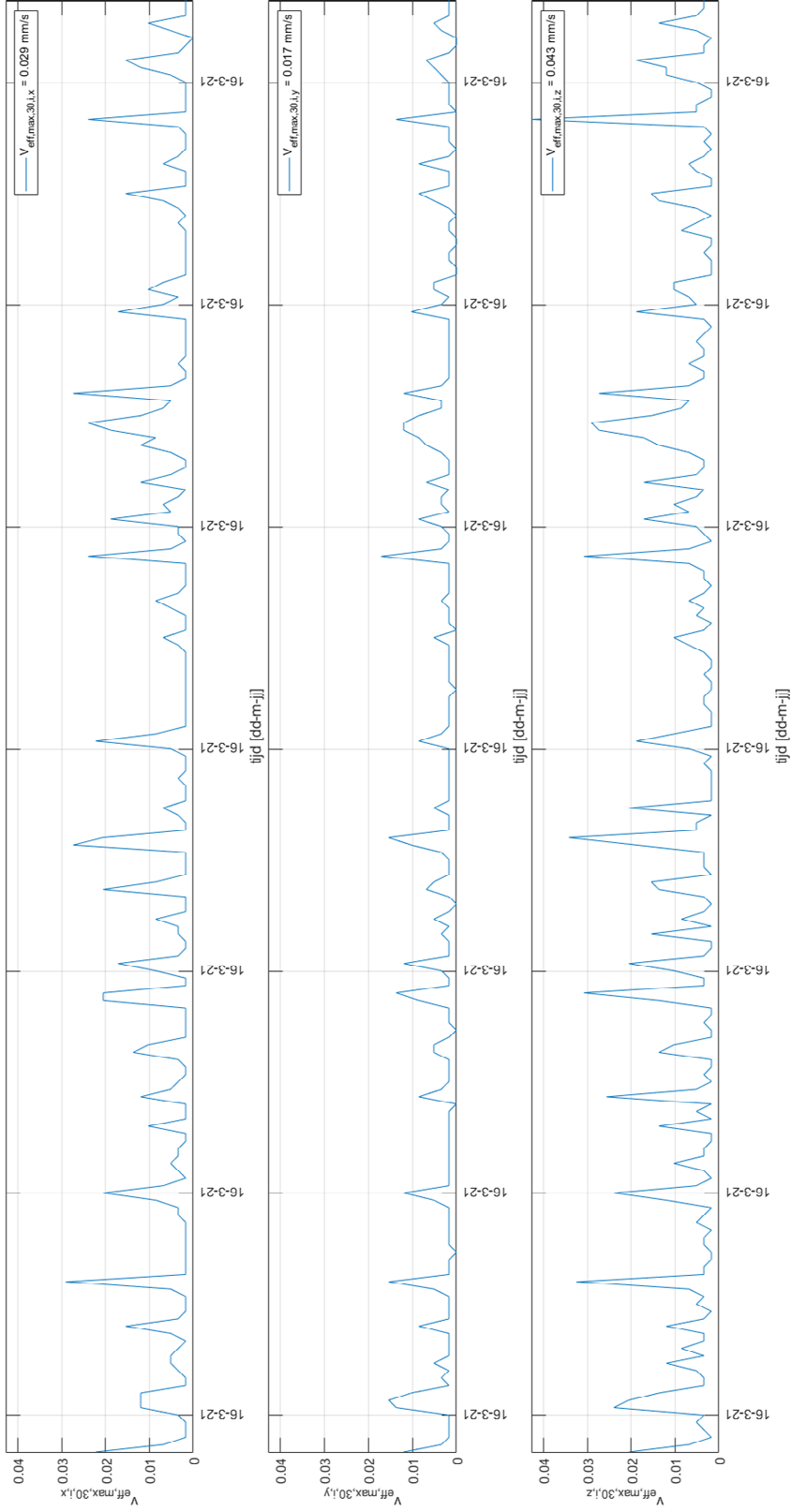
Bijlage I-1 Meetpunt woning 1

MT32 mpw1vd vught verloop v_{eff,max} per periode van 30s tussen 16-Mar-2021 11:27:16 en 23-Mar-2021 09:08:47

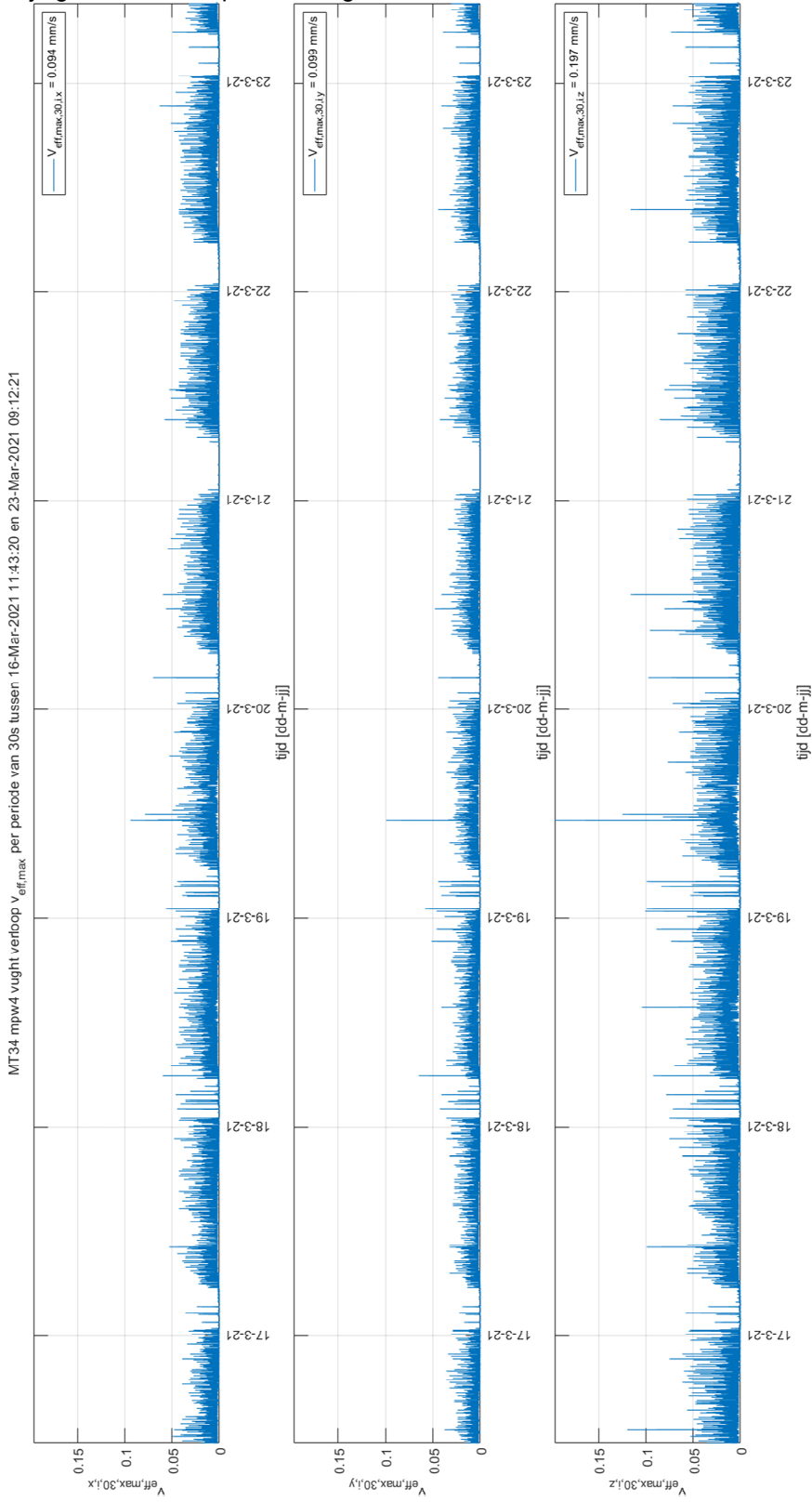


Bijlage I-2 Meetpunt woning 1 (kelder)

MT36 mpw1bg vught verloop $v_{\text{eff,max}}$ per periode van 30s tussen 16-Mar-2021 11:27:31 en 16-Mar-2021 13:05:31

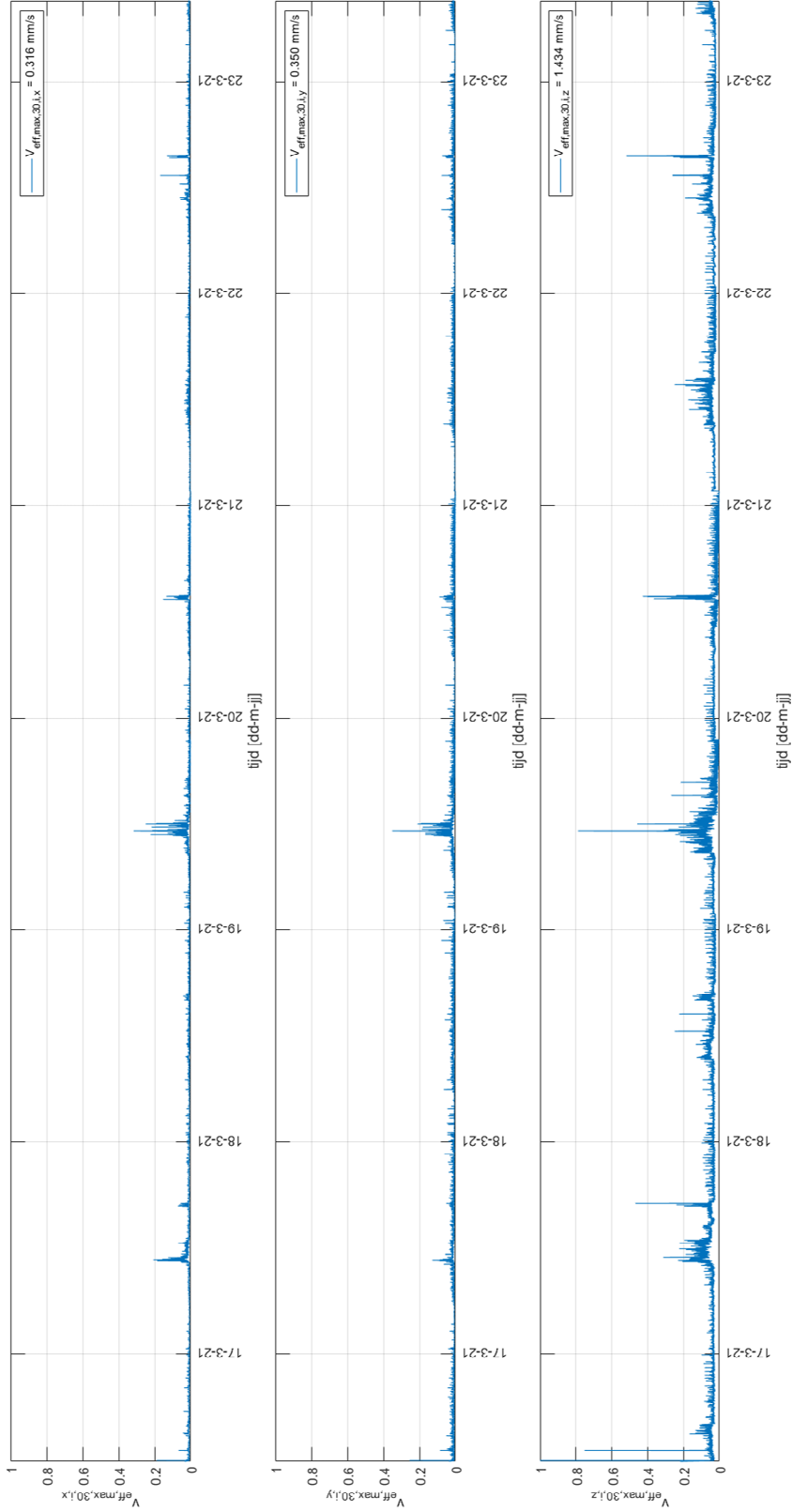


Bijlage I-3 Meetpunt woning 4

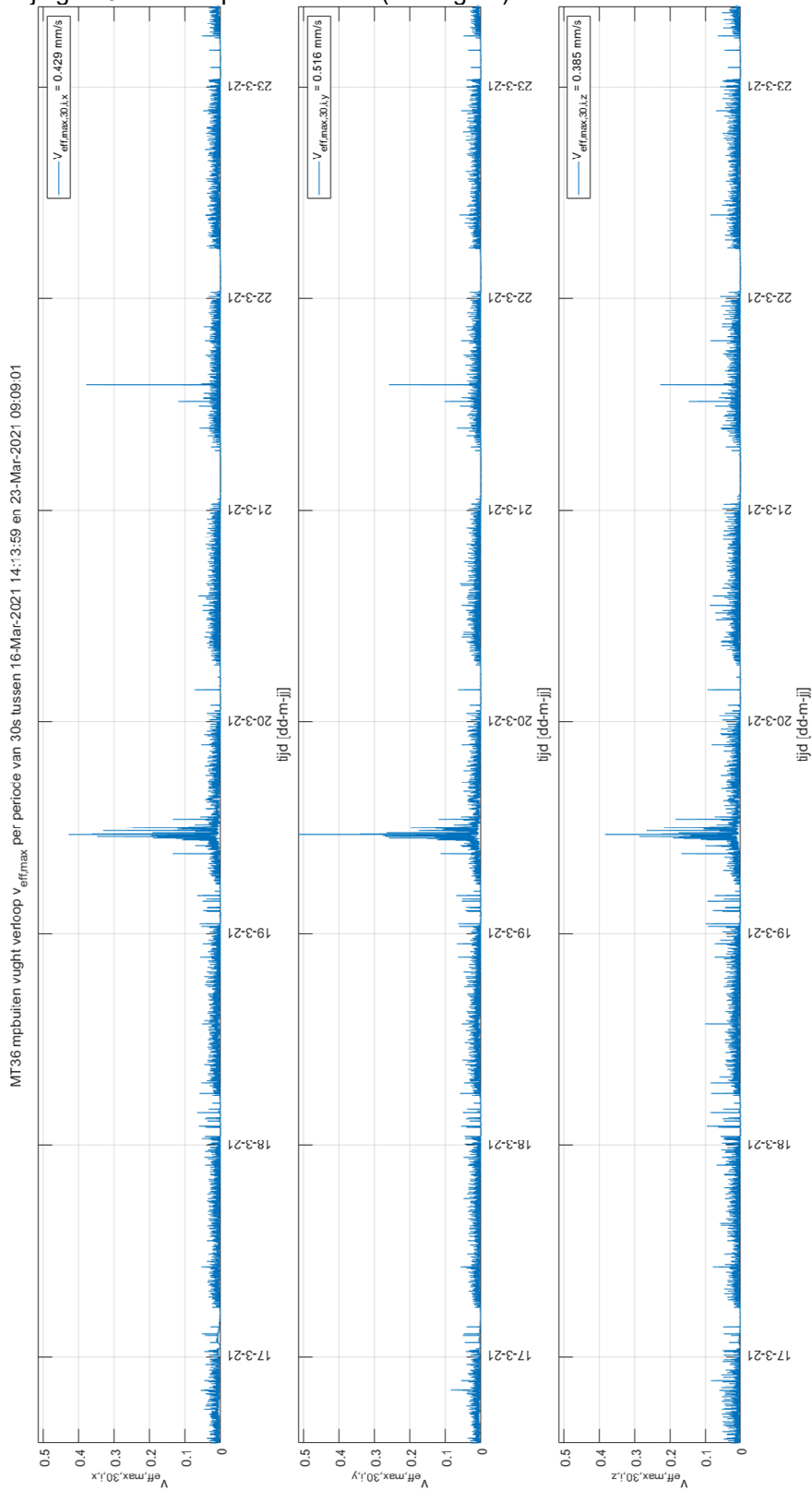


Bijlage I-4 Meetpunt woning 7

MT35 mpw7 vught: verloop $v_{eff,max}$ per periode van 30s tussen 16-Mar-2021 11:52:02 en 23-Mar-2021 09:08:30

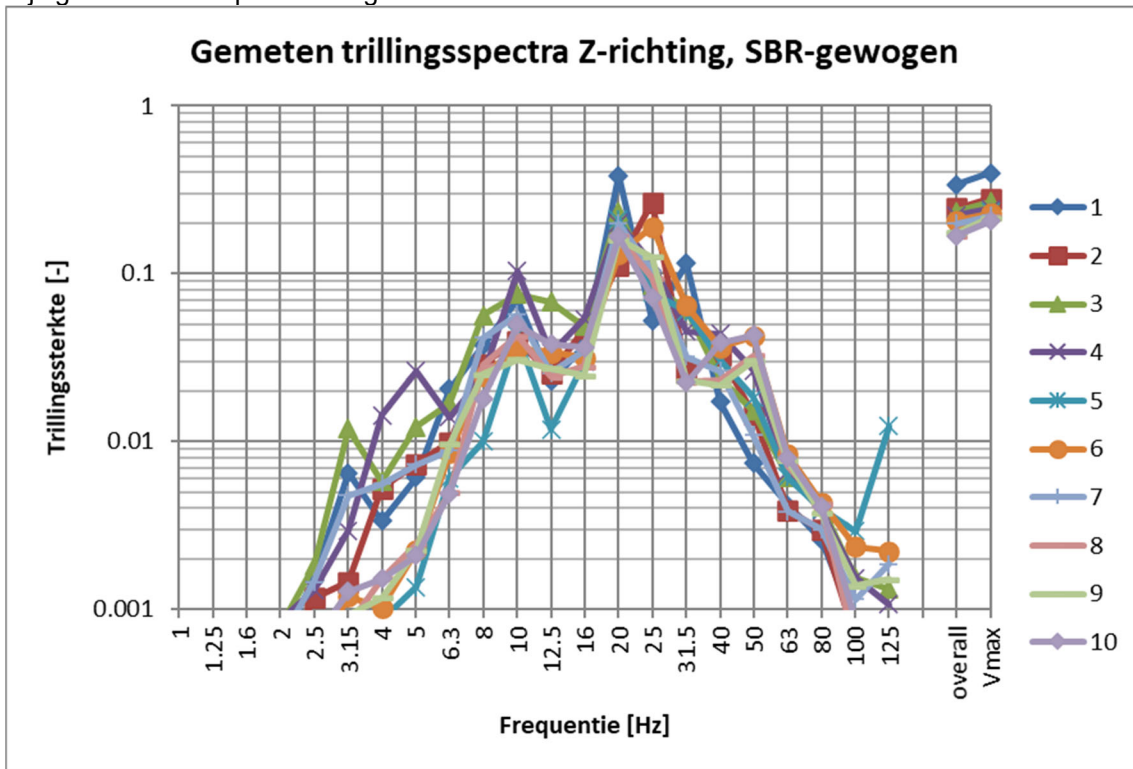


Bijlage I-5 Meetpunt maaiveld (woning 12)

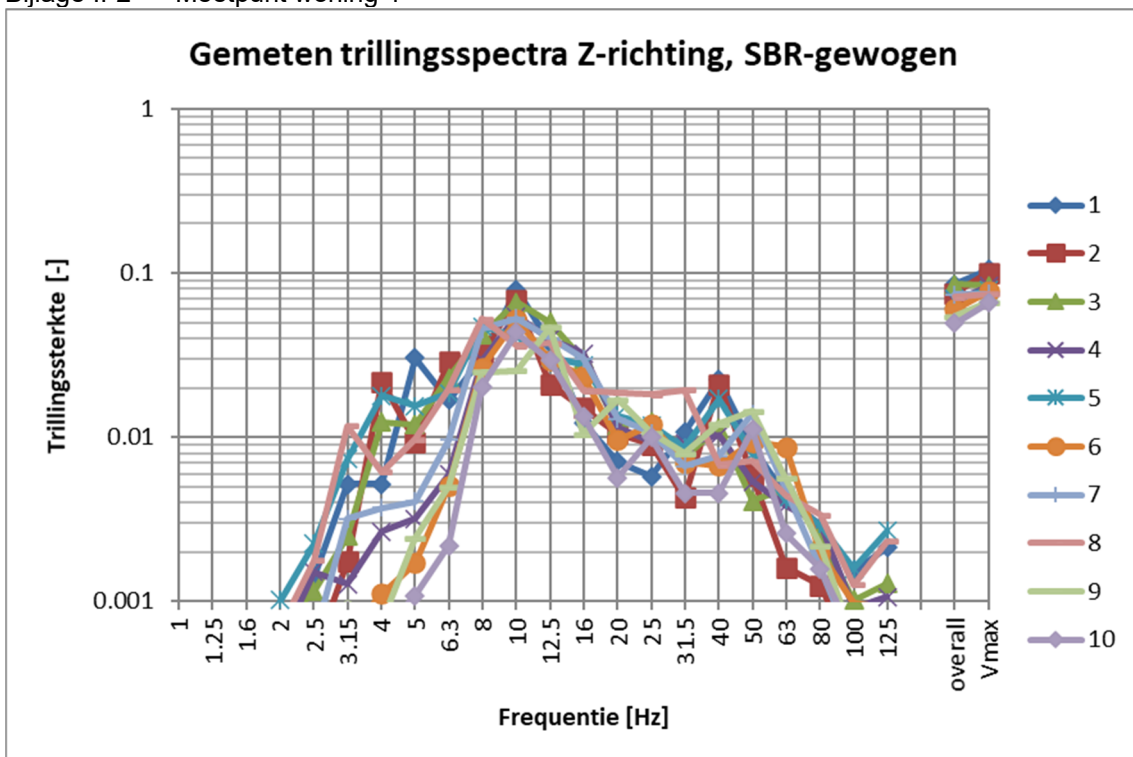


Bijlage II SBR-B gewogen gemeten tertsbandspectra van de top tien passages per meetpunt

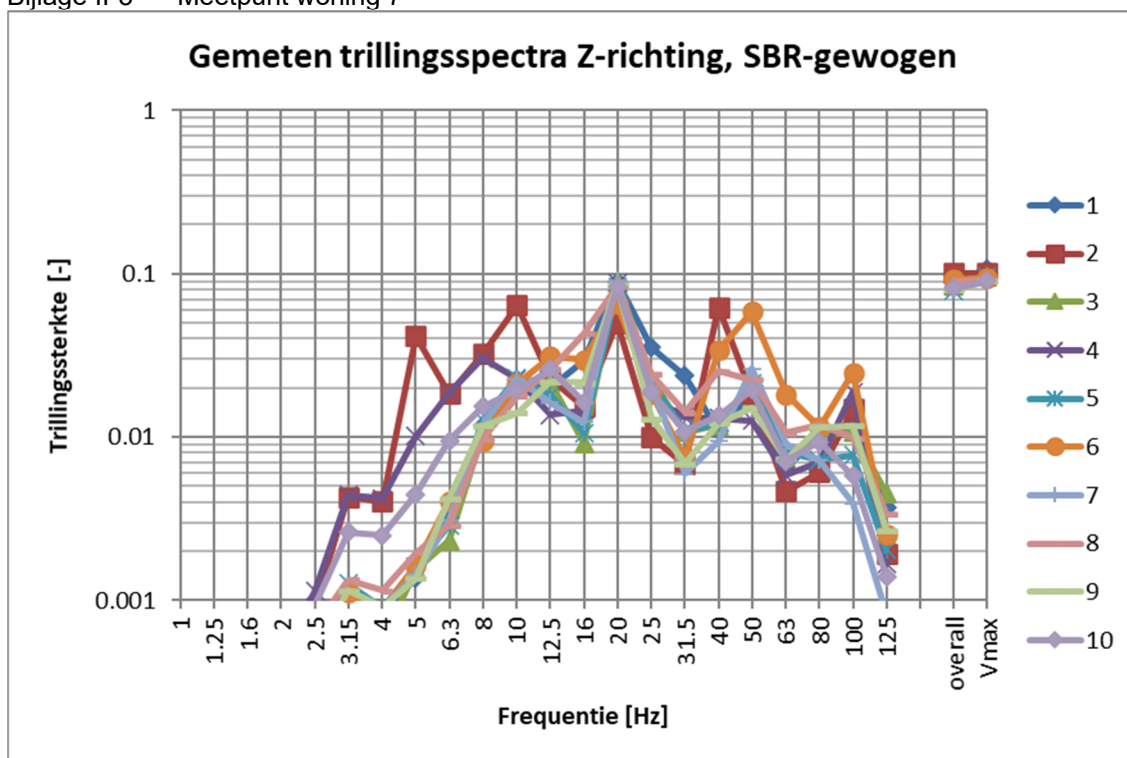
Bijlage II-1 Meetpunt woning 1



Bijlage II-2 Meetpunt woning 4



Bijlage II-3 Meetpunt woning 7



Bijlage II-4 Meetpunt maaiveld (woning 12)

