AV CONSULTING B.V.
INGENIEURSBUREAU

IBAN NL15 RABO 0307 33 99 20

KvK Gouda 29037057

Lid INCE • NAG • ABAV • Ti-Kviv

www.av-consulting.nl

NL - 8033.00.591.B.01

Rapport 2006007377-20232505

10 juni 2023

TRILLINGSONDERZOEK

Stedenbouwkundig plan spoorzone
Westervoort Noord
Randvoorwaarden teneinde te voldoen aan de streefwaarden uit de richtlijn B: “Hinder voor personen in gebouwen”.
in nieuwbouw woningen

AKOESTIEK

TRILLINGEN

MILIEU-
VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

BEZWAAR
EN BEROEP

Opdrachtgever
Gemeente Westervoort
Dorpsplein 1
6931 CZ Westervoort

Adviseur

[redacted]

Opdrachten worden aanvaard en uitgevoerd volgens onze voorwaarden zoals op de achterzijde afgedrukt, alsmede de “regeling van de verhouding tussen opdrachtgever en adviserend ingenieur” (R.V.O.I., 2001) gedeponeerd ter griffie van de arrondissementsrechtbank te Den Haag. Orders are accepted and carried out according to our regulations as printed on the backside and the “regulation of the relation between principal and consultant-engineer” (R.V.O.I., 2001) filed at the office of the district-court of The Hague (the Netherlands).

Postbus 705
2800 AS Gouda
T 0182 352311
F 0182 354711

INHOUDSOPGAVE **Blz.**

Inhoudsopgave

1. INLEIDING 1
   1.1. Algemeen 1
   1.2. Gegevens 2
2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN 3
   2.1. Inleiding 3
   2.2. Streefwaarden uit de SBR-B 4
3. METINGEN EN BEREKENING 6
   3.1. Situatie en uitgangspunten 6
   3.2. Trillingsmetingen 7
   3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem 10
   3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen 12
4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE 16
   4.1. Meetresultaten 16
   4.2. Nauwkeurigheidsmarge metingen 18
5. MOGELIJKE MAATREGELEN 19
6. PROGNOSES NA MAATREGELEN AAN DE WONINGEN 20
   6.1. Hinder zones 20
   6.2. Vloer resonanties 21
7. RANDVOORWAARDEN BOUWEN VAN WONINGEN 22
   7.1. Zone 0 22
   7.2. Zone 1 22
   7.3. Zone 2 22
   7.4. Zone 3 22
   7.5. Nauwkeurigheidsmarge berekeningen 23
   7.6. Disclaimer 23
8. CONCLUSIES 24

BIJLAGEN:

1. **MEETRESULTATEN**
2. **BEREKENINGSBLADEN**
3. **TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B**
4. **TEKENINGEN**

© 2023 AV-CONSULTING B.V. ®

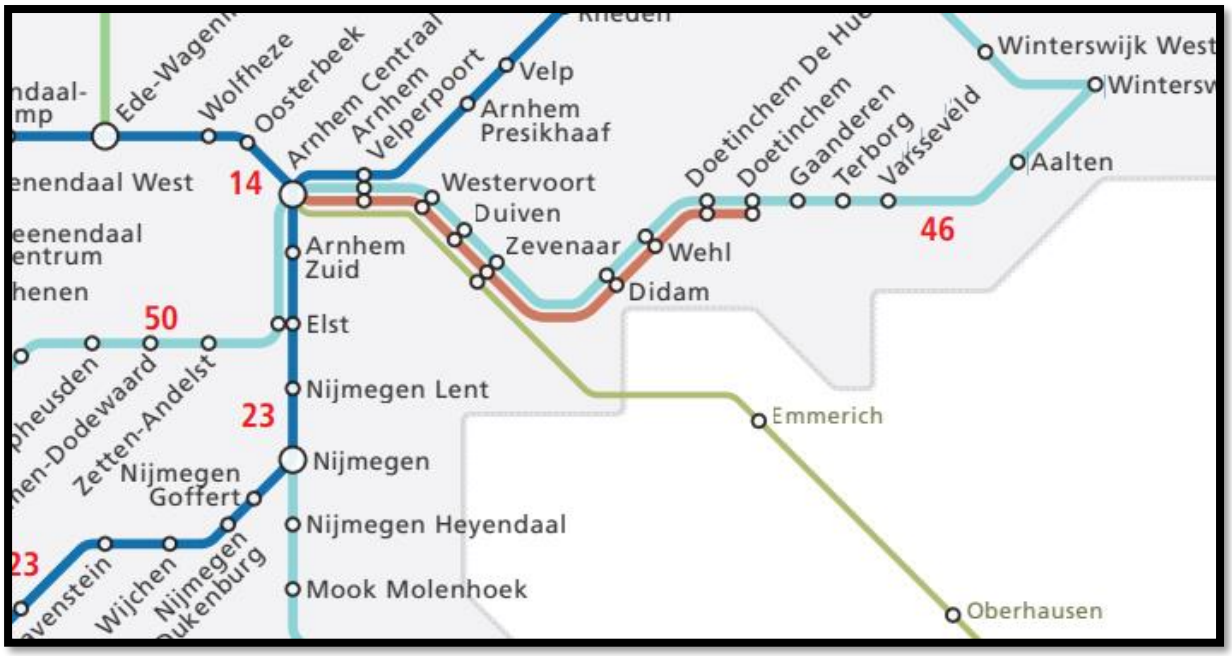
Niets uit dit rapport mag worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt worden in de ruimste zin des woords zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van AV-CONSULTING B.V. Raadgevende Ingenieurs, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van de Gemeente Westervoort is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd voor een nieuw stedenbouwkundig plan binnen de spoorzone Westervoort-Noord. Het stedenbouwkundig plan voorziet o.a. in trillingsgevoelige ruimten door de bouw van woningen op verschillende afstanden van het spoor.

Doel van het onderzoek is het prognosticeren van de trillingsniveaus in de panden ten gevolge van het treinverkeer op de spoorlijn Arnhem, zie onderstaand spooroverzicht.



In het onderzoek worden randvoorwaarden aan stedebouwkundigplan geadviseerd teneinde te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B: “Hinder voor personen in gebouwen”.

ProRail adviseert indicatief onderzoek te doen naar de te verwachten trillingsniveaus. Aanleiding voor het onderzoek is de zorgplicht van de opdrachtgever om mogelijk toekomstige hinder in de nieuwe panden, ten gevolge van de spoortrillingen te voorkomen of beperken. Ten behoeve van het onderzoek zijn er trillingsmetingen verricht conform de voorschriften uit de SBR-richtlijn B: “Hinder voor personen in gebouwen” gedurende ca. één representatieve week.

Voor de overdracht van de trillingen door de bodem is gebruikgemaakt van de empirische formule van Barkan en van metingen in situ. Voor de overdracht van de trillingen door de bodem naar het gebouw en van gebouw naar de vloer zijn frequentie afhankelijke overdrachtsfuncties gebruikt.

1.2. Gegevens

Ten behoeve van het onderzoek is gebruik gemaakt van de navolgende gegevens:

1) De SBR-richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen" van de Stichting Bouwresearch.
2) Document “Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen” d.d. mei 2019 van de van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
3) Document “Maatregelcatalogus spoortrillingen” d.d. 8 januari 2016 van ProRail.
4) Rapport M.2019.0471.00.R001, “Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen” d.d. 2 oktober 2019.
5) Publicatie nr. 9/1995 “Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte” van de Ministerie van Volkshuisvesting.
6) Stedenbouwkundige plan in de spoorzone te Westervoort-Noord door opgave van de opdrachtgever.
7) Boormonsterprofiel nr. B40B0184 beschikbaar op DINOloket.
8) Bijlage IV behorende bij hoofdstuk 4 van het “Reken- en Meetvoorschrift Geluid 2012”.
9) Gegevens van het spoorverkeer uit het geluidregister spoor.
10) TNO-onderzoeken 02109 en 02107, d.d. mei 2009.

2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN

2.1. Inleiding

De meet- en beoordelingsrichtlijn B, "Hinder voor personen in gebouwen" bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van hinder voor personen. De richtlijn maakt onderscheid in de functie van het gebouw, aard van de trillingsbron en in bestaande, gewijzigde en nieuwe situaties.

In de Richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van A_1, A_2 en A_3:

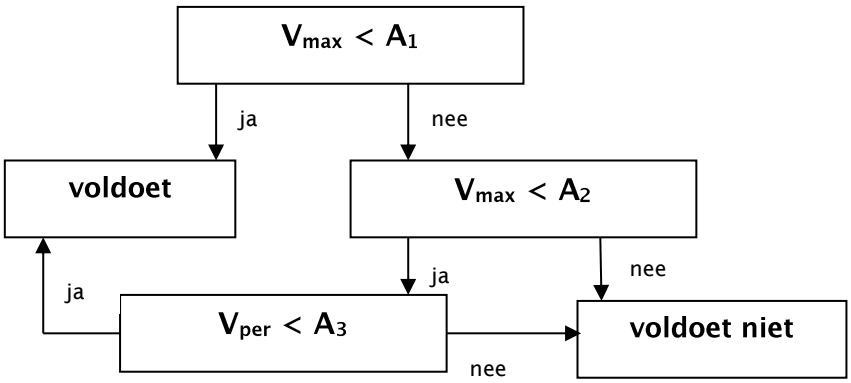
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max};
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max};
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per}.

Voor de hoogte van de streefwaarden geldt in algemene zin dat $A_3<A_1\leq A_2$.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

4. De waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A_1 of
5. De waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A_2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3.

De procedure voor de beoordeling van V_{max} en V_{per} is in het onderstaande stroomschema aangegeven.



In de richtlijn zijn de streefwaarden onder andere gebaseerd op de functie van het gebouw waar de trillingen beoordeeld moeten worden en de aard van de trillingsbron. In de onderhavige situatie worden de optredende trillingen beschouwd als herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd. De situatie kan worden beschouwd als een nieuwe situatie aangezien het een nieuwbouwplan betreft. In tabel 1 zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 1: Overzicht streefwaarden hinder.

Gebouwfunctie (SBR - B richtlijn)	Dag- en avond			Nacht		
	A_1 [-]	A_2 [-]	A3 [-]	A_1[-]	A_2 [-]	A_3 [-]
Wonen (nieuwe situatie)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

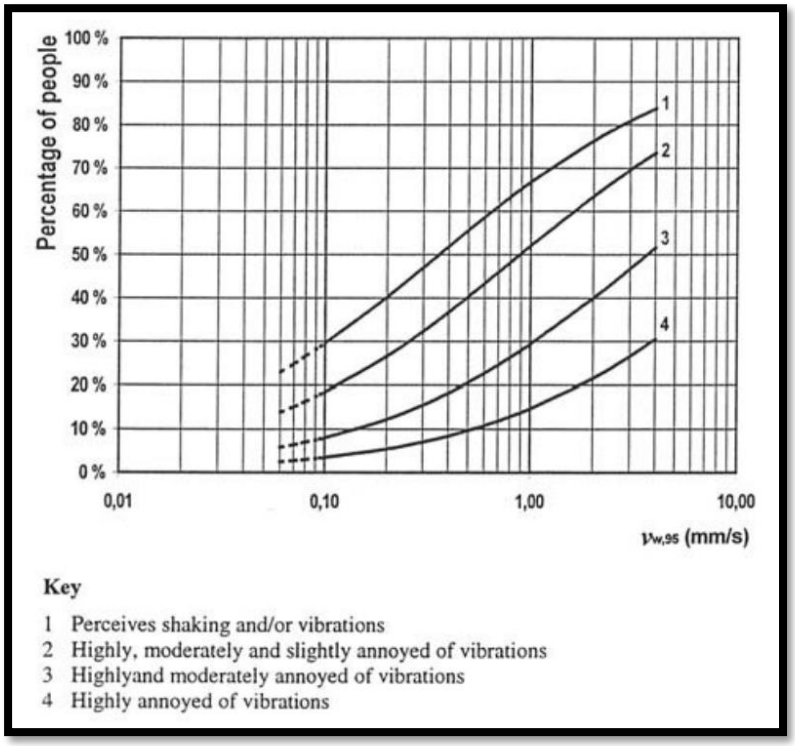
Toetsing zal plaatsvinden voor zowel de dag-, avond- en nachtperiode aangezien het railverkeer plaatsvindt in deze perioden.

2.2. Streefwaarden uit de SBR-B

De normen voor trillingen uit de SBR-richtlijn B worden streefwaarden genoemd en zijn dus geen grenswaarden. De reden hiervoor is omdat de beoordeling van trillingshinder een subjectief element bevat. De ondervonden hinder is o.a. afhankelijk van de gevoeligheid van het individu voor trillingen, de omstandigheden waaronder de trillingen worden ondervonden (slapen, werken, studeren), de tijdsduur en tijdsstip, type trillingen, gewenning enz.

De streefwaarden uit de SBR-B zijn zodanig gekozen dat slechts een klein percentage (ca. 5%) hinder zal ondervinden uitgaande van de "gemiddelde" gevoelsdrempel van 0,1 [mm/s]. Bij de prognose van trillingen wordt meestal een veiligheidsfactor gehanteerd d.w.z. voor 95% van de trillingsprognoses zal het werkelijke niveaus onder deze waarde liggen.

De SBR richtlijn B is derhalve nogal conservatief. Onderstaande grafiek geeft een indruk van het percentage gehinderden als functie van de trillingssterkte.



Grafiek 1: Blootstellingseffect curve voor trillingen van verkeer

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat bij 0,1 [mm/s], ca. 30% van de mensen trillingen voelen, waarvan ca. 4% aangeeft ernstige hinder te ondervinden.

Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte door railverkeer gedurende langere tijd kan bij overschrijding van de streefwaarden aanvullend gebruik worden gemaakt van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in tabel 2.

Tabel 2: Hinderkwalificatie voor railverkeer volgens SBR-richtlijn B.

V_{max} [-]	Hinderkwalificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1 - 0,2	Weinig hinder (bestaande situatie)
0,2 - 0,8	Matige hinder
0,8 - 3,2	Hinder
> 3,2	Ernstige hinder

Het accepteren van (matige) trillingshinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie.

In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen.

Alleen ernstige hinder(V_{max} > 3,2) is niet toelaatbaar.

De uiteindelijke afweging omtrent de acceptatie van de overschrijding van de streefwaarde wordt gemaakt door de gemeente om een beperkte mate van trillingshinder te accepteren conform de afwegingen uit SBR richtlijn B. De ernst van de overschrijding kan beoordeeld worden aan de hand van de streefwaarden voor bestaande situaties.

Tabel 3: Streefwaarden herhaald voorkomende trillingen gedurende langere tijd voor bestaande situaties

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
onderwijs en kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
bijeenkomst	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

In bijlage 3 zijn termen en definities gegeven relaterend aan de SBR-richtlijn B.

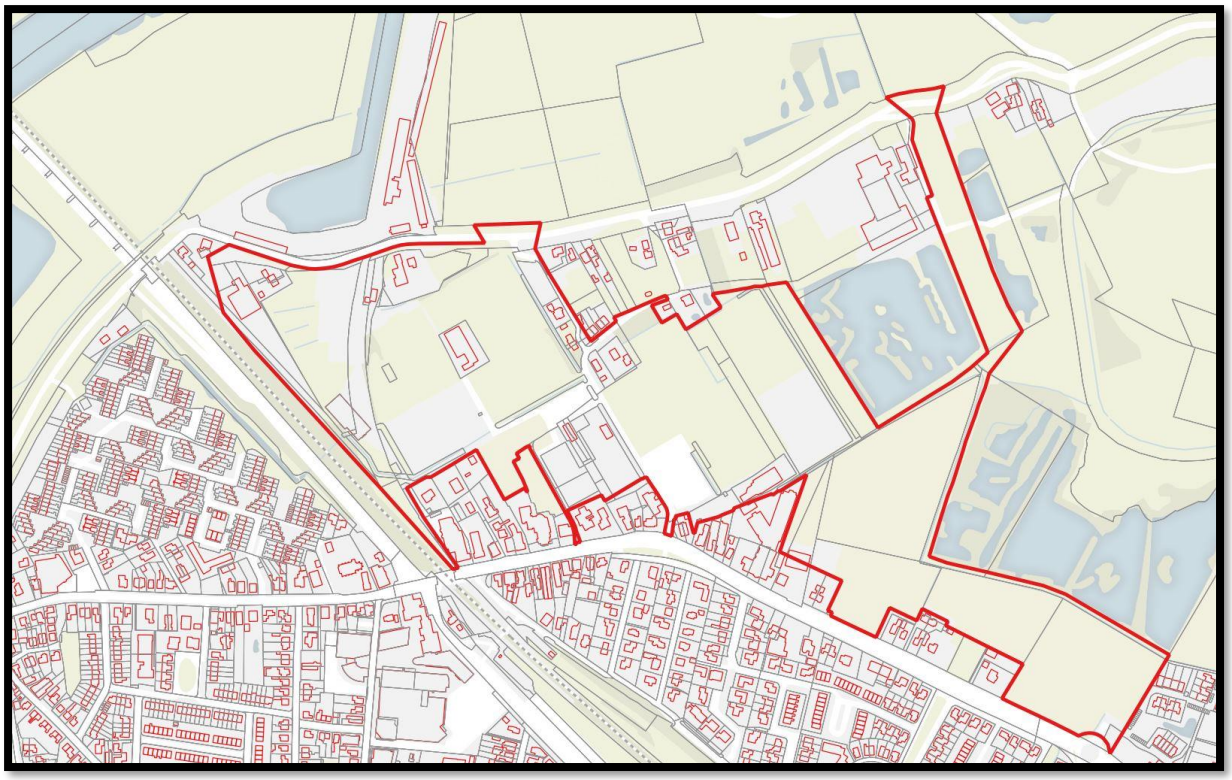
3. METINGEN EN BEREKENING

3.1. Situatie en uitgangspunten

De opdrachtgever wil mogelijke trillingshinder ten gevolge van treinverkeer voor bewoners van de nieuwe woningen voorkomen.

Uit de openbare gegevens uit o.a. www.ns.nl blijkt dat op dit traject het spoorverkeer bestaat uit reizigerstreinen - namelijk sprinters en intercity's - en goederentreinen.

In figuur 1 is de nieuwe situatie weergegeven.



Figuur 1: Globale ligging van het plangebied.

Baan

Naam | Coördinaten | Eigenschappen | Intensiteit | Emissie

Uurintensiteiten per categorie per periode

Cat.	Q(Dag	F(Dag)	Q(Avo	F(Avo	Q(Nac	F(Nach	Vdoor	Vstop	Corr.
1	0,07	--	0,02	--	0,06	--	--	--	--
2	0,08	--	--	--	--	--	--	--	--
3	22,50	--	15,27	--	22,22	--	--	--	--
4	0,11	--	0,10	--	0,14	--	--	--	--
5	0,70	--	0,48	--	0,68	--	--	--	--
6	3,00	--	0,82	--	0,68	--	--	--	--
7	1,00	--	--	--	--	--	--	--	--
8	--	--	--	--	0,08	--	--	--	--
9/1	6,58	--	5,84	--	1,50	--	--	--	--
9/2	26,32	--	23,36	--	6,00	--	--	--	--

Baan

Naam | Coördinaten | Eigenschappen | Intensiteit | Emissie

Uurintensiteiten per categorie per periode

Cat.	Q(Dag	F(Dag)	Q(Avo	F(Avo	Q(Nac	F(Nach	Vdoor	Vstop	Corr.
1	0,07	--	0,08	--	0,06	--	--	--	--
2	0,02	--	0,17	--	--	--	--	--	--
3	24,21	--	29,21	--	17,70	--	--	--	--
4	0,12	--	0,18	--	0,12	--	--	--	--
5	0,69	--	0,80	--	0,51	--	--	--	--
6	2,84	--	1,28	--	0,94	--	--	--	--
7	0,18	--	2,46	--	--	--	--	--	--
8	--	--	--	--	0,16	--	--	--	--
9/1	6,60	--	5,56	--	1,50	--	--	--	--
9/2	26,40	--	22,24	--	6,00	--	--	--	--

Figuur 2: Uur intensiteiten treinen per categorie noord en zuid spoor

Het plangebied betreft woningen. Het aantal woningen, de positie, het funderingssysteem en de vloertypen van de woningen zijn in de onderwerpelijke situatie nog niet bekend.

In de berekeningen wordt uitgegaan van “op palen gefundeerd” aan de vloervelden en het gewicht van de gebouwen worden eisen gesteld welke afhankelijk zijn binnen welke trillingszone deze gebouwen gerealiseerd worden.

3.2. Trillingsmetingen

Onbemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op het terrein ten noorden van het spoor met twéé tri-axiale trillingsopnemers waarvan één gemonteerd zijn op een 1 meter lange metalen staaf die in de grond zijn gedreven en één op het maaiveld op een betontegel. Dit is een beproefde methode om laagfrequente trillingen in de bodem te kunnen meten. Een derde trillingsmeter is gebruikt om de mate van de overdracht van trillingsgolven in de grond te beoordelen.

Tijdens de metingen was het terrein niet in gebruik en niet toegankelijk voor mensen.

De meetposities liggen op een denkbeeldige lijn loodrecht uit het spoor op de volgende meetposities:

- Op een afstand van ca. 34 meter (meetpositie 1, ten noord van het spoor);
- Op een afstand van ca. 55 meter (meetpositie 2, ten noorden van het spoor);

Figuur 3: Overzicht van de meetposities in het plangebied.

Op basis van de meetresultaten op de meetposities 1 en 2 zijn de trillingsniveaus met hulp van de empirische formule van Barkan op verschillende afstanden vanaf het spoor berekend. De resultaten van het onderzoek dienen een indicatief antwoord te geven op de vraag of er kans op hinder is in de toekomstige gebouwen op verschillende afstanden van het spoor. Doel van de prognoseberekeningen is om trillingszones te bepalen.

Hiertoe is een frequentie afhankelijke overdrachtsfunctie gebruikt voor de overdracht van de trillingen in de bodem naar de fundering en van de fundering naar de vloer.

In figuren 4 t/m 5 zijn de meetposities 2 en 3 weergeven.

Figuur 4: Foto van meetpositie 1 in het terrein, ten noorden van het spoor.

Figuur 5: Foto van de geofoon op meetpositie 2.

In de onderhavige situatie is ervoor gekozen om gedurende ca. één representatieve week de trillingen te meten waardoor een goed beeld van de lokale situatie is verkregen. In de meetpunten wordt in één verticale en in twéé onderling loodrechte horizontale richtingen gemeten.

De onbemande metingen zijn uitgevoerd van dinsdag 27 juni 2023 in de ochtend t/m de ochtend van maandag 3 juli 2021. Op de meetlocatie zijn in drie richtingen (één verticaal en twéé horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De z-richting is verticaal, de x-richting loopt parallel aan de spoorbanen. Bij de metingen is gebruikgemaakt van de in tabel 4 vermelde meetapparatuur. Deze meetapparatuur voldoet aan de specificaties uit de SBR-B richtlijn.

Tabel 4: Gebruikte meetapparatuur.

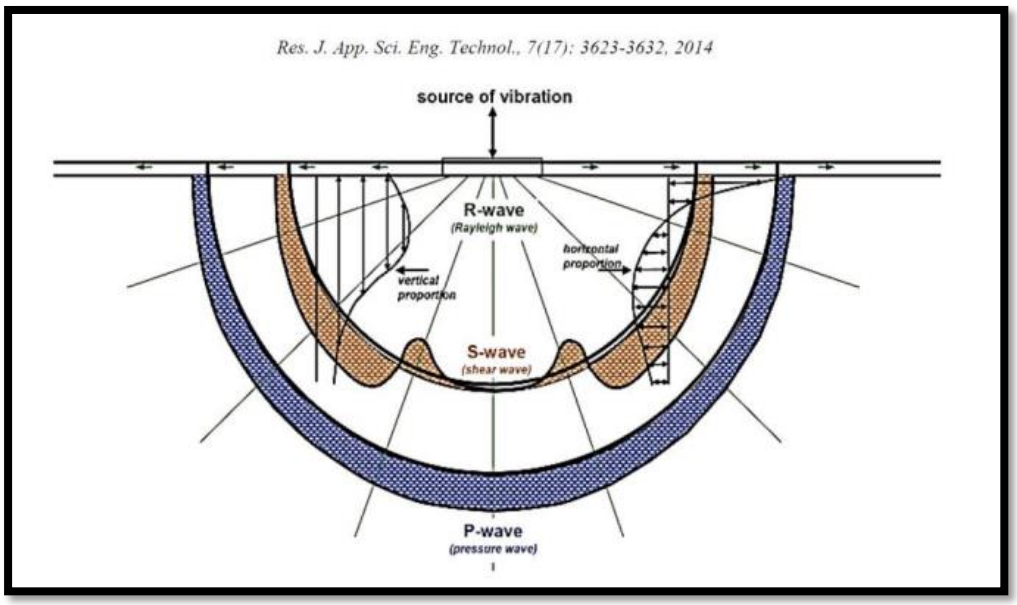
Omschrijving	Merk	Type
Trillingsanalyzer	Profound	Vibra SBR +
3-D geophoon	Profound	Vibra SBR +
Wireless 8g Vibration Meter	AV-Consulting/Convergence Instruments	SBR/DIN-4150
Trillingskalibrator	MFF	VC21D

De meetapparatuur is voor en na de metingen gekalibreerd. Voorafgaande aan het onderzoek is de apparatuur en meetketen gekalibreerd in ons lab https://calibration-lab.com/

3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem

Trillingen worden bepaald door een snelheidsamplitude in combinatie met de dominante frequentie. Door de trillingsbron ontstaan trillingen die onder te verdelen zijn in drie componenten namelijk Rayleighgolf (67% van de energie), schuifgolf (26% van de energie) drukgolf (7% van de energie).

De Rayleigh golf is bepalend voor het treffen van maatregelen in het overdacht gebied in deze situatie. Rayleigh golven zijn het belangrijkst voor de excitatie van gebouwen, deze worden ook wel oppervlakte genoemd golven omdat ze aan het oppervlak van de bodem voorkomen. In ondergrondse lijnen, Rayleigh golven zijn ontstaan uit de grondoppervlakreflectie van P- en S-golven. Rayleigh-golven kunnen alleen voorkomen in een homogeen half-open medium of in meer gecompliceerd maar met een enkele schijnbare snelheid als functie van de frequentie. Naast de bovengenoemde golven zijn er in theorie nog andere golven mogelijk.



Figuur 6: Diverse trillingsgolven; drukgolf, schuifgolf en Rayleigh golf

Op basis van de meetresultaten is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan bepaald en dus zijn de trillingsniveaus in de bodem op verschillende afstanden van het spoor berekend.

Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan:

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

waarin:

$V(r)$	amplitude trillingssnelheid op een afstand r van de bron
$V(r_0)$	amplitude trillingssnelheid op referentie afstand r_0 van de bron
r	afstand van bron tot ontvanger [m]
r_0	referentie afstand tot de bron [m]
n	parameter voor beschrijving geometrische uitbreiding [-]
α	parameter voor beschrijving van de materiaaldemping [1/m]

De geometrische demping – *n* in de formule - is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven (n = 0,5) is de geometrische demping kleiner dan voor de P- (pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P en S-golf de grootste energie (>67%).

Uit het boormonsterprofiel beschikbaar op DINOloket alsmede uit waarnemingen in situ van de auteur van dit onderzoek blijkt dat op de locatie de bodem kleiachtig is.

Figuur 7: Bodemprofiel volgens DINOLoket

Daarom is voor de prognoseberekening de materiaaldemping – α in de formule – bepaald op α = 0,02 [1/m] en α = 0,02 [1/m] voor de lagere frequenties.

De berekende overdracht van de trillingen in de bodem vanaf meetpositie nr. 1 tot meetpositie nr. 2 komt overeen met de gemeten waarden in situ. Zoals verwacht worden de trillingsgolven met een dominante frequentie >30 Hz snel gedempt in de bodem. Daarom zijn in de berekeningen de laagfrequente trillingsniveaus beschouwd.

3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen

Trillingen worden door de bodem overgedragen naar de gebouwconstructie. De mate van trillingsoverdracht hangt af van de wijze van funderen alsmede de massa en de stijfheid van het gebouw. Maatgevend voor de toetsing is de optredende trillingssterkte in het vloerveld. De constructiewijze, het materiaal en de overspanning van een vloer alsmede de belasting bepalen de 'eigenfrequenties' of resonantie frequenties van een vloerveld en de gevoeligheid voor trillingen.

Uit het onderzoek blijkt dat de op de meetposities de meeste relevante opgetreden trillingen met betrekking tot het spoorverkeer een dominante frequenties hebben vanaf 5 Hz tot 10 Hz; zie bijlage 1. Deze frequenties komen overeen met de bekende spectra van trillingen afkomstig van treinverkeer, uit de literatuur en uit onze meetervaring.

Fundering en gebouwconstructie
Bij de overgang van bodem naar gebouwfundatie treedt een verzwakking op van trillingen. Deze verzwakking wordt groter bij toenemende frequentie, waarbij de totale verzwakking zal afhangen van de spectrale verdeling. Voor lichte gebouwen zal de verzwakking minder zijn dan voor zwaar gebouw. In de prognose is rekening gehouden met de spectrale overdrachtswaarden uit tabel 5 die zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 5: Trillingsoverdracht van bodem naar gebouw, verzwakking in dB.

Gebouw	Frequentie in Hz				
	4	8	16	32	63
Licht gebouw op staal	0	0	-1	-3	-8
Licht gebouw op palen	-2	-2	-3	-7	-12
Zwaar gebouw (Utiliteitsbouw)	-6	-6	-7	-9	-14

In de onderwerpelijke situatie is het gebouwtype voor de nieuwbouw als "gebouw op palen" beschouwd. Tussen zone 1 en 2 is gerekend met zware gebouwen met 4-5 bouwlagen, tussen zone 2 en 3 met "minder zware" grondgeboden woningen.

Bij de dominante frequenties van ca. 4 en 8 Hz is de verzwakking 6 dB voor zware onderheide gebouwen met meerdere verdiepingen, dit is een factor van ca. 0,5 ($H_{f,xy}$ en $H_{f,z}$ in de berekeningen), voor onderheide grondgebonden woningen is de verzwakking 2 dB, dit een factor van ca. 0,8.

Vloerconstructie
Door resonanties zal de trillingssterkte in het midden van een vloerveld hoger zijn dan aan de randen. Voor de mate van resonantie zijn de demping en de ligging van eigenfrequenties van belang. Deze zijn afhankelijk van de constructiewijze, het materiaal en de vloeroverspanning.

Voor niet stationaire trillingen, zoals bij railverkeer, is de verwachting dat de versterkingsfactoren wat lager zullen uitvallen dan vermeld in tabel 5. Dit geldt met name wanneer de afstand tot de trillingsbron klein is en de aanstoting slechts over een beperkt deel van de draagconstructie plaatsvindt. In de prognoses is gerekend met de gemiddelde vloerveldversterking als functie van de frequentie. In tabel 6 wordt de overdracht van gebouw naar vloer voor twee vloertypen gegeven. Deze waarden zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 6: Gemiddelde vloerveldversterking als functie van de frequentie.

Vloertype	Frequentie in Hz				
	4	8	16	32	63
Grote overspanning (3 - 5 Hz)	10	8	7	5	4
Kleine overspanning (12 Hz - 16 Hz)	4	8	10	7	5

Voor zware vloeren (tussen zone 1 en zone 3) met een kleine overspanning is bij ca. 4 Hz een versterking van ca. 4 dB (zie verdere randvoorwaarden) en na zone 3 is gerekend met vloeren met grote overspanning met een versterking van ca. 4-8 dB.

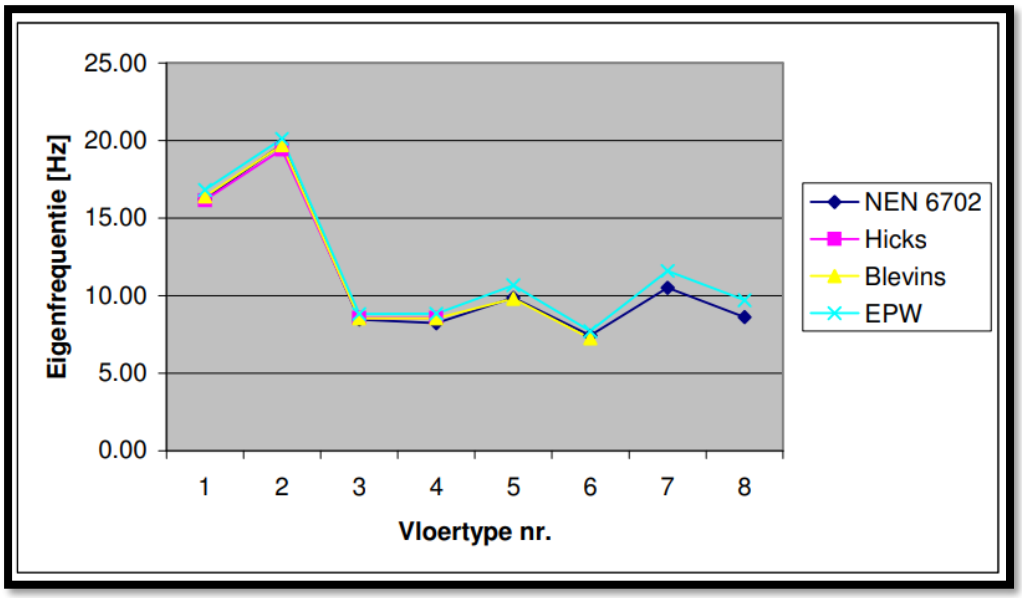
De opslingering van de vloeren vanwege de (eerste) eigenfrequentie van de vloer kan worden benaderd met de volgende formule.

$$H\,123v,z = \frac{\sqrt{\left(1 + 4\varsigma^2 * \left(\frac{f}{fe}\right)^2\right)}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{fe}\right)^2\right)^2 + 4\varsigma^2 * \left(\frac{f}{fe}\right)^2)}}$$

Waarbij:

$H_{123v,v}$	de verticale opslingeringsfactor
Fe	eigenfrequentie van de vloer
ς	dempingmaat van de vloer

De eigenfrequentie van een bepaalde vloer kan met verschillende formules worden berekend. Het blijkt dat de afwijking in de uitkomsten gering zijn. Zie hiertoe onderstaande figuur 8. Op de verticale-as staat de laagste eigenfrequentie geplot



Figuur 8: Vergelijking berekening eigenfrequenties met verschillende formules (bron TU/e Vd Mark)

Voor het voorliggende onderzoek is gebruik gemaakt van de Hicks formule:

$$f_1 = \frac{k_n}{2\Pi}\sqrt{\frac{El}{mL^4}}$$

f_1 = eerste eigenfrequentie	[Hz]
k_n = constante (voor scharnierend opgelegde vloer is $k_n = \pi^2$)	[-]
E = elasticiteitsmodulus	[N/m^2]
I = stijfheid	[m^4]
m = massa	[kg/m]
L = overspanning	[m]

In het plan is het van belang dat de vloeren in het gebouw de trillingen t.g.v. het spoor niet ernstig gaan versterken doordat deze vloeren worden aangestoten in hun eigenfrequentie.

Hoe meer de eigenfrequentie van een vloer in de buurt komt van deze frequenties hoe sterker de vloer wil gaan meetrillen waardoor er een versterking van de trillingen optreedt (vloer-resonantie).

Door resonanties zal de trillingssterkte in het midden van een vloerveld hoger zijn dan aan de randen. Voor de mate van resonantie zijn de demping en de ligging van eigenfrequenties van belang. Deze zijn afhankelijk van de constructiewijze, het materiaal en de vloeroverspanning.

Voor trillingen in de vloer t.g.v. treinpassages wordt gerekend met stochastische trillingen. De vloer trilt meestal in zijn eigenfrequentie, dus c_F= 0.8, $V_{eff,max,stoch}$ = 0,56 * V_{top}.
Voor niet stationaire trillingen, is de verwachting dat de versterkingsfactoren wat lager zullen uitvallen dan vermeld in tabel 6.

In tabel 10 is een prognose gegeven van de opslingerfactor die in onderhavige situatie verwacht worden bij bepaalde overspanningen en type vloeren. Indien de vloer in beide opleggingen in fase wordt geëxciteerd dan is de responsie groter dan wanneer deze enigszins uit fase wordt geëxciteerd. Als Δt het tijdverschil is tussen de toppen in de bodemgolven bij de opleggingen, dan kan is overdrachtsverhouding als volgt.

$$H(n,\Delta t) = \frac{\cos(\Delta t * fe * \pi)}{\sqrt{(1-n^2)^2 + 4\zeta^2 * n^2}}$$

Uitgegaan is dat in fase wordt geëxciteerd als worst case scenario.

Cumulatie overdrachtsprognose:
De cumulatieve overdrachtsfactoren Hfv zijn gegeven in tabel 7.

Tabel 7: Cumulatieve overdrachtsfactoren Hfv per zone.

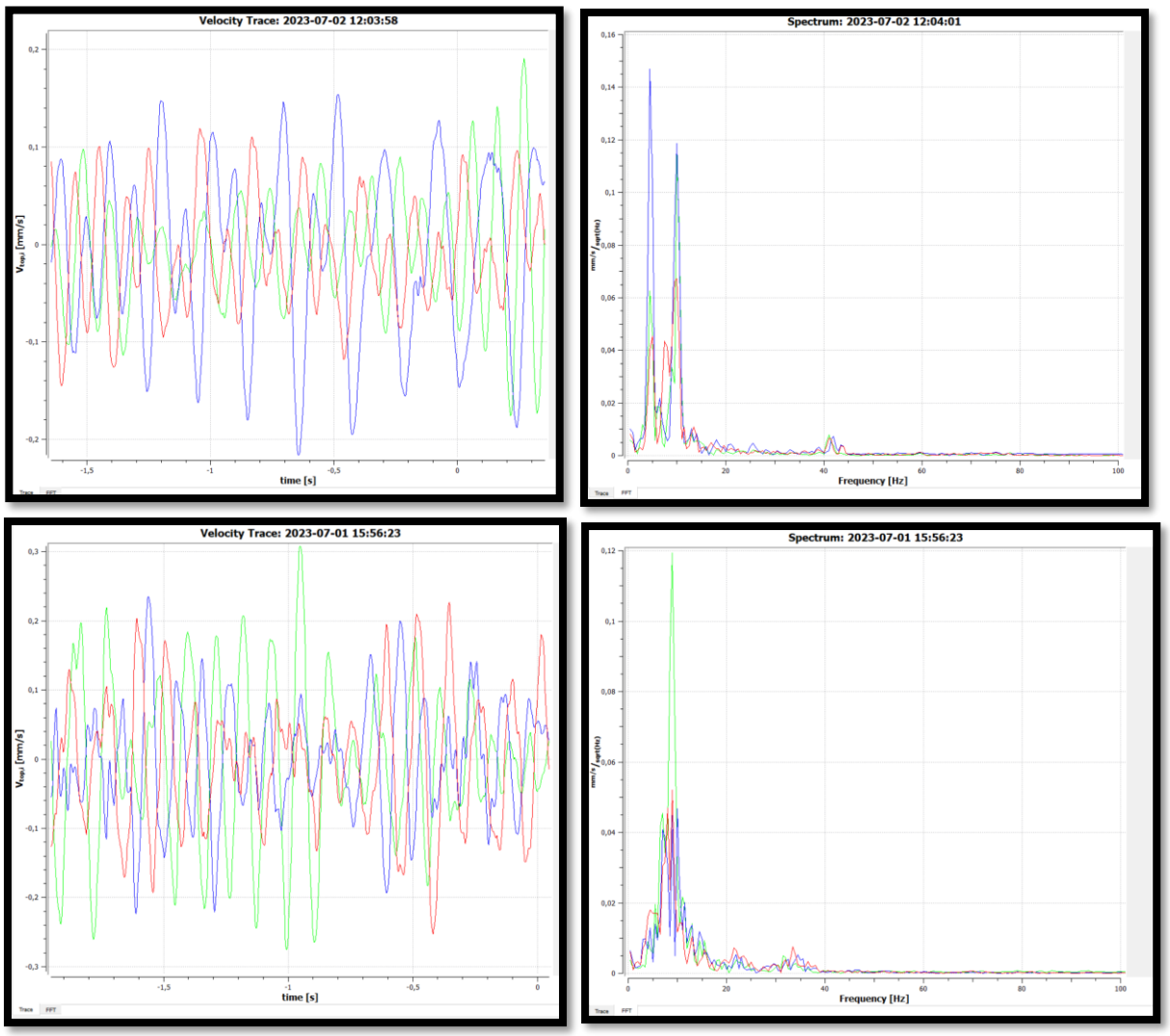
	Vanuit buitenste rails
Hfv= 2,50	Na zone 3 op 105 meter
Hfv=1,28	Na zone 2 op 65 meter
Hfv=0,80	Na zone 1 op 40 meter

4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE

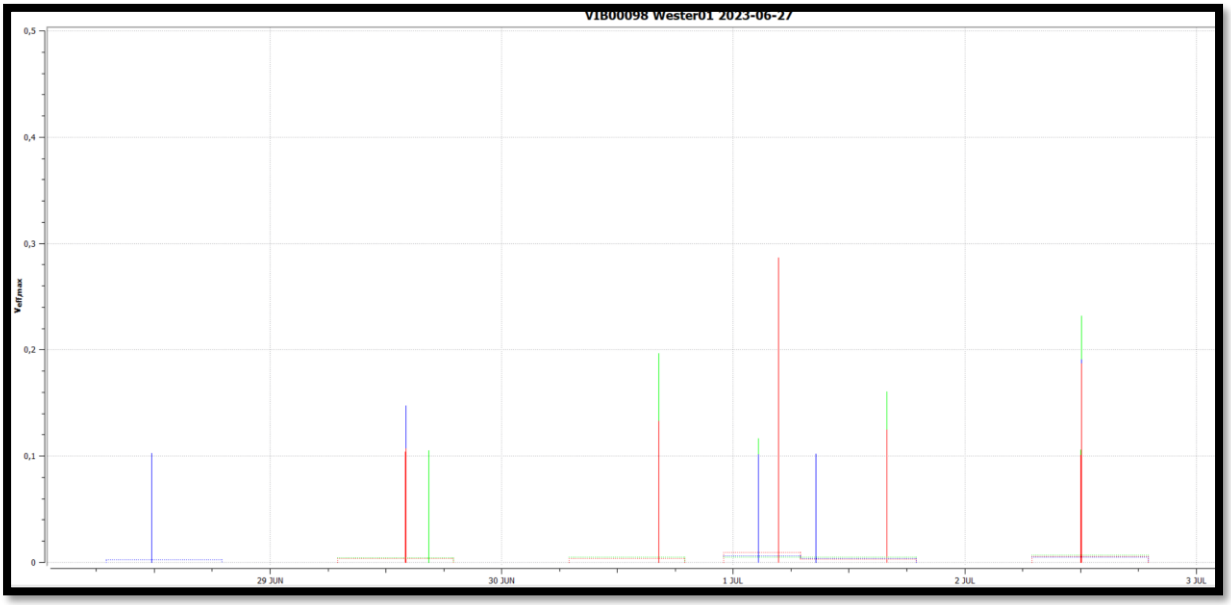
4.1. Meetresultaten

Gedurende de meetweek hebben stoortrillingen plaatsgevonden ten gevolge van o.a. de installatie en de-installatie van de instrumenten; deze zijn in de resultaten geïdentificeerd en geëlimineerd. De volledige meetgegevens op beide meetposities inclusief dominante frequenties, traces en spectra zijn in bijlage 1 opgenomen.

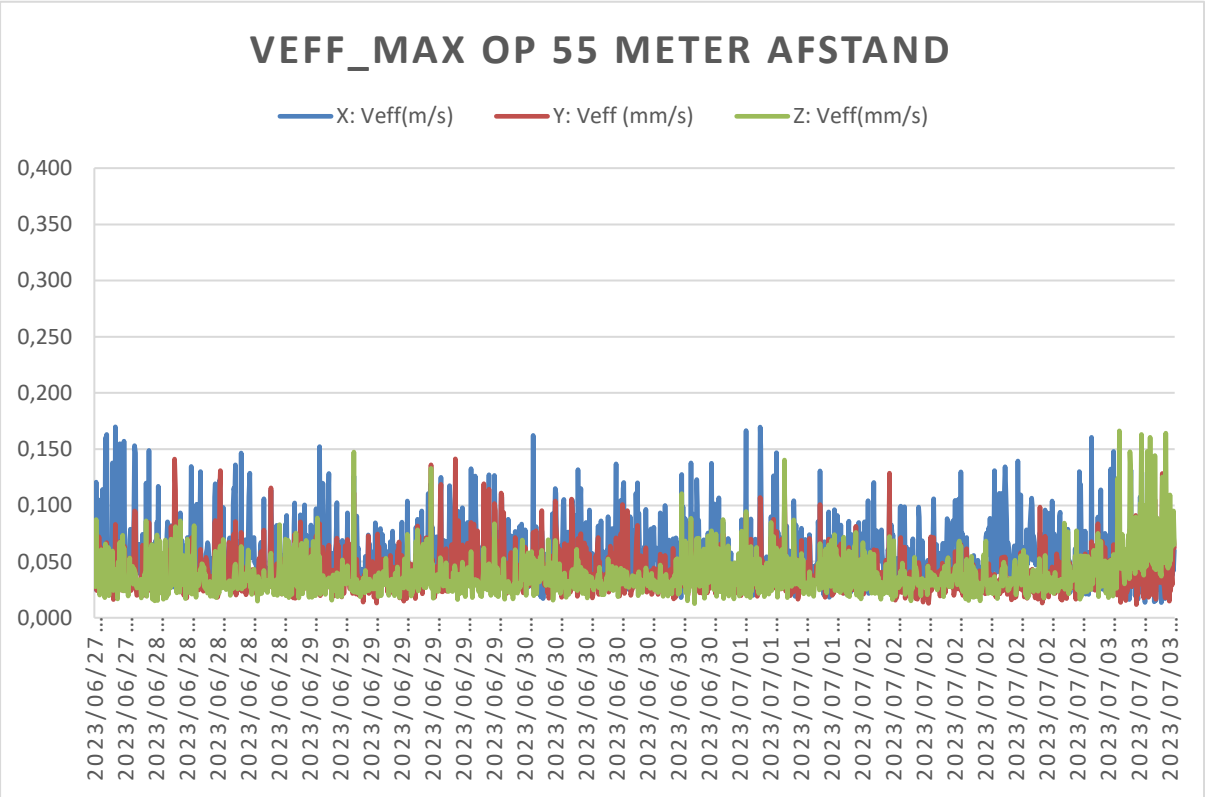
In figuren 9 t/m 11 zijn de spectra van de meeste relevante trillingen (hoogst laagfrequente opgetreden trillingsniveaus in de nachtperiode) vanwege railverkeer weergegeven, gemeten op meetpositie 1 en 2.



Figuur 9: Trace en Spectrum op meetpositie 1 van twee van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 10: Veff_max op meetpunt 1, save level afgesteld op Veff,max = 0,1 [mm/s]



Figuur 11: Veff_max op meetpunt 2, save level afgesteld op Veff,max = 0,05 [mm/s]

Op basis van de meetresultaten op positie 1 en 2 is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan bepaald en dus zijn de trillingsniveaus in de bodem ter plaatse van de woningen op verschillende afstanden van het spoor berekend opgedeeld in zones waarbinnen randvoorwaarden worden gesteld aan de te bouwen woningen om te kunnen voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-B.

4.2. Nauwkeurigheidsmarge metingen

Opgemerkt dient te worden dat de metingen slechts een momentopname zijn. De trillingsniveaus zijn o.a. afhankelijk van de spoorruwheid van het spoor en de rondheid van de wiel (dus onderhoud), bodemcondities en waterstanden, temperatuur en natuurlijk het gebruik van het spoor, snelheid type materieel en aantal bakken en de verkeersintensiteit op het spoor. Variaties in deze parameters kunnen makkelijk de resultaten met 30% beïnvloeden.

Trillingen kunnen ook uitgedrukt worden in decibels. De referentiegrootheid voor trillingssnelheid bedraagt V_0 = 1nm/s (10^{-9}). In de praktijk kunnen de waarden afwijken van de meetresultaten, dit wordt uitgedrukt in een bepaalde onzekerheid. Voor de voorliggende metingen wordt deze onzekerheid ingeschat op ± 2 dB.

5. MOGELIJKE MAATREGELEN

Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (spoorweg), een medium (grond) dat de trillingen doorgeeft, en een ontvanger (personen in de gebouwen). Trillingsreducerende maatregelen kunnen zijn:

1. Bij de bron;
2. In het medium (bodem);
3. Bij de ontvanger.

Een indicatief overzicht van de mogelijke maatregelen voor nieuwbouw - inclusief kostprijs indicatie - is in tabel 10.4 van de "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen" te vinden (tabel 9).

Tabel 8: Overzicht van de mogelijke maatregelen voor nieuwbouw, tabel 10.4 van de "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen".

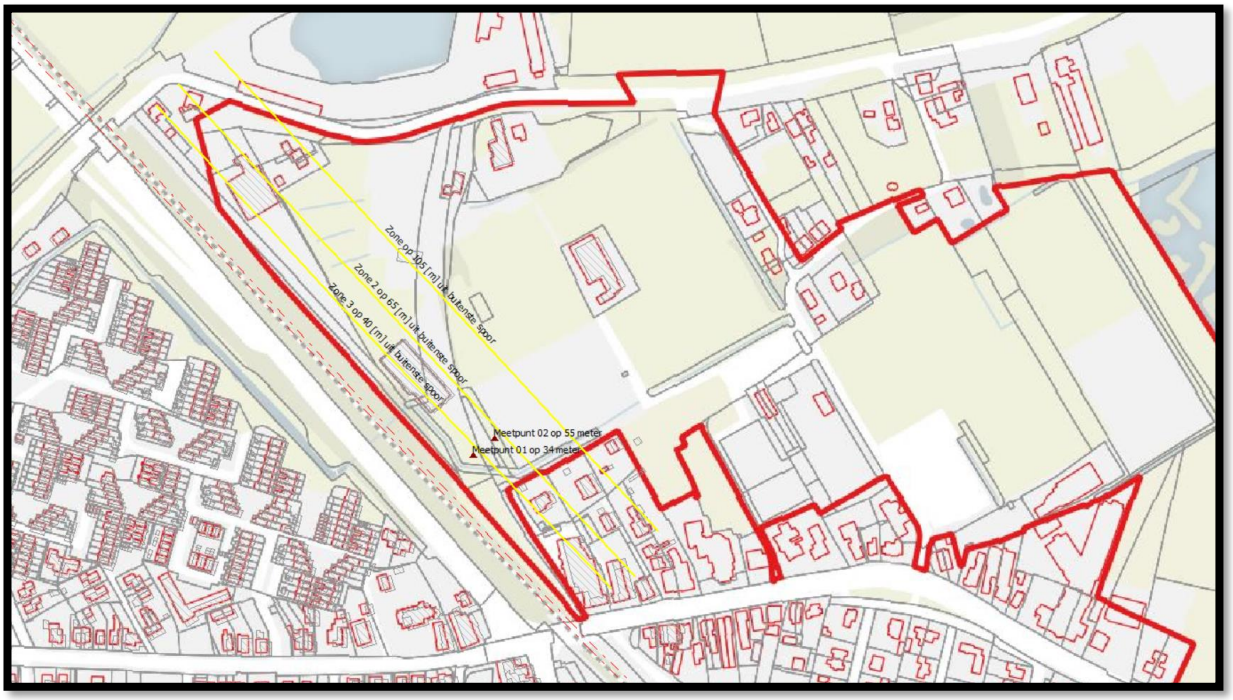
Maatregel	Wanneer reducerend effect?	Indicatie kostprijs*
aanpassen vloeren: dikte en/of overspanning	afhankelijk van de vloerafmetingen: opslingering voorkomen	+
paalfundering toepassen	overdracht van trillingen bodem naar fundering reduceren	++
wijzigen bouwmateriaal	massa en stijfheid toevoegen: verlaagt responsie van gebouw op trillingen (soms kan ook extra demping worden gerealiseerd)	+/++
fundering inpakken (bijv. EPS blokken aan buitenzijde fundering)	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+
fundering verzwaren en verstijven	voor hogere frequenties: trillingen worden niet of minder overgedragen van bodem naar fundering	+/++
afveren gebouw (trillingsisolerende blokken tussen fundering en bovenbouw) elastische blokken of stalen veren mogelijk	vermindering overdracht trillingen tussen fundering en bovenbouw: Effectief tot lage frequenties (circa 2 à 3 Hz is mogelijk)	++
vloeren loskoppelen van rest van constructie	vermindering overdracht trillingen van gebouwconstructie naar vloeren, wordt soms toegepast bij zware grote vloeren. Wordt bijvoorbeeld bij bioscopen en dergelijke toegepast	+
verstijvende elementen aanbrengen (bijvoorbeeld bij staalbouw extra muurelementen-> sterk afhankelijk van het gebouwontwerp)	vermindering overdracht trillingen vanuit bodem naar gebouw door verhoogde stijfheid van constructie.	+/++
locatiekeuze gebouw	afstand tussen gebouw en spoor verhogen, locaties nabij wissels, ES-lassen en kunstwerkovergangen zoveel mogelijk vermijden	0

*0 is nauwelijks extra kosten, + is beperkte extra kosten, ++ is behoorlijke extra kosten

6. PROGNOSES NA MAATREGELEN AAN DE WONINGEN

6.1. Hinder zones

Voor het plangebied zijn zones berekend waarbinnen voor het beperken van trillingen randvoorwaarde zijn gesteld, waarbij verwacht wordt dat aan de streefwaarden uit de SBR-B zal kunnen worden voldaan. De berekende zones zijn gegeven in onderstaande figuur.



Figuur 12 : Berekende hinderzones op het vloerveld in de woningen uitgaande van de cumulatieve overdrachtsfactoren zijn gegeven in tabel 7.

De resulterende trillingsniveaus zijn gegeven in tabel 9. De berekeningen zijn opgenomen in bijlage 2.

		Prognose resultaat op de vloer						
		Dag	Avond	A1/A2	Nacht	A1/A2	Vper	A3
	Vanuit buitenste rails	Vmax	Vmax	Norm	Vmax	Nom		Norm
Hfv= 2,50	Na zone 3 op 105 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,07@10Hz Z= 0,08@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,03@10Hz Z= 0,03@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,06@10Hz Z= 0,08@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05
Hfv=1,28	Na zone 2 op 65 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,09@10Hz Z= 0,11@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,05@10Hz Z= 0,05@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,08@10Hz Z= 0,11@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05
Hfv=0,80	Na zone 1 op 40 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,12@10Hz Z= 0,15@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,07@10Hz Z= 0,07@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,10@10Hz Z= 0,14@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05

Tabel 9: Geprognosticeerde trillingsniveaus op zonegrens in de woning uitgaande van de gestelde randvoorwaarden en cumulatieve overdrachtsfactoren uit tabel 7.

Uit tabel 9 blijkt dat verwacht wordt dat aan streefwaarden uit de SBR-B kan worden voldaan uitgaande van de gestelde randvoorwaarden voor het bouwen binnen de zones. De uiteindelijk trillingsniveaus in de woningen kunnen pas geprognosticeerd worden als de definitieve bouwvormen en materialisatie van de woningen bekend is.

De genoemde afstanden zijn bepaald vanuit de buitenste spoorrails.

6.2. Vloer resonanties

In het plangebied is het van belang dat de vloeren in de gebouwen de trillingen t.g.v. het spoor niet gaan versterken doordat deze vloeren worden aangestoten in hun eigenfrequentie. De gemeten dominante frequenties die in de bodem optreden t.g.v. het spoor staan vermeld in tabel 9. Hoe meer de eigenfrequentie van een vloer in de buurt komt van deze frequenties hoe sterker de vloer wil gaan meetrillen waardoor er een versterking van de trillingen optreedt (vloer resonantie).

Geadviseerd wort om binnen de trillingszones tot een afstand van 65 meter in noordelijke richting te zorgen dat de eigenfrequenties van de vloeren groter is dan > 20 Hz. Op grotere afstand > 15Hz. Een indicatie van de eigen frequentie van vloeren is gegevens in onderstaande tabel 10.

Tabel 10: Eigenfrequenties vloeren

Indicatieve tabel eigenfrequenties diverse vloerconstructies					
Eigenfrequentie	Breedplaatvloer	Breedplaatvloer	Breedplaatvloer	Breedplaatvloer	Breedplaatvloer
vlgns Hicks	200 mm beton	300 mm beton	400 mm beton	500 mm beton	600 mm beton
	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement
Overspanning	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend
5	13,85	20,78	27,71	34,64	41,56
7	7,07	10,6	14,14	17,67	21,71
9	4,28	6,41	8,55	10,69	12,83
Eigenfrequentie	Tunnelbouw o.v.	Tunnelbouw o.v.	Tunnelbouw o.v.	Tunnelbouw o.v.	Tunnelbouw o.v.
vlgns Hicks	200 mm beton	300 mm beton	400 mm beton	500 mm beton	600 mm beton
	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement	90mm zand+cement
Overspanning	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd
5	31,44	47,16	62,88	78,6	94,33
7	16,04	24,06	32,08	40,1	48,13
9	9,7	14,56	19,41	24,26	29,11
Eigenfrequentie	Holle Kanaalplaat h=360mm	Holle Kanaalplaat h=420mm	Holle Kanaalplaat h=480mm	Holle Kanaalplaat h=560mm	
vlgns Hicks	200+90mm afwerkvloer	260+90mm afwerkvloer	320+90mm afwerkvloer	400+90mm afwerkvloer	
	Druklaag 70mm	Druklaag 70mm	Druklaag 70mm	Druklaag 70mm	
Overspanning	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	
5	16,46	21,4	26,34	32,92	
7	8,4	10,92	13,44	16,8	
9	5,08	6,6	8,13	10,16	
	Niet mogelijk				
	(Wellicht) mogelijk berekenen bij bouwaanvraag				

Ingeklemde vloeren hebben een hogere eigenfrequentie dan scharnierend opgelegde vloeren.

7. RANDVOORWAARDEN BOUWEN VAN WONINGEN

7.1. Zone 0

Geadviseerd wordt om in het gebied tussen het spoor en zone 1 (afstand noordzijde 40 meter) niet te bebouwen.

7.2. Zone 1

Zone 1 is het gebied tussen zone 1 en zone 2.
Noordzijde gebied tussen 40 meter tot 65 meter vanuit het spoor

1. Op betonpalen gefundeerd.
2. Fundering bij voorkeur ingepakt in EPS100 met een dikte van ca. 300 mm (verloren bekisting).
3. Zware gebouwen (bijvoorbeeld beton tunnelbouw) met meer dan 4 bouwlagen met bijbehorende zware betonfundering.
4. Zware dikke betonvloeren bij voorkeur ingeklemd, zoals tunnelbouw vloeren met een 1e eigenfrequentie > 20 Hz. Geen holle kanaalplaat vloeren.
5. Korte overspanning afhankelijk van inklemming en vloerdikte (zie tabel 10 ter indicatie van dikte). Bij voorkeur ingeklemde massieve betonvloeren.
6. Zorgen voor dragende massieve wanden in twee richtingen (loodrecht op het spoor en evenwijdig aan het spoor) met verzwaarde gevelbalk.
7. Gevels massief uitvoeren, dus geen HSB of vliesgevels.

7.3. Zone 2

Zone 2 is het gebied tussen zone 2 en zone 3.
Noordzijde gebied tussen 65 meter tot 105 meter vanuit het spoor

1. Op betonpalen gefundeerd.
2. Fundering bij voorkeur ingepakt in EPS100 met een dikte van ca. 300 mm (verloren bekisting).
3. Grondgebonden woningen (of zwaarder) bijvoorbeeld 2 bouwlagen + kap met verzwaarde betonfundering.
4. Massieve betonvloeren zoals bijvoorbeeld breedplaatvloeren met een 1e eigenfrequentie > 20 Hz. Zie tabel 10 ter indicatie van dikte.
5. Korte overspanning afhankelijk van inklemming en vloerdikte (zie tabel 10 ter indicatie).
6. Dragende wanden massief uitvoeren.
7. Gevels bij voorkeur massief uitvoeren, maar HSB-gevels zijn mogelijk in combinatie met zware vloeren.

7.4. Zone 3

Zone 3 is het gebied na zone 3
Noordzijde gebied >105 meter vanuit het spoor

1. Geen bijzonder eisen t.a.v. trillingen van het spoor

7.5. Nauwkeurigheidsmarge berekeningen

Trillingen kunnen ook uitgedrukt worden in decibels. De referentiegrootheid voor trillingssnelheid bedraagt V_0 = 1nm/s (10^{-9}). In de praktijk kunnen de waarden afwijken van de berekende resultaten, dit wordt uitgedrukt in een bepaalde onzekerheid. Voor de voorliggende prognose berekeningen wordt deze onzekerheid ingeschat op ± 2 dB.

Van de bodem (en dus ook de fundering van het spoor) en het gebouw zijn de eigenschappen niet nauwkeurig bekend. Een zandlaag kan in verschillende periodes afgezet zijn, waardoor de stijfheid niet overal dezelfde is. In gebouwen geldt iets vergelijkbaars. Stijfheid van een gebouw kan in de tijd wijzigen, door bijvoorbeeld microscheuren, verbouwingen, zettingen van de fundering. Ten slotte moet nog aandacht worden besteed aan het ketengedrag van het systeem (spoor, grond, gebouw): In een berekening van dit systeem kan in elke stap een afwijking van de werkelijkheid optreden. Deze kleine afwijkingen kunnen later relatief grote gevolgen hebben als deze elkaar in de keten versterken.

De gerapporteerde rekenonzekerheid is gebaseerd op een standaardonzekerheid, vermenigvuldigd met een dekkingsfactor k = 2, welke overeenkomt met een betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 95%.

7.6. Disclaimer

De uiteindelijk te treffen maatregelen en de uiteindelijke trillingsniveaus in de woningen kunnen pas geprognosticeerd worden als de definitieve bouwvormen en materialisatie van de woningen bekend is. In het kader van de bouwaanvraag zal derhalve in detail gekeken moet worden door een deskundige of streefwaarden inderdaad gehaald worden.

8. CONCLUSIES

Uit de resultaten van het voorliggend onderzoek inzake hinder voor personen in gebouwen vanwege spoortrillingen kan het volgende worden geconcludeerd.

- De geprognosticeerde "hinderzone" ligt op 105 meter ten noorden van het spoor. Binnen deze zone wordt – zonder aanvullende maatregelen - ten minste matige trillingshinder geprognosticeerd vanwege railverkeer.

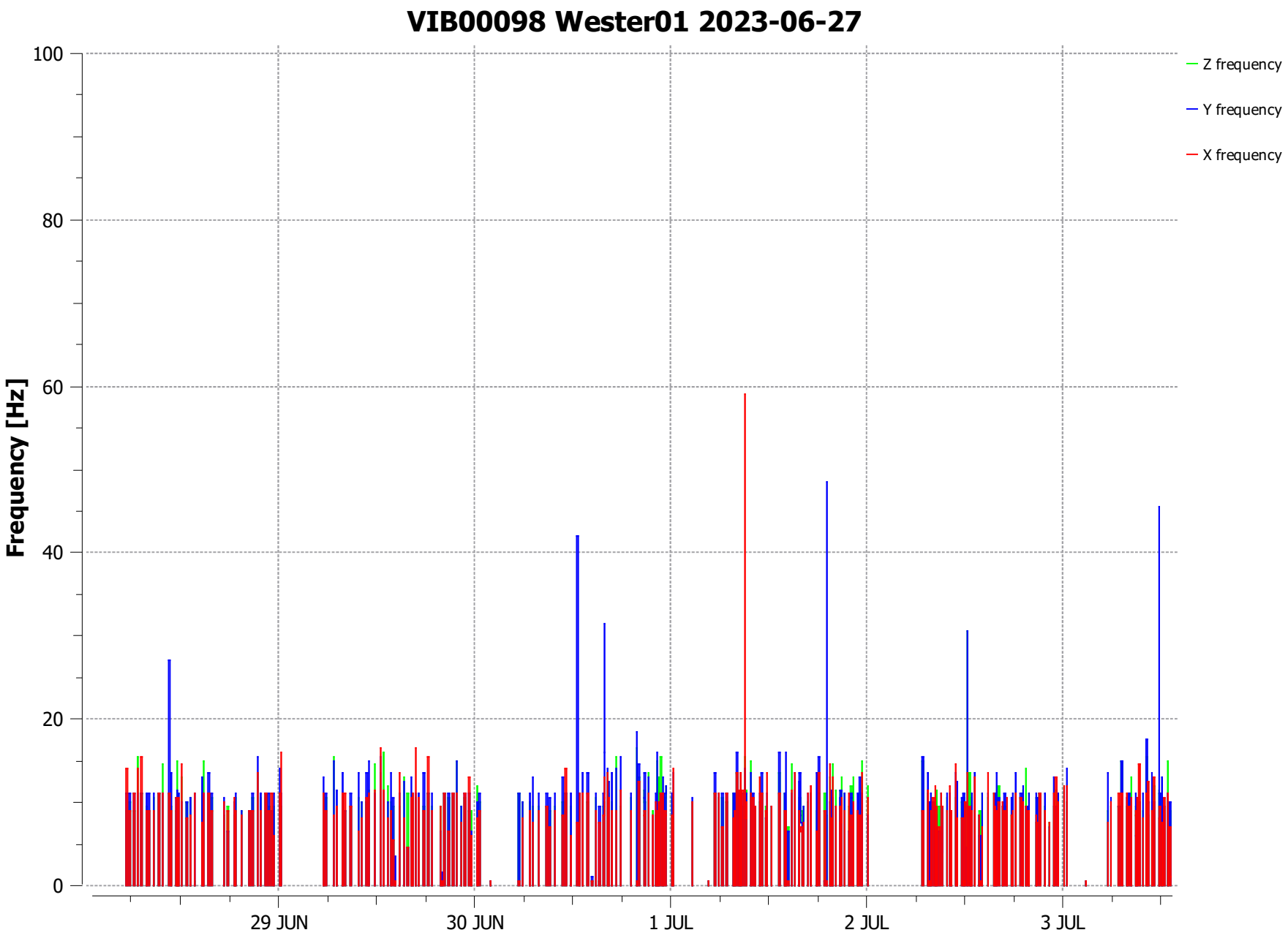
- Maatregelen aan de woningen binnen deze zone zijn derhalve aangewezen. Binnen de voornoemd gebied zijn een aantal zones gedefinieerd. Binnen deze zones zijn randvoorwaarden gedefinieerd waarmee het de verwachting is dat - als deze randvoorwaarden in acht worden genomen - er voldaan zal kunnen worden aan de streefwaarde uit de SBR-richtlijn B.

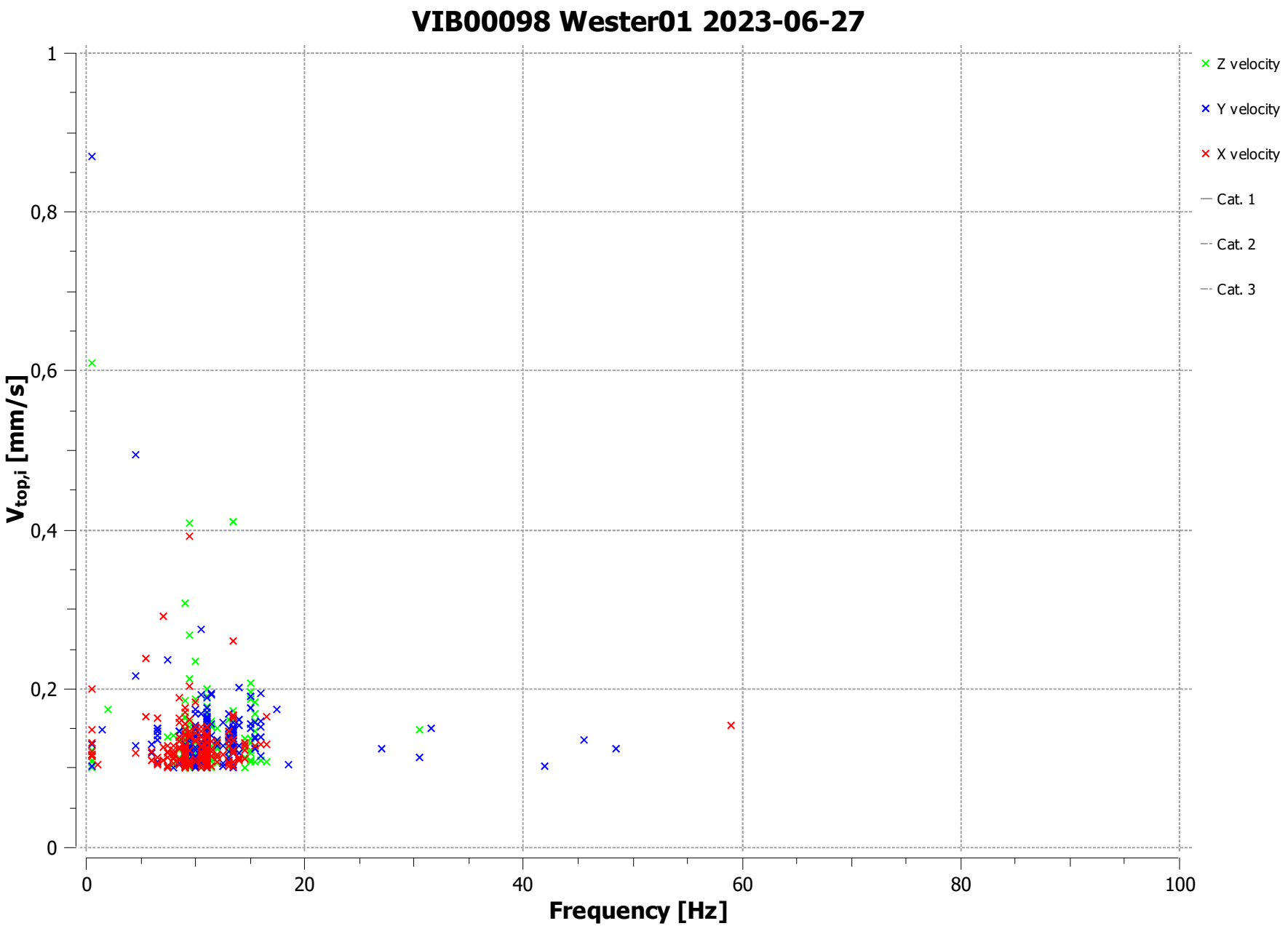
- De uiteindelijk te treffen maatregelen en de uiteindelijke trillingsniveaus in de woningen kunnen pas geprognosticeerd worden als de definitieve bouwvormen en materialisatie van de woningen bekend is. In het kader van de bouwaanvraag zal derhalve in detail gekeken moet worden door een deskundige of streefwaarden inderdaad gehaald worden.

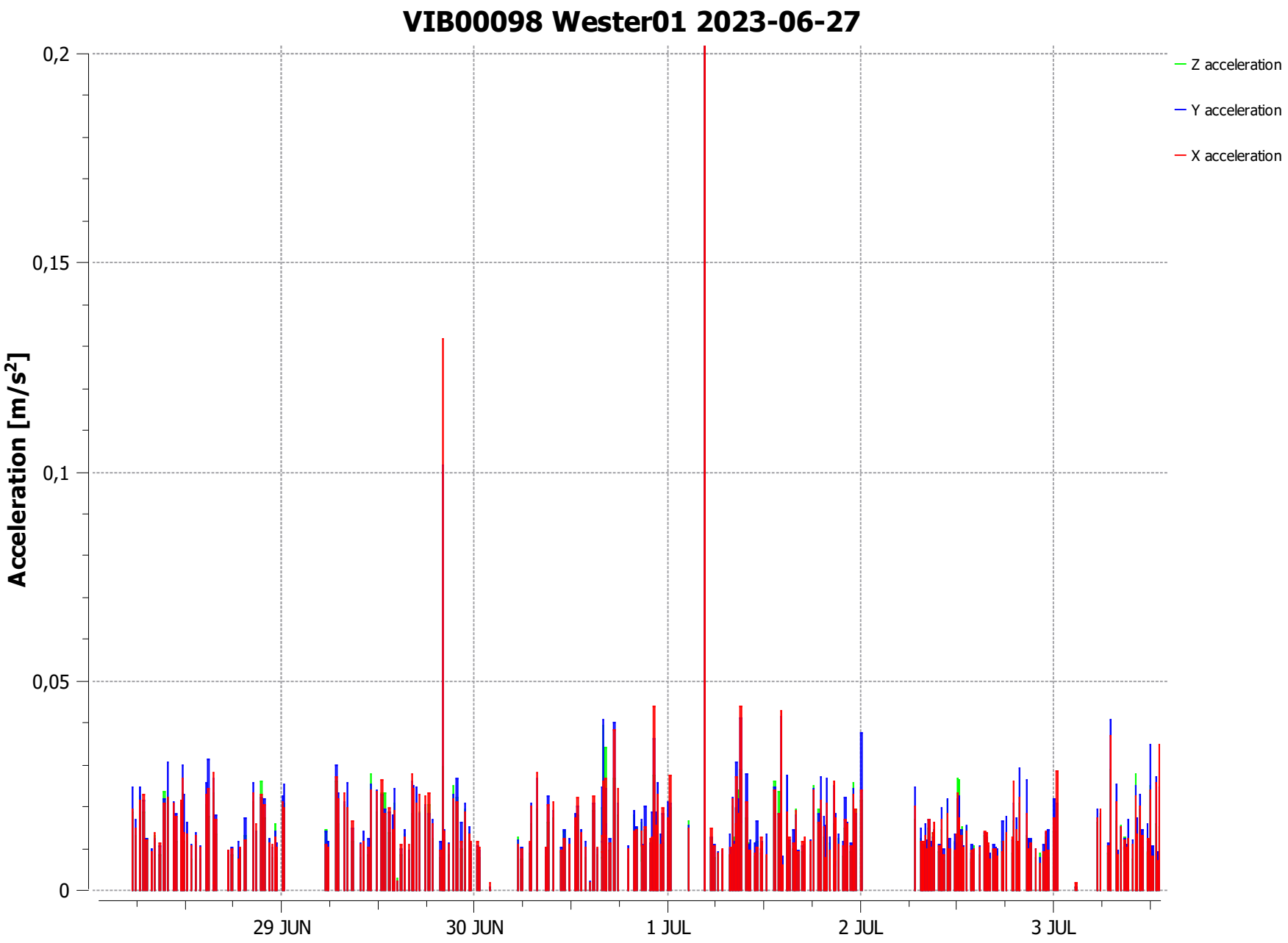
- Ten aanzien van de meetonzekerheid wordt verwezen naar hoofdstuk 4.2 en ten aanzien van de rekenonzekerheid naar hoofdstuk 6.7.

AV-CONSULTING B.V.
Raadgevende ingenieurs

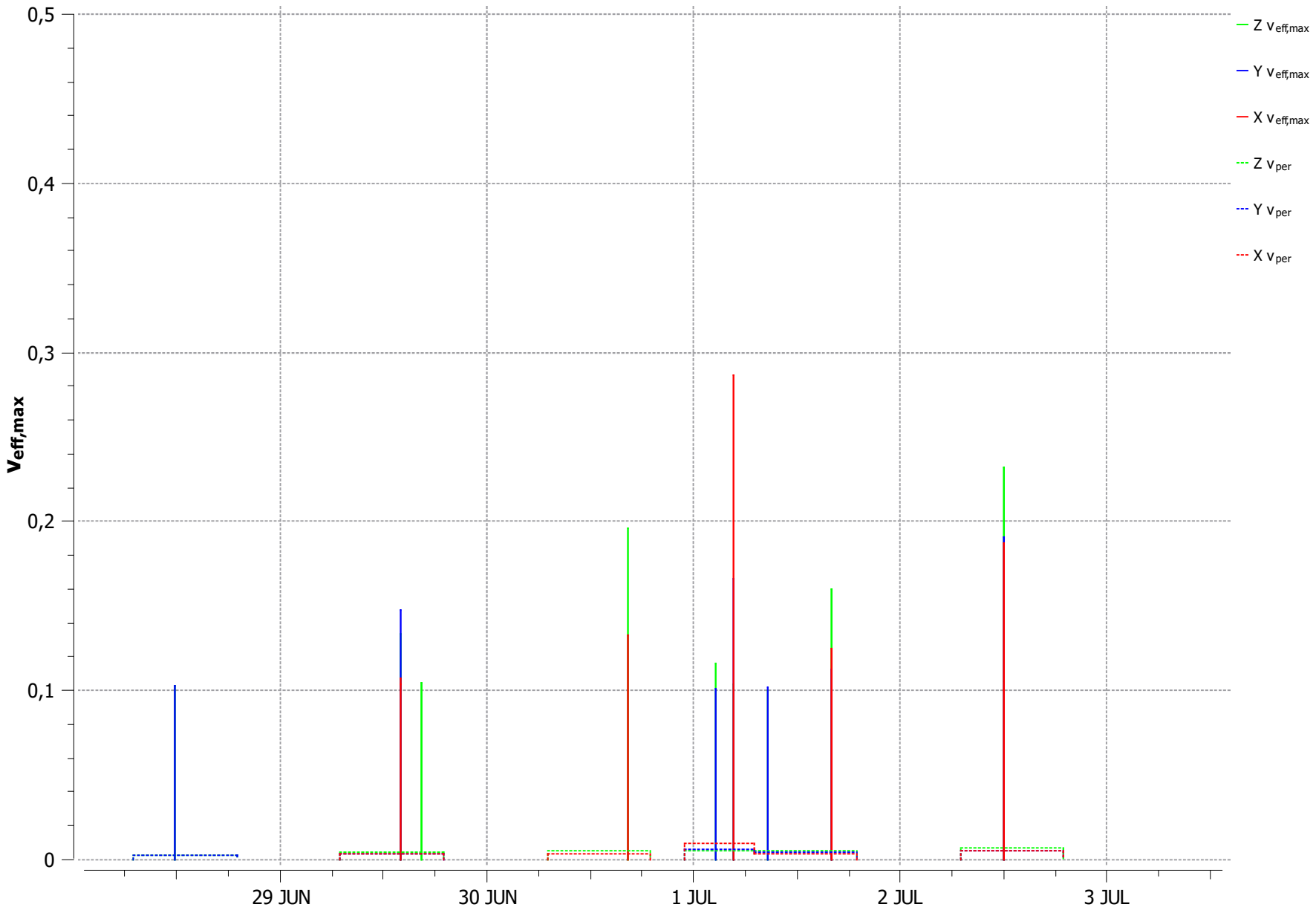
BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN


VIB00098 Wester01 2023-06-27
Frequency [Hz]
100
80
60
40
20
0
29 JUN
30 JUN
1 JUL
2 JUL
3 JUL
Z frequency
Y frequency
X frequency

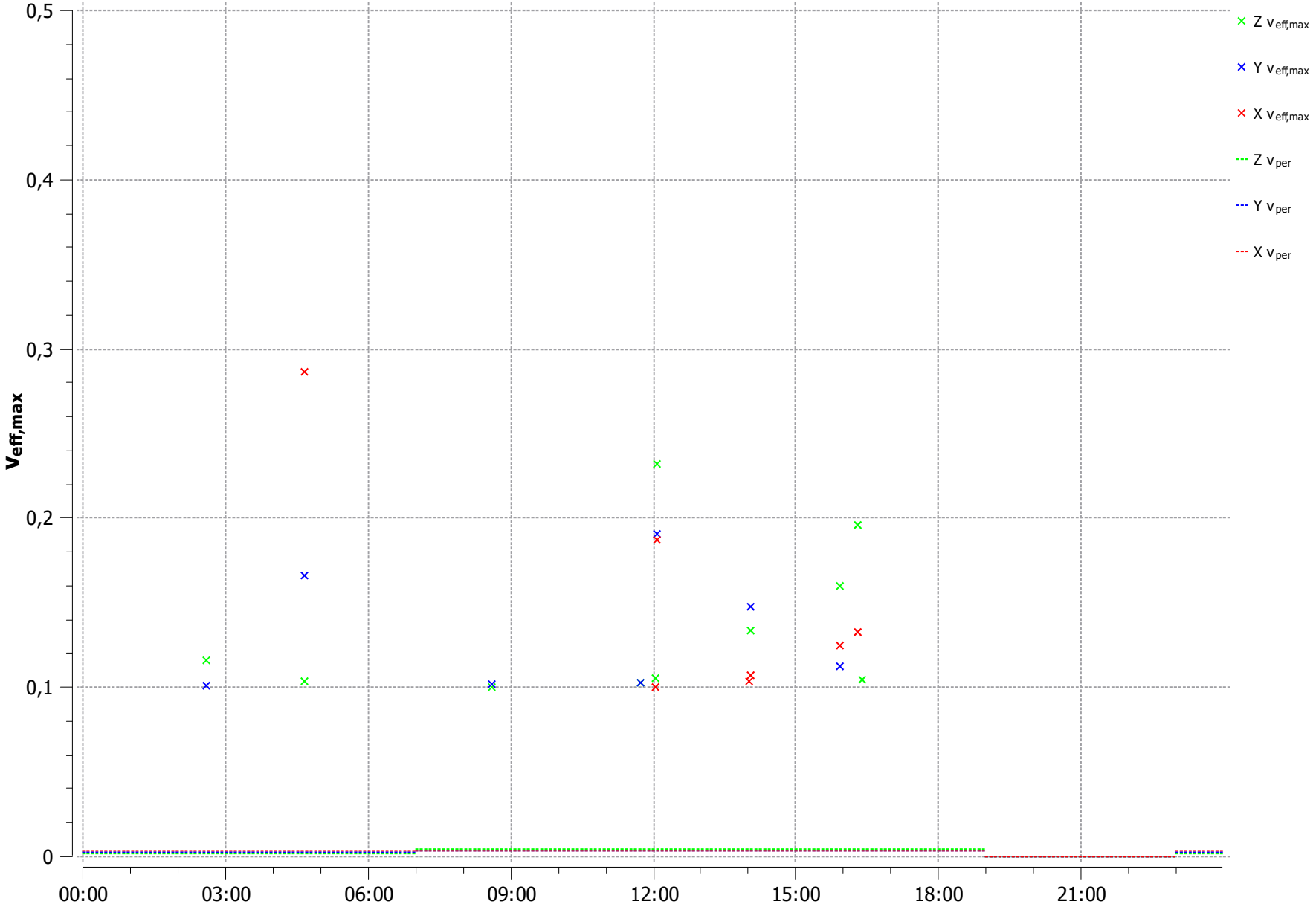

VIB00098 Wester01 2023-06-27
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
$V_{top,i}$ [mm/s]
0
20
40
60
80
100
Frequency [Hz]
Z velocity
Y velocity
X velocity
Cat. 1
Cat. 2
Cat. 3

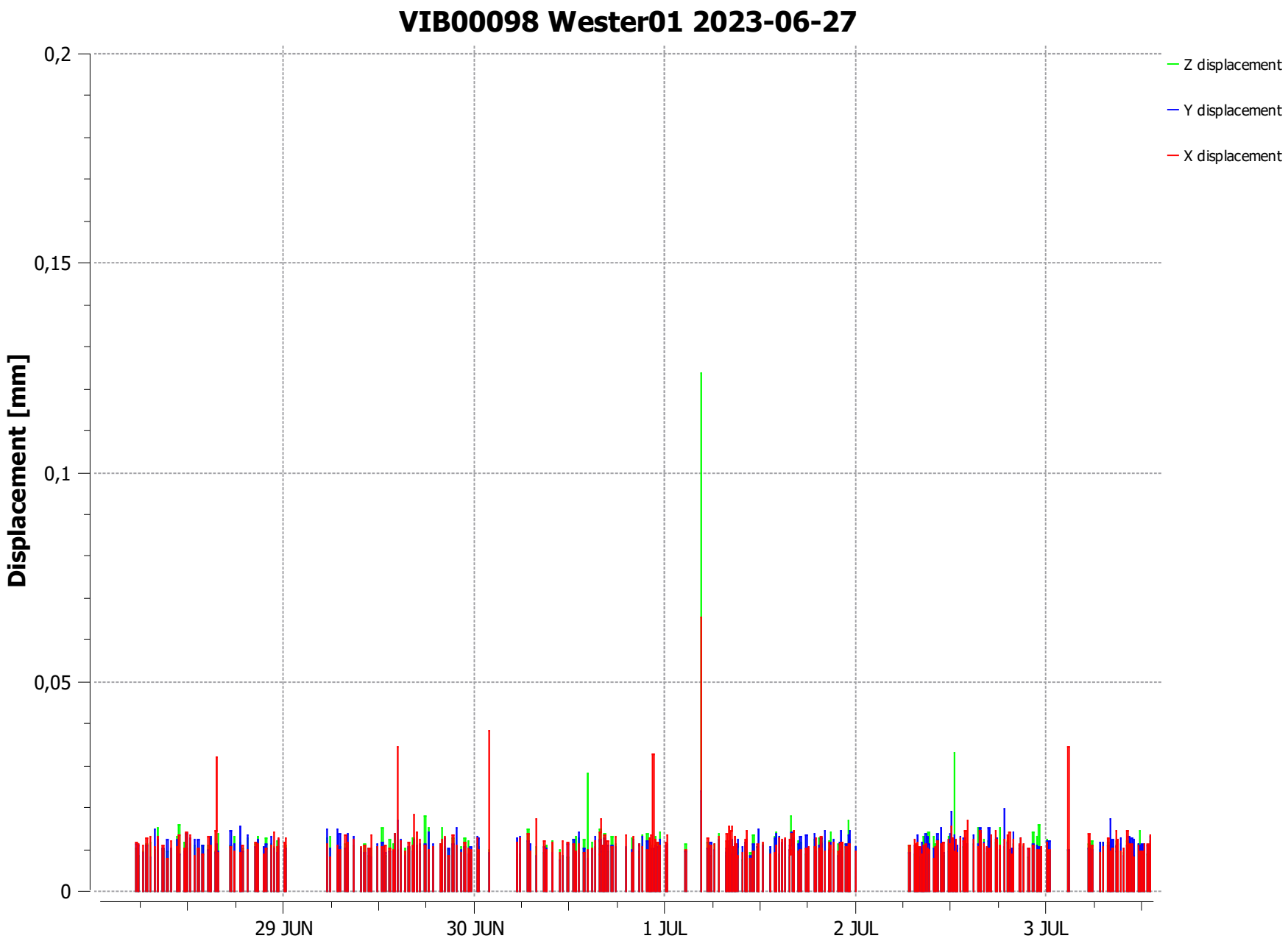

VIB00098 Wester01 2023-06-27
Acceleration [m/s²]
0,2
0,15
0,1
0,05
0
29 JUN
30 JUN
1 JUL
2 JUL
3 JUL
Z acceleration
Y acceleration
X acceleration

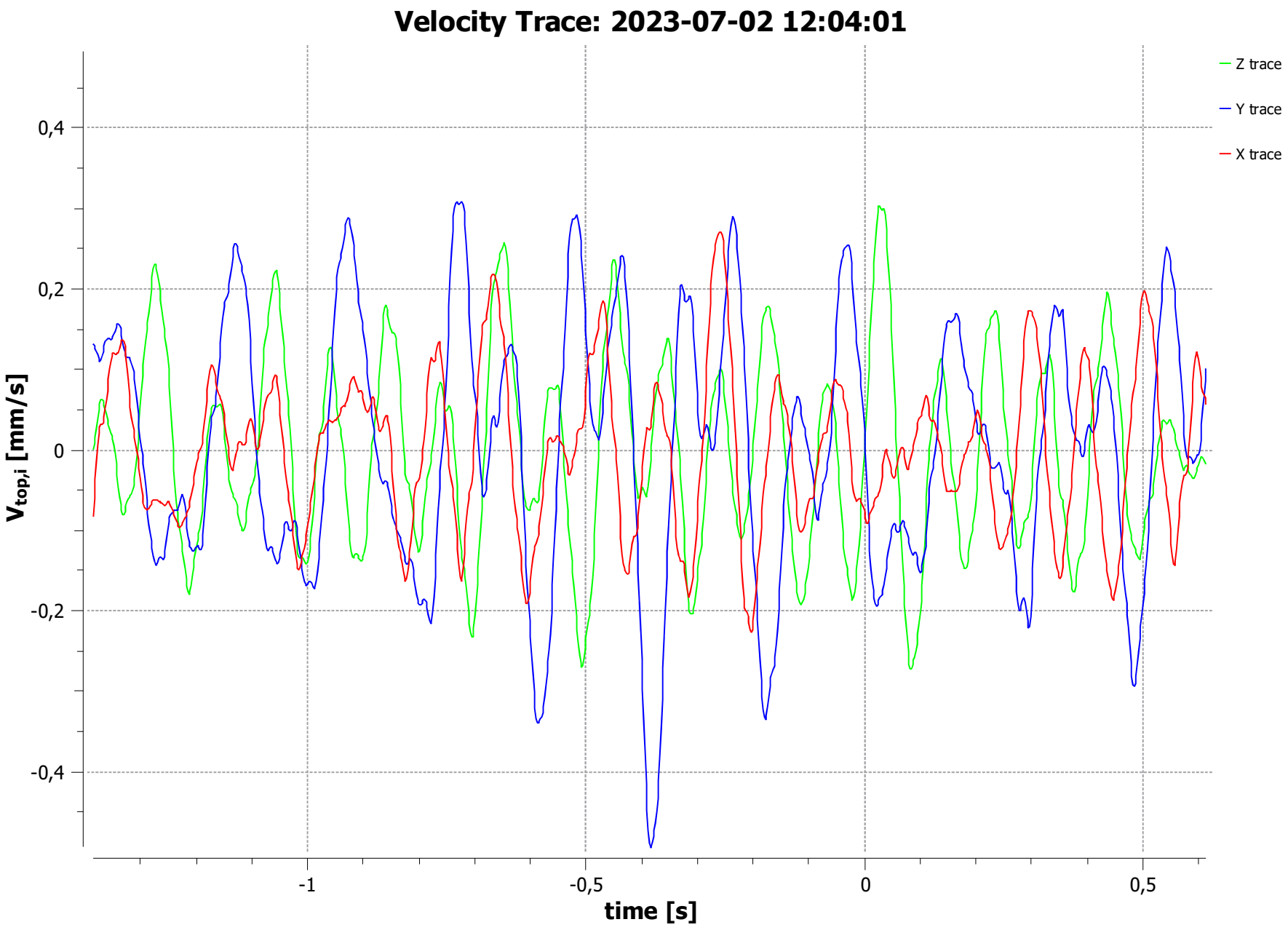
VIB00098 Wester01 2023-06-27

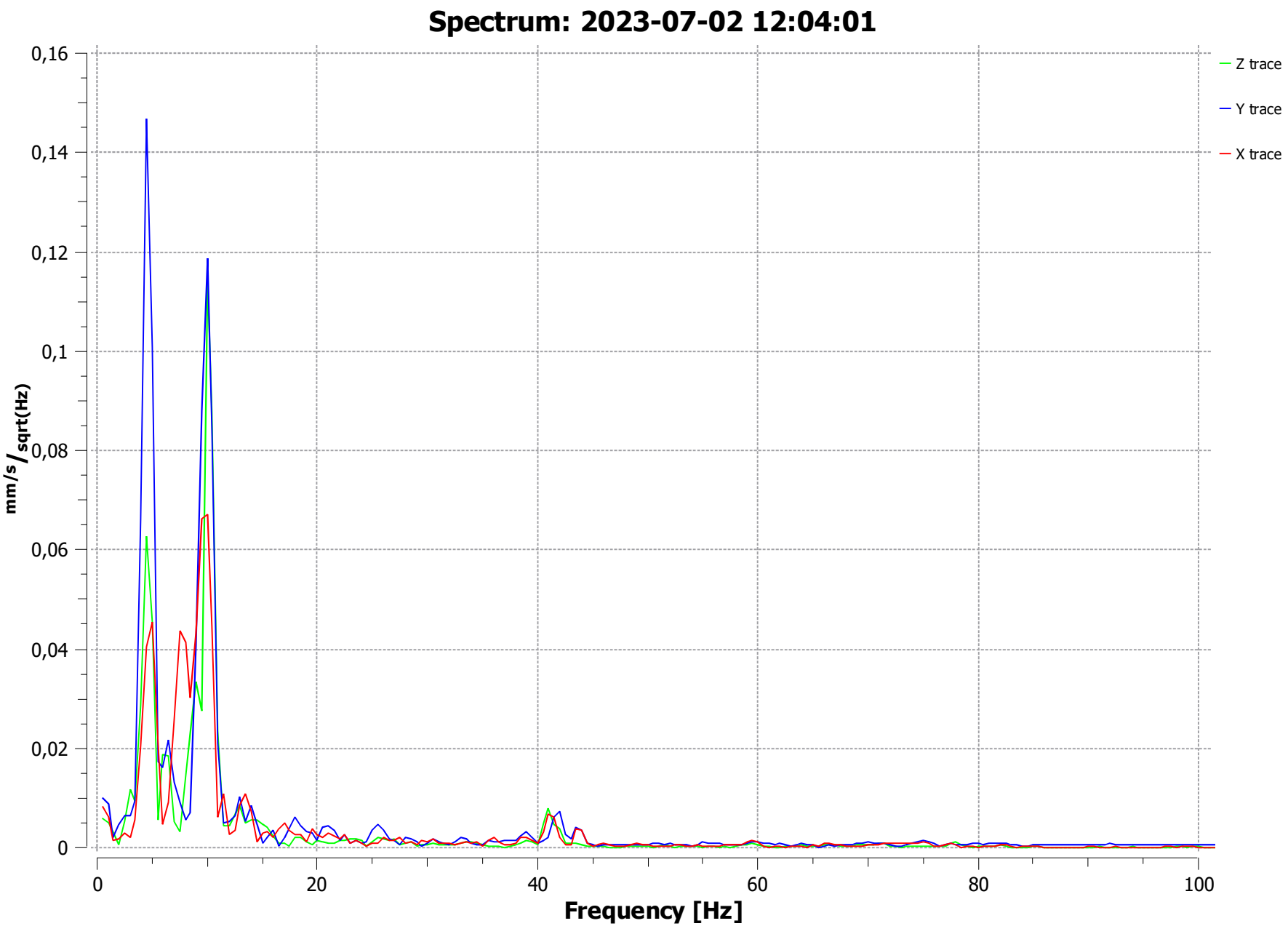


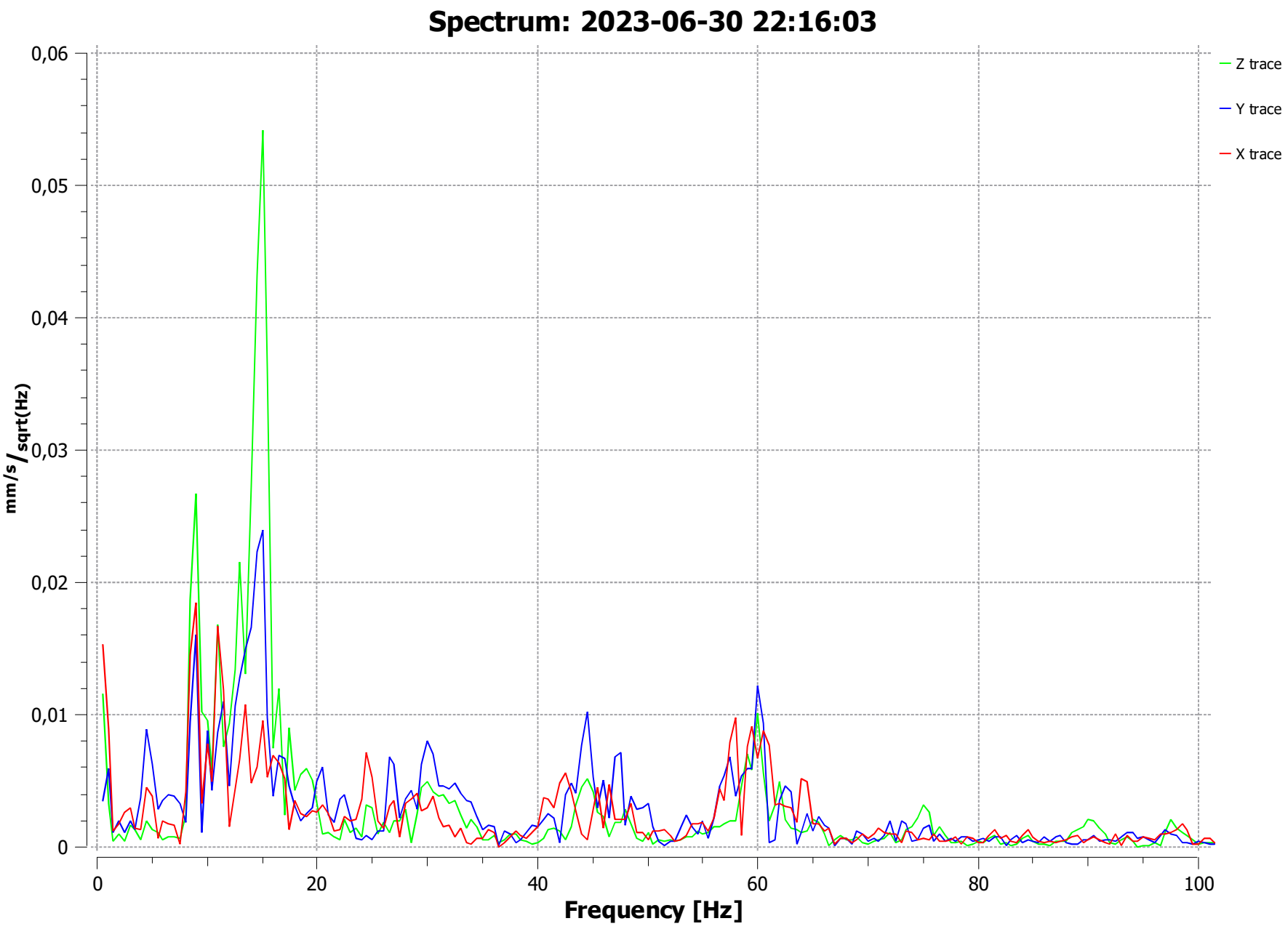
VIB00098 Wester01 2023-06-27

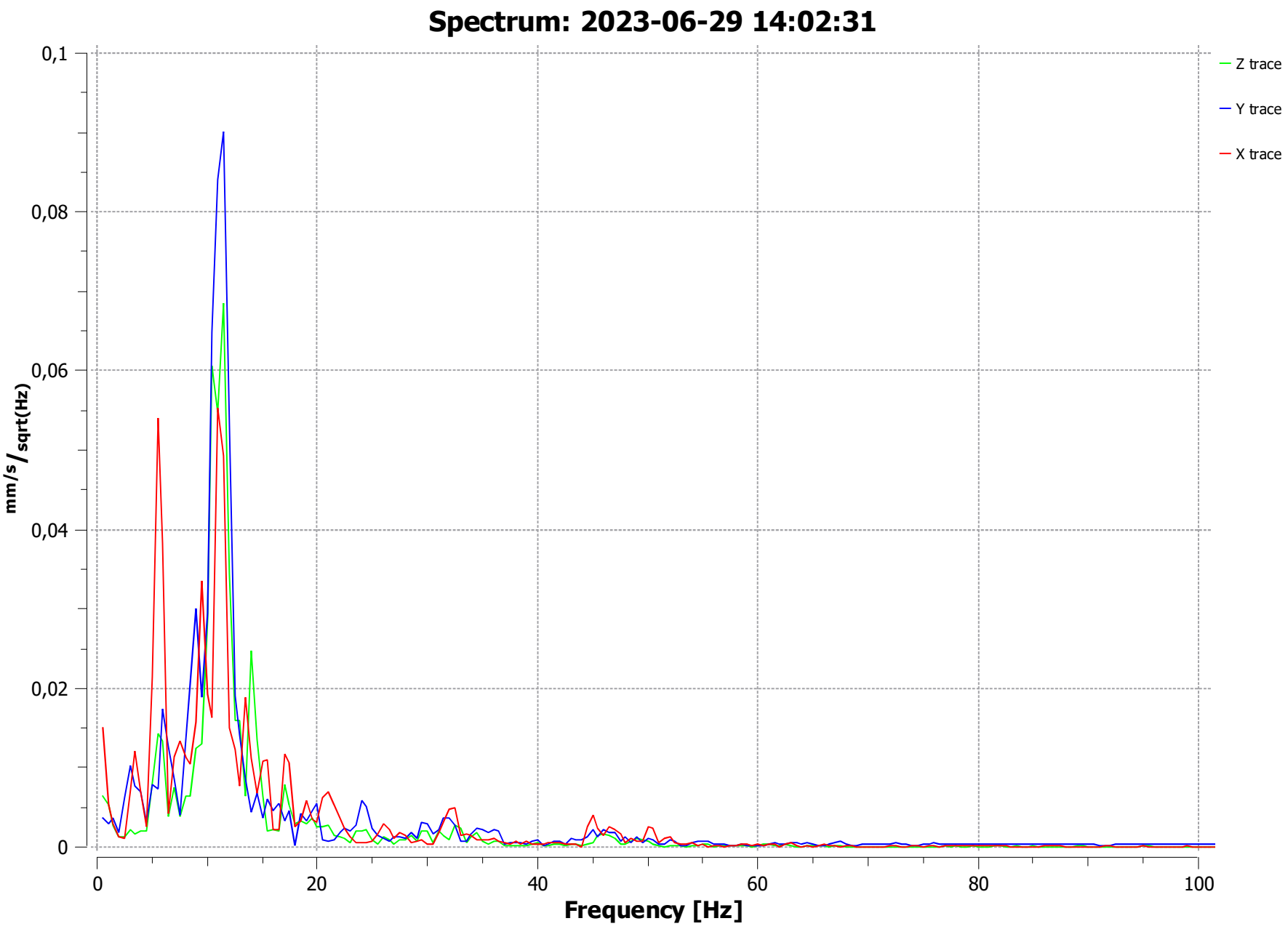


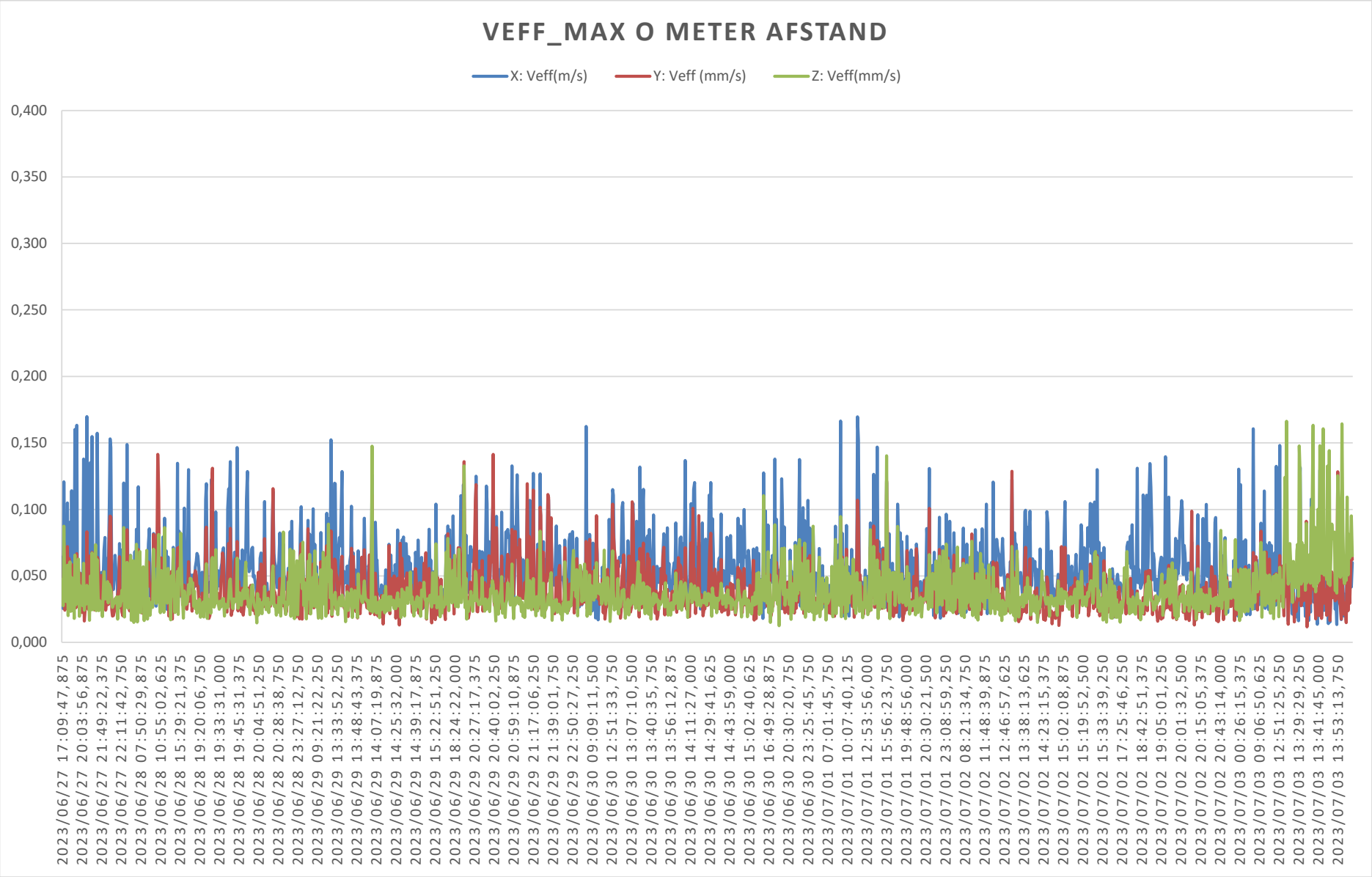

VIB00098 Wester01 2023-06-27
Displacement [mm]
0,2
0,15
0,1
0,05
0
29 JUN
30 JUN
1 JUL
2 JUL
3 JUL
Z displacement
Y displacement
X displacement


Velocity Trace: 2023-07-02 12:04:01
Z trace
Y trace
X trace
0,4
0,2
0
-0,2
-0,4
$V_{top,i}$ [mm/s]
-1
-0,5
0
0,5
time [s]


Spectrum: 2023-07-02 12:04:01
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
mm/s/sqrt(Hz)
0
20
40
60
80
100
Frequency [Hz]
Z trace
Y trace
X trace


Spectrum: 2023-06-30 22:16:03
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
mm/s/sqrt(Hz)
0
20
40
60
80
100
Frequency [Hz]
Z trace
Y trace
X trace


Spectrum: 2023-06-29 14:02:31
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
mm/s/sqrt(Hz)
0
20
40
60
80
100
Frequency [Hz]
Z trace
Y trace
X trace


VEFF_MAX O METER AFSTAND
X: Veff(m/s)
Y: Veff (mm/s)
Z: Veff(mm/s)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
2023/06/27 17:09:47,875
2023/06/27 20:03:56,875
2023/06/27 21:49:22,375
2023/06/27 22:11:42,750
2023/06/28 07:50:29,875
2023/06/28 10:55:02,625
2023/06/28 15:29:21,375
2023/06/28 19:20:06,750
2023/06/28 19:33:31,000
2023/06/28 19:45:31,375
2023/06/28 20:04:51,250
2023/06/28 20:28:38,750
2023/06/28 23:27:12,750
2023/06/29 09:21:22,250
2023/06/29 13:33:52,250
2023/06/29 13:48:43,375
2023/06/29 14:07:19,875
2023/06/29 14:25:32,000
2023/06/29 14:39:17,875
2023/06/29 15:22:51,250
2023/06/29 18:24:22,000
2023/06/29 20:27:17,375
2023/06/29 20:40:02,250
2023/06/29 20:59:10,875
2023/06/29 21:17:06,250
2023/06/29 21:39:01,750
2023/06/29 22:50:27,250
2023/06/30 09:09:11,500
2023/06/30 12:51:33,750
2023/06/30 13:07:10,500
2023/06/30 13:40:35,750
2023/06/30 13:56:12,875
2023/06/30 14:11:27,000
2023/06/30 14:29:41,625
2023/06/30 14:43:59,000
2023/06/30 15:02:40,625
2023/06/30 16:49:28,875
2023/06/30 20:30:20,750
2023/06/30 23:25:45,750
2023/07/01 07:01:45,750
2023/07/01 10:07:40,125
2023/07/01 12:53:56,000
2023/07/01 15:56:23,750
2023/07/01 19:48:56,000
2023/07/01 20:30:21,500
2023/07/01 23:08:59,250
2023/07/02 08:21:34,750
2023/07/02 11:48:39,875
2023/07/02 12:46:57,625
2023/07/02 13:38:13,625
2023/07/02 14:23:15,375
2023/07/02 15:02:08,875
2023/07/02 15:19:52,500
2023/07/02 15:33:39,250
2023/07/02 17:25:46,250
2023/07/02 18:42:51,375
2023/07/02 19:05:01,250
2023/07/02 20:01:32,500
2023/07/02 20:15:05,375
2023/07/02 20:43:14,000
2023/07/03 00:26:15,375
2023/07/03 09:06:50,625
2023/07/03 12:51:25,250
2023/07/03 13:29:29,250
2023/07/03 13:41:45,000
2023/07/03 13:53:13,750

BIJLAGE 2: BEREKENINGSBLADEN

		Prognose resultaat op de vloer						
		Dag	Avond	A1/A2	Nacht	A1/A2	Vper	A3
	Vanuit buitenste rails	Vmax	Vmax	Norm	Vmax	Nom		Norm
Hfv= 2,50	Na zone 3 op 105 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,07@10Hz Z= 0,08@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,03@10Hz Z= 0,03@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,06@10Hz Z= 0,08@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05
Hfv=1,28	Na zone 2 op 65 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,09@10Hz Z= 0,11@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,05@10Hz Z= 0,05@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,08@10Hz Z= 0,11@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05
Hfv=0,80	Na zone 1 op 40 meter	X= 0,13@5Hz Y= 0,12@10Hz Z= 0,15@10Hz	X= 0,10@10Hz Y= 0,07@10Hz Z= 0,07@10Hz	0,1/0,4	X= 0,20@5Hz Y= 0,10@10Hz Z= 0,14@10Hz	0,1/0,2	0,01	0,05

Indicatieve tabel eigenfrequenties diverse vloerconstructies

Eigenfrequentie vlgns Hicks	Breedplaatvloer 200 mm beton 90mm zand+cement	Breedplaatvloer 300 mm beton 90mm zand+cement	Breedplaatvloer 400 mm beton 90mm zand+cement	Breedplaatvloer 500 mm beton 90mm zand+cement	Breedplaatvloer 600 mm beton 90mm zand+cement
Overspanning	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend
5	13,85	20,78	27,71	34,64	41,56
7	7,07	10,6	14,14	17,67	21,71
9	4,28	6,41	8,55	10,69	12,83

Eigenfrequentie vlgns Hicks	Tunnelbouw o.v. 200 mm beton 90mm zand+cement	Tunnelbouw o.v. 300 mm beton 90mm zand+cement	Tunnelbouw o.v. 400 mm beton 90mm zand+cement	Tunnelbouw o.v. 500 mm beton 90mm zand+cement	Tunnelbouw o.v. 600 mm beton 90mm zand+cement
Overspanning	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd	Ingeklemd
5	31,44	47,16	62,88	78,6	94,33
7	16,04	24,06	32,08	40,1	48,13
9	9,7	14,56	19,41	24,26	29,11

	516kg	548 kg	609 kg	678 kg
Eigenfrequentie vlgns Hicks	Holle Kanaalplaat h=360mm 200+90mm afwerkvloer Druklaag 70mm	Holle Kanaalplaat h=420mm 260+90mm afwerkvloer Druklaag 70mm	Holle Kanaalplaat h=480mm 320+90mm afwerkvloer Druklaag 70mm	Holle Kanaalplaat h=560mm 400+90mm afwerkvloer Druklaag 70mm
Overspanning	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend	Scharnierend
5	16,46	21,4	26,34	32,92
7	8,4	10,92	13,44	16,8
9	5,08	6,6	8,13	10,16

Niet mogelijk

(Wellicht) mogelijk berekenen bij bouwaanvraag

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R}\right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R	trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
V_{R0}	trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
R	afstand tussen immissiepunt en de bron;
R_0	afstand tussen meetpunt en de bron;
α	materiaaldemping in de bodem (1/m);
n	n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
	n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 105 afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
34	105	0,5	0,02	0,01	0,02	2,5	2,5	2,5

Dagperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,23	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,032	10
Vper	0,001	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,08**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,19	34	105	0,5	0,01
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,053	5
Vper	0,001	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,13**
Vper	**0,00**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,19	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,026	10
Vper	0,001	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,07**
Vper	**0,00**

Avondperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,10	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,014	10
Vper	0,001	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,03**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	34	105	0,5	0,01
Vper	0,01	34	105	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,039	10
Vper	0,003	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,10**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,10	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,014	10
Vper	0,001	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,03**
Vper	**0,00**

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,22	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,03	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,08**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,29	34	105	0,5	0,01
Vper	0,01	34	105	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,08	5
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,20**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,16	34	105	0,5	0,02
Vper	0,01	34	105	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,02	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,06**
Vper	**0,00**

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R}\right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R	trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
V_{R0}	trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
R	afstand tussen immissiepunt en de bron;
R_0	afstand tussen meetpunt en de bron;
α	materiaaldemping in de bodem (1/m);
n	n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
	n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 65 afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
34	65	0,5	0,02	0,01	0,02	1,28	1,28	1,28

Dagperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,23	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,089	10
Vper	0,004	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,11**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,19	34	65	0,5	0,01
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,101	5
Vper	0,004	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,13**
Vper	**0,00**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,19	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,074	10
Vper	0,004	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,09**
Vper	**0,00**

Avondperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,10	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,039	10
Vper	0,004	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,05**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	34	65	0,5	0,01
Vper	0,01	34	65	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,074	10
Vper	0,005	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,10**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,10	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,039	10
Vper	0,004	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,05**
Vper	**0,00**

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,22	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,09	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,11**
Vper	**0,00**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,29	34	65	0,5	0,01
Vper	0,01	34	65	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,15	5
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,20**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,16	34	65	0,5	0,02
Vper	0,01	34	65	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,06	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,08**
Vper	**0,00**

Formule van Barkan

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R}\right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R	trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
V_{R0}	trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
R	afstand tussen immissiepunt en de bron;
R_0	afstand tussen meetpunt en de bron;
α	materiaaldemping in de bodem (1/m);
n	n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
	n = 0.5 voor R-golven.

Rekenmodel met Barkan formule en frequentie afhankelijke overdrachtfuncties

Woningen op 40 afstand van het spoor

Invoergegevens berekeningen:

R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	α [1/m] X	α [1/m] Y	Overdrachtfactor bodem - vloer Z	Overdrachtfactor bodem - vloer X	Overdrachtfactor bodem - vloer Y
34	40	0,5	0,02	0,01	0,02	0,8	0,8	0,8

Dagperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,23	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,188	10
Vper	0,008	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,15**
Vper	**0,01**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,19	34	40	0,5	0,01
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,165	5
Vper	0,008	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,13**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,19	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,155	10
Vper	0,008	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,12**
Vper	**0,01**

Avondperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,10	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,082	10
Vper	0,008	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,07**
Vper	**0,01**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	34	40	0,5	0,01
Vper	0,01	34	40	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,122	10
Vper	0,009	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,10**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,10	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,082	10
Vper	0,008	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,07**
Vper	**0,01**

Nachtperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,22	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,18	10
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,14**
Vper	**0,01**

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,29	34	40	0,5	0,01
Vper	0,01	34	40	0,5	0,01

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,25	5
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,20**
Vper	**0,01**

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,16	34	40	0,5	0,02
Vper	0,01	34	40	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,13	10
Vper	0,01	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
Vmax	**0,10**
Vper	**0,01**

BIJLAGE 3: TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B

4 Termen en definities

Opmerking: de termen en definities zijn, voor zover van toepassing, in overeenstemming met NEN-ISO 2041 [3]

Amplitude-frequentiekarakteristiek: de verhouding tussen ingaand en uitgaand signaal van een meetsysteem als functie van de frequentie, gegeven in een zeker frequentie-interval.

Beoordelingsperiode: een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingssterkte aan de streefwaarden:
de dagperiode van 07.00 uur tot 19.00 uur;
de avondperiode van 19.00 uur tot 23.00 uur;
de nachtperiode van 23.00 uur tot 07.00 uur.

Continue trilling: een trilling die ten opzichte van de grootste trillingstijd (laagste eigenfrequentie) gedurende een lange tijd aanwezig is.

Frequentie: de reciproque van de trillingstijd.

Herhaald voorkomende trilling: kortdurende trilling door weg- of railverkeer (waaronder ook heftrucks, bulldozers, kranen op rails en dergelijke) met een repeterend karakter.

Kortdurende trilling: trilling met een kortdurend (doorgaans korter dan enkele seconden), uitdempend karakter. De trilling wordt veroorzaakt door een stootvormige excitatie.

Niet-stationaire trilling: continue trilling waarvan de sterkte als functie van de tijd niet constant is, of een kortdurende trilling.

Meetduur: tijdsduur waarin met één configuratie meetpunten een meting wordt uitgevoerd.

Meetpunt: positie waar een trillingsgrootheid (versnelling, snelheid, verplaatsing) wordt gemeten.

Meetrichting: de richting waarin de trillingsgrootheid (versnelling, snelheid, verplaatsing) in een meetpunt wordt gemeten.

Meting: het bepalen van de momentane waarde van de trillingsgrootheid gedurende een zekere aaneengesloten tijdsduur door middel van een meetmethode.

Momentane waarde: de waarde van een variërende grootheid op een zeker tijdstip.

Snelheid: een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing weergeeft.

Stationaire trilling: continue trilling die gedurende een lange aaneengesloten periode met een constante sterkte voorkomt.

Streefwaarde: de waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog geen trillingshinder optreedt.

Trilling: een variatie van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) als functie van de tijd, die de beweging of de positie van een systeem beschrijft waarbij de grootheid afwisselend groter en kleiner is dan een gemiddelde waarde.

Trillingssterkte (Engels: vibration severity): in het algemeen de aanduiding van de sterkte of grootte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect. In het geval van hinder wordt onder de trillingssterkte verstaan de effectieve waarde van de gewogen trillingsgrootheid.

Trillingstijd: de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.

Topwaarde: de in absolute zin grootste afwijking van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde gedurende een zeker tijdsinterval.

Verplaatsing: een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.

Versnelling: een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid weergeeft

5 Eenheden en grootheden

5.1 Eenheden

De te gebruiken eenheden en grootheden moeten in overeenstemming zijn met het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), zoals vermeld in hoofdstuk 4 (tabel 6, 8 en 9) en bijlage A, beiden van NEN 999:1977, en met NEN 1000:1986.

5.2 Grootheden

In het kader van deze meet- en beoordelingsrichtlijn worden bij voorkeur de hieronder gegeven eenheden aangehouden.

a	versnelling, in m/s^2
f	frequentie, in Hz
fe	eigenfrequentie, in Hz
g	zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s^2)
T	trillingstijd, in s
u	verplaatsing, in mm
v	snelheid, in mm/s

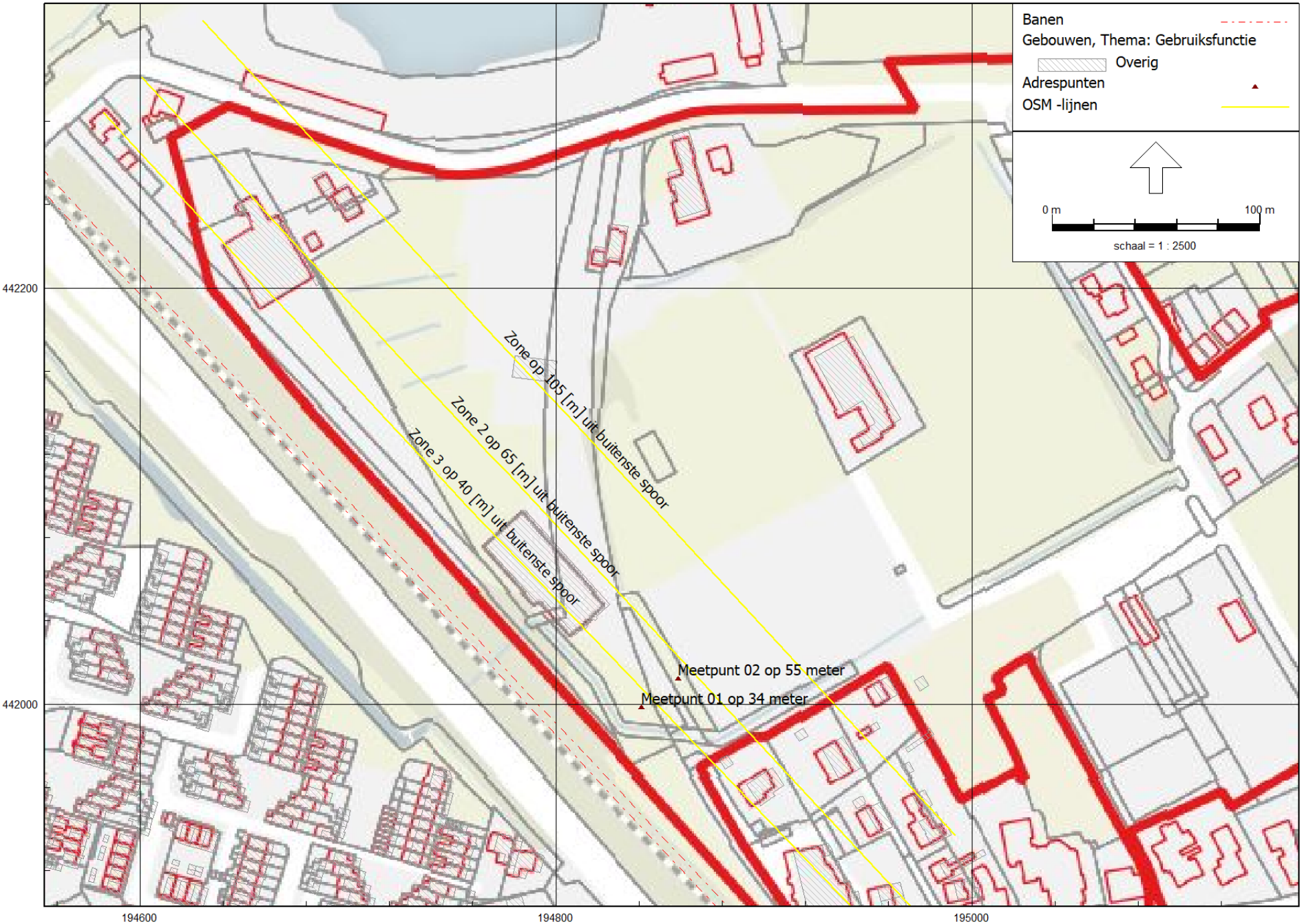
5.3 Gehanteerde symbolen

De verder in deze richtlijn gehanteerde symbolen zijn hieronder weergegeven.

A_1	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
A_2	maximale waarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
A_3	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per}, dimensieloos
f	frequentie, in Hz
f*	frequentie in Hz, waarvoor $\varphi(f) = 0$
f_{max}	grensfrequentie van het laagdoorlaatfilter, in Hz
f_{min}	grensfrequentie van het hoogdoorlaatfilter, in Hz
f_o	kantelfrequentie van het wegingsfilter, f_o = 5,6 Hz
$H_{a(f)}$	wegingfunctie trillingsversnelling, s^2/m
$H_{v(f)}$	wegingfunctie trillingssnelheid, s/mm
i	variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin $v_{eff,max,30,i}$ is gemeten
N	aantal aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden in een beoordelingsperiode; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur, N = 480 voor de nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur, N = 960
n	aantal gehele tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van een meting
t	tijd, in s
T_b	totale tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is in een beoordelingsperiode, in s
T_m	tijdsduur van de meting, in s
T_0	tijdsduur van de beoordelingsperiode, in s
τ	tijdconstante, in s
V_{max}	grootste waarde van $v_{eff,max}$ in de beschouwde ruimte, dimensieloos
V_{per}	trillingssterkte over de beoordelingsperiode behorende bij de ruimte, dimensieloos en bepaald op basis van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima $v_{eff,max,30,i}$. Deze waarde dient uitsluitend te worden bepaald voor het meetpunt en de meetrichting waarin de grootste waarde V_{max} voor de ruimte volgens 9.7 is bepaald.
v(t)	momentane waarde van de gewogen trillingsgrootheid, dimensieloos
v_{eff} (t)	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid, dimensieloos
$v_{eff,max}$	de grootste waarde van v_{eff} (t) over de meetduur, dimensieloos
$v_{eff,max,30,i}$	de grootste waarde van v_{eff} (t) in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos
$v_{eff,max,stat}$	de statistisch bepaalde grootste waarde van v_{eff} (t) over de meetduur, dimensieloos
vo	referentiewaarde van de wegingfunctie, v_o = 1,0 mm/s
$v_{per,meet}$	de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van $v_{eff,max,30,i}$ over de meetperiode
$\varphi(f)$	maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
$\varphi m(f)$	de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden

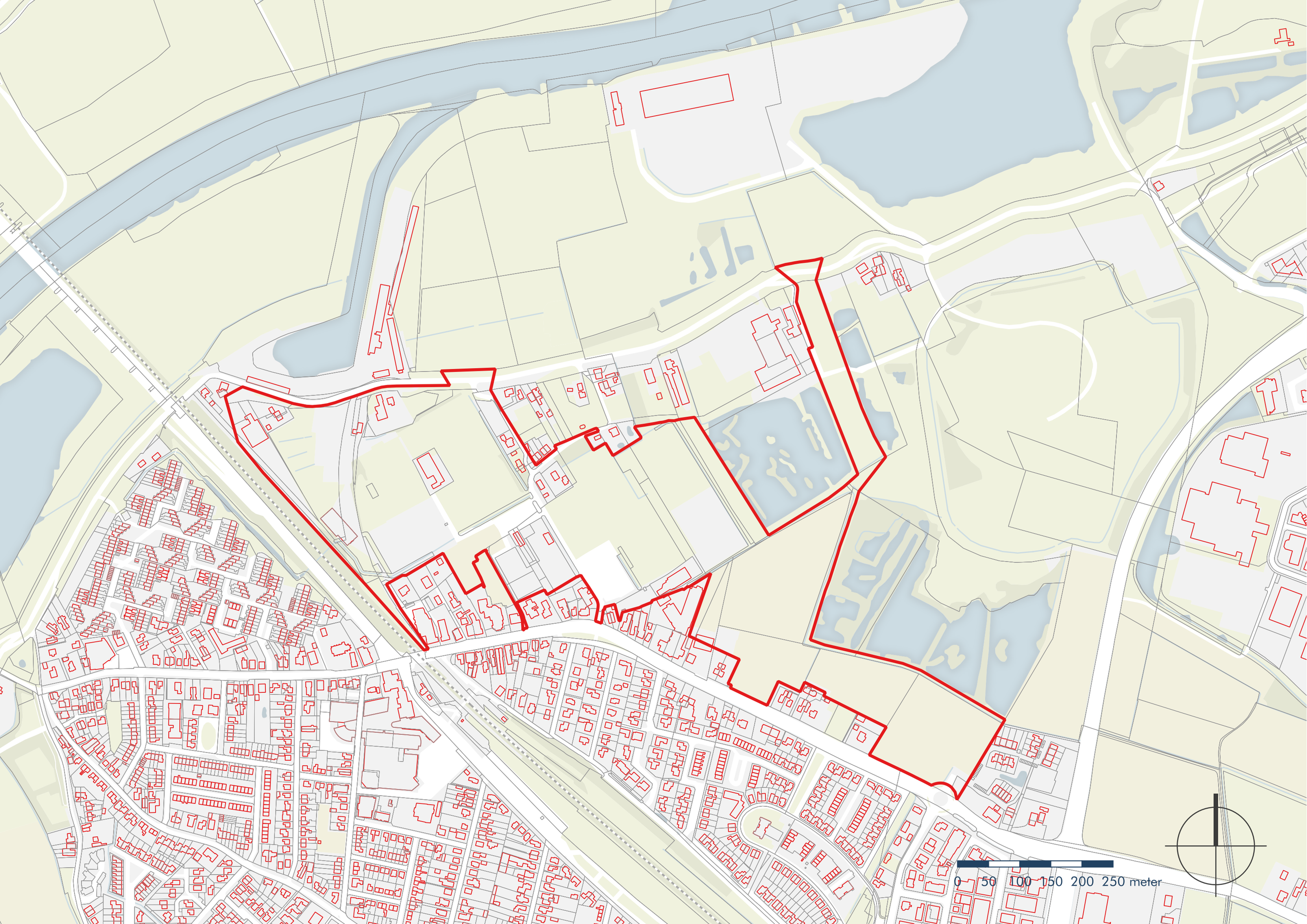
BIJLAGE 4: TEKENINGEN

Figuur 1: Hinderzones
eerste model
10 jul 2023, 17:19



RMV-1996, railverkeer, [versie van Gebied - eerste model] , Geomilieu V2023.0 Licentiehouder: Ing. Buro AV-Consulting B.V.

Ing. Buro AV-Consulting B.V.


0 50 100 150 200 250 meter