



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 2006006608-20211654h-1

12 juli 2021

TRILLINGSONDERZOEK

Stedenbouwkundig plan spoorzone Ravenstein
Bepaling kans op hinder t.g.v. railverkeer
in nieuwbouw woningen

AKQUESTIE

TRILLINGEN

MILIEU-
VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

Opdrachtgever
Buro SRO Oost B.V.
Sweerts de Landasstraat 50
6814 DG Arnhem

Adviseur
Fabio Calissi, M.Sc.
Ad (Arie) Vreeswijk, M.Sc. INCE

BEZWAAR
EN BEROE

Namens dezen
T.a.v. Luuk Arends, M.Sc.

Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Gegevens	1
2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN	2
3. METINGEN EN BEREKENING	4
3.1. Situatie en uitgangspunten	4
3.2. Trillingsmetingen.....	5
3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem.....	7
3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen.....	8
4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE	10
4.1. Meetresultaten.....	10
4.2. Berekening resultaten; overdracht in de bodem met Barkan formule	13
4.3.Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer	14
4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose	15
4.5. Bespreking van de resultaten, hinder	16
5. MOGELIJKE MAATREGELEN.....	17
6. CONCLUSIE.....	19

BIJLAGEN:

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

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van de Gemeente Oss via Buro SRO Oost B.V. is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd voor een nieuw stedenbouwkundig plan binnen de spoorzone te Ravenstein. 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 's-Hertogenbosch - Nijmegen.

ProRail adviseert indicatief (zogenoemde *quick scan*) 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) Plattegrondtekening van het stedenbouwkundige plan in de spoorzone te Ravenstein door opgave van de opdrachtgever.
- 7) Boormonsterprofiel nr. B45F0087 beschikbaar op DINOloket.

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

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 :

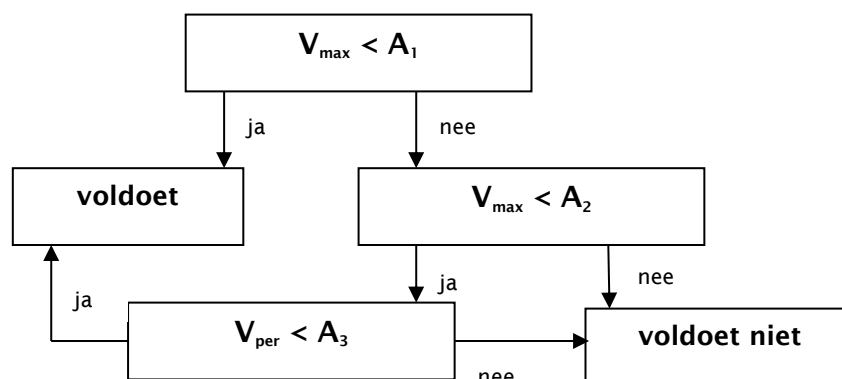
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

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 [-]	A_3 [-]	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.

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. Ernstige hinder is niet toelaatbaar.

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: Plattegrondtekening van het plangebied.

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 "lichte gebouwen gefundeerd op staal", en van vloervelden met grote overspanning – als worst-case scenario.

Tussen de spoorlijn en het noordelijke gebied ten westen van de Stationspad ligt een sloot van ongeveer 4 meter breed. Tijdens de meetperiode was het onmogelijk om metingen uit te voeren in het gebied ten oosten van de Stationspad, zoals aangegeven door Buro SRO. Hier ligt geen sloot. Wij verwachten dat – omdat het onderzoek rekening houdt met een worst-case scenario – de prognose resultaten ook in dit gebied geldig zullen zijn.

3.2. Trillingsmetingen

Onbemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op het terrein ten noorden en ten zuiden van het spoor met twee tri-axiale trillingsopnemers welke gemonteerd zijn op 1 meter lange metalen staven die in de grond zijn gedreven. 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; deze meter is vastgezet met twee lange schroeven.

Tijdens de metingen was het terrein niet in gebruik.

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

- Op een afstand van ca. 15 meter (meetpositie 1, ten zuiden van het spoor);
- Op een afstand van ca. 25 meter (meetpositie 2, ten noorden van het spoor);
- Op een afstand van ca. 35 meter (meetpositie 3, ten noorden van het spoor).



Figuur 2: 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 trillingscontouren 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 3 t/m 5 op bladzijde 6 zijn de ondergrondse meetposities 2 en 3 weergegeven.



Figuur 3: Foto van meetpositie 2 in het terrein, ten noorden van het spoor.



Figuur 4: Foto van de geofoon op meetpositie 2.



Figuur 5: Foto van meetpositie 3, ten noorden van het spoor.

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 twee onderling loodrechte horizontale richtingen gemeten.

De onbemande metingen zijn uitgevoerd van maandag 28 juni 2021 in de ochtend t/m de ochtend van maandag 5 juli 2021. Op de meetlocatie zijn in drie richtingen (één verticaal en twee 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 3 vermelde meetapparatuur. Deze meetapparatuur voldoet aan de specificaties uit de SBR-B richtlijn.

Tabel 3: Gebruikte meetapparatuur.

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

3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem

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. Daarom is voor de prognoseberekening de materiaaldemping - α in de formule - bepaald op $\alpha = 0,01$ [1/m] en $\alpha = 0,02$ [1/m] voor de lage frequenties. De theoretische materiaaldemping bedraagt $\alpha = 0,08$ [1/m] voor trillingen met een dominante frequentie rond 30 Hz. Dit betekent dat trillingsgolven met dominante frequenties rond 30 Hz (of daarboven) snel gedempt worden met de toename van de afstand.

De berekende overdracht van de trillingen in de bodem vanaf meetpositie nr. 2 tot meetpositie nr. 3 komt overeen met de gemeten waarden in situ. Zoals verwacht worden de trillingsgolven met een dominante frequentie rond 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 4 Hz tot 8 Hz in de z-richting en 8 Hz in de x- en y-richting; zie bijlage 1. Deze frequenties komen overeen met de bekende spectra van trillingen afkomstig van goederen 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 4 die zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 4: 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 "licht gebouw op staal" beschouwd. Bij de dominante frequenties van ca. 4 en 8 Hz is de verzwakking nul; dit is een factor van ca. 1 ($H_{f,xy}$ en $H_{f,z}$ in de berekeningen).

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 damping 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 wanneer de afstand tot de trillingsbron klein is en de aanstoting slechts over een beperkt deel van de draagconstructie plaatsvindt, zoals in de onderhavige situatie. In de prognoses is gerekend met de gemiddelde vloerveldversterking als functie van de frequentie (zie tabel 5). In tabel 5 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 5: 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 vloeren met grote overspanning is bij ca. 4 Hz een versterking van ca. 10 dB en bij ca. 8 Hz een versterking van ca. 8 dB.

Voor onderwerpelijke situatie is een versterking in de z-richting van 10 dB / 8 dB en in de x- en y-richting van 8 dB toegepast; dit is een factor van respectievelijk ca. 3,0 en van ca. 2,5 ($H_{v,z}$ en $H_{v,xy}$ in de berekeningen).

Cumulatie overdrachtsprognose:

De cumulatieve overdrachtsfactoren zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6: Cumulatieve overdrachtsfactoren.

Terrein	$H_{f,z}$	$H_{f,xy}$	$H_{v,z}$	$H_{v,xy}$	$H_{fv,z} = H_{f,z} * H_{v,z}$	$H_{fv,xy} = H_{f,xy} * H_{v,xy}$
Ten zuiden van het spoor	1,0	1,0	2,5	2,5	2,5	2,5
Ten noorden van het spoor	1,0	1,0	3,0	2,5	3	2,5

Nauwkeurigheidsmarge meten en rekenen

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 zand laag 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.

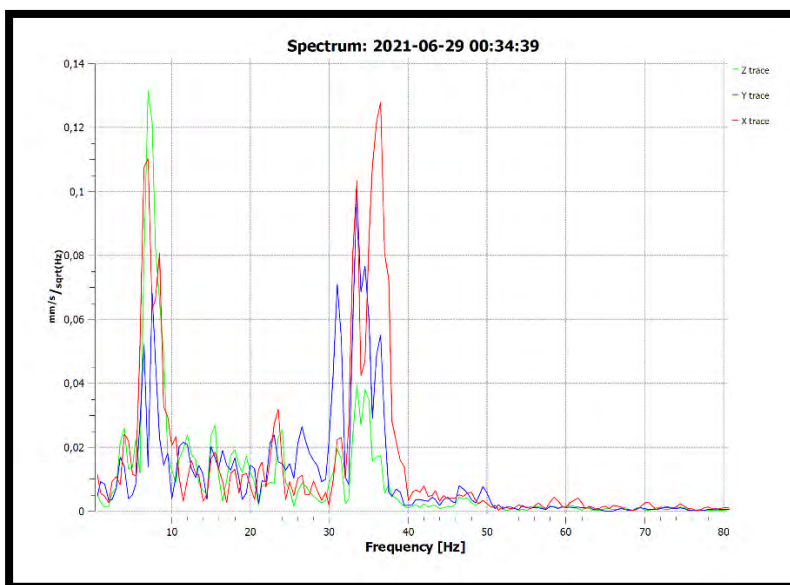
De gerapporteerde onzekerheid is gebaseerd op een standaardonzekerheid, vermenigvuldigd met een dekkingsfactor $k = 2$, welke overeenkomt met een betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 95%.

4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE

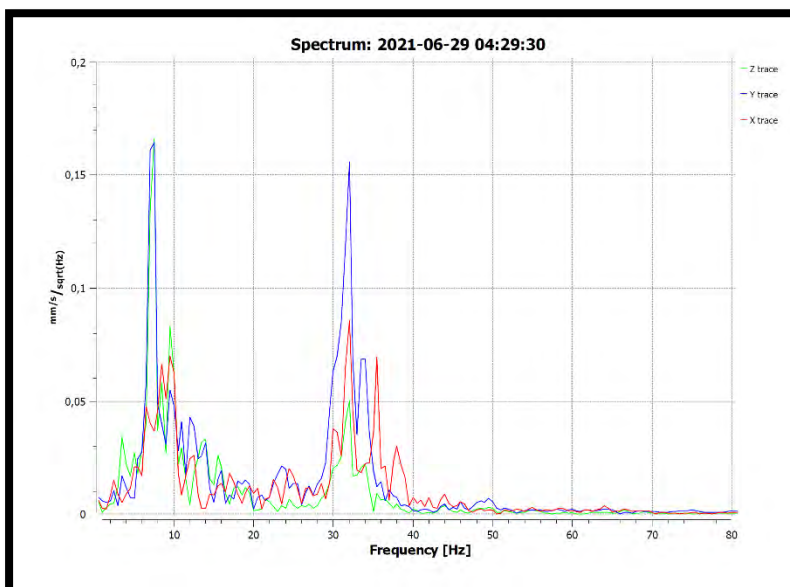
4.1. Meetresultaten

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.

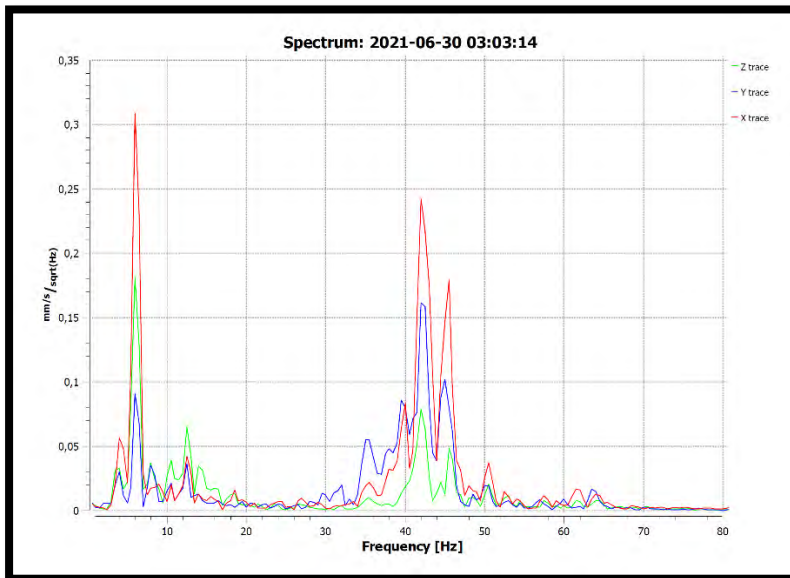
In figuren 6 t/m 9 zijn de spectra van de meeste relevante trillingen (hoogst laagfrequente opgetreden trillingsniveaus in de nachtperiode) vanwege railverkeer weergegeven, gemeten op meetpositie 1 en 2.



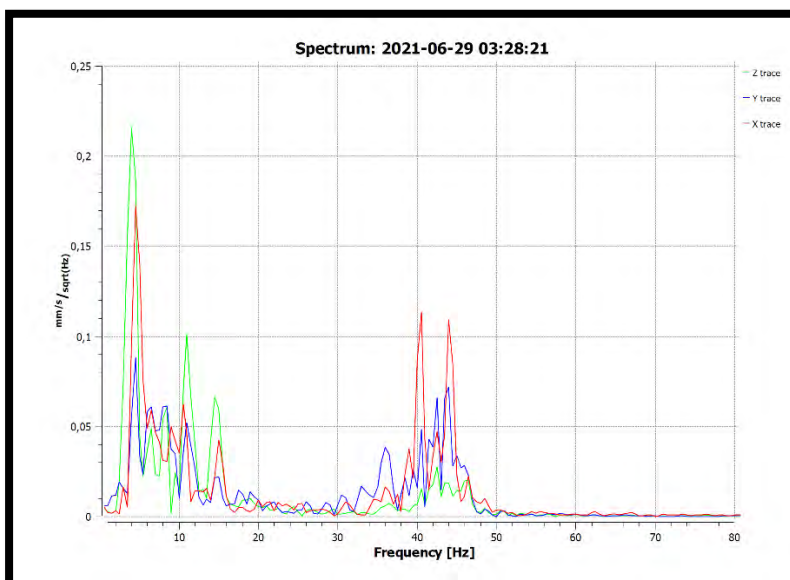
Figuur 6: Spectrum op meetpositie 1 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 7: Spectrum op meetpositie 1 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 8: Spectrum op meetpositie 2 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 9: Spectrum op meetpositie 2 van één van de meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.

In tabel 7 zijn de hoogste meetwaarden als maximale effectieve trillingssnelheid, $V_{\text{eff,max}}$, samengevat voor de dag-, avond- en nachtperiode. In tabel 8 zijn de hoogste meetwaarden voor de lage maatgevende frequenties gegeven, deze zijn ook maatgevend voor de prognoseberekeningen. Zie ook bijlage 1.

Tabel 7: Meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Meetpositie	Periode	Hoogst optredende meetwaarden van $V_{eff,max}$ [-]		
		z-richting	x-richting	y-richting
1 (15 meter afstand)	Dagperiode	0,18	0,57*	0,47
	Avondperiode	0,20	0,32	0,47
	Nachtperiode	0,33	0,58*	0,61
2 (25 meter afstand)	Dagperiode	0,33	0,85*	0,69*
	Avondperiode	0,29	0,66*	0,33*
	Nachtperiode	0,37	0,82*	0,82*

* meetwaarde met dominante frequenties rond 30 Hz.

Tabel 8: Meetresultaten maatgevende voor de prognoseberekningen hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Meetpositie	Periode	Hoogst optredende meetwaarden van $V_{eff,max}$ [-]		
		z-richting	x-richting	y-richting
1 (15 meter afstand)	Dagperiode	0,18	0,32	0,47
	Avondperiode	0,20	0,32	0,47
	Nachtperiode	0,33	0,48	0,61
2 (25 meter afstand)	Dagperiode	0,33	0,41	0,32
	Avondperiode	0,29	0,41	0,32
	Nachtperiode	0,37	0,41	0,32

4.2. Berekening resultaten; overdracht in de bodem met Barkan formule

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. In tabel 9 zijn de door de bodem berekende waarden van $V_{\text{eff,max}}$ in het zuidelijke gebied gegeven berekend vanuit meetpositie 1. In tabel 10 zijn de door de bodem berekende waarden van $V_{\text{eff,max}}$ in het noordelijke gebied gegeven, berekend vanuit meetpositie 2. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 opgenomen.

Tabel 9: Berekend trillingsniveaus in de bodem op verschillende afstanden van het spoor, gebied ten zuiden van het spoor.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\text{eff,max}}$ [-], in de bodem		
			z	x	y
Nieuwe woningen ten zuiden van het spoor	30	Dagperiode	0,09	0,17	0,25
		Avondperiode	0,10	0,17	0,25
		Nachtperiode	0,17	0,25	0,32
	80	Dagperiode	0,02	0,04	0,06
		Avondperiode	0,02	0,04	0,06
		Nachtperiode	0,04	0,06	0,07

Tabel 10: Berekend trillingsniveaus in de bodem op verschillende afstanden van het spoor, gebied ten noorden van het spoor.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\text{eff,max}}$ [-], in de bodem		
			z	x	y
Nieuwe woningen ten noorden van het spoor	35	Dagperiode	0,76	0,71	0,55
		Avondperiode	0,67	0,71	0,55
		Nachtperiode	0,85	0,71	0,55
	120	Dagperiode	0,17	0,07	0,05
		Avondperiode	0,15	0,07	0,05
		Nachtperiode	0,20	0,07	0,05

4.3. Prognose resultaten; overdracht van bodem naar vloer

In tabel 11 zijn de waarden van $V_{\max}$ middels de overdracht functie van de bodem naar vloer berekend, in het zuidelijke gebied. In tabel 12 zijn de waarden van $V_{\max}$ middels de overdracht-functie van de bodem naar vloer berekend, in het noordelijke gebied. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2 opgenomen.

Tabel 11: Berekende trillingsniveaus op de vloeren van de toekomstige woningen op verschillende afstand van het spoor, gebied ten zuiden van het spoor.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\max}$ [-]		
			z	x	y
Nieuwe woningen ten zuiden van het spoor	30	Dagperiode	0,24	0,42	0,62
		Avondperiode	0,26	0,42	0,62
		Nachtperiode	0,43	0,63	0,80
	80	Dagperiode	0,05	0,09	0,14
		Avondperiode	0,06	0,09	0,14
		Nachtperiode	0,10	0,14	0,18

Tabel 12: Berekend trillingsniveaus op de vloeren van de toekomstige woningen op verschillende afstand van het spoor, gebied ten noorden van het spoor.

Identificatie	Afstand van het spoor [m]	Periode	Hoogst berekende waarde van $V_{\max}$ [-]		
			z	x	y
Nieuwe woningen ten noorden van het spoor	35	Dagperiode	0,76	0,71	0,55
		Avondperiode	0,67	0,71	0,55
		Nachtperiode	0,85	0,71	0,55
	120	Dagperiode	0,17	0,07	0,05
		Avondperiode	0,15	0,07	0,05
		Nachtperiode	0,20	0,07	0,05

4.4. Toetsing trillingsimmissie; prognose

De hoogst berekende waarden voor de dag-, avond- en nachtperiode voor $V_{\max}$ in de woningen ten zuiden van het spoor zijn gegeven in tabel 13. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 13.

Tabel 13: Toetsing voor hinder in de toekomstige woningen ten zuiden van het spoor; dag-, avond- en nachtperiode.

Afstand vanaf het spoor [m]	Periode	$V_{\max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
30	Dagperiode	0,62	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet niet</u>
	Avondperiode	0,62	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet niet</u>
	Nachtperiode	0,80	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
80	Dagperiode	0,14	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>
	Avondperiode	0,14	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>
	Nachtperiode	0,18	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>

* waarden uit de SBR-richtlijn.

De hoogst berekende waarden voor de dag-, avond- en nachtperiode voor $V_{\max}$ in de woningen ten noorden van het spoor zijn gegeven in tabel 14. De toetsing voor hinder is eveneens gegeven in tabel 14.

Tabel 14: Toetsing voor hinder in de toekomstige woningen ten noorden van het spoor; dag-, avond- en nachtperiode.

Afstand vanaf het spoor [m]	Periode	$V_{\max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
35	Dagperiode	0,76	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet niet</u>
	Avondperiode	0,71	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet niet</u>
	Nachtperiode	0,85	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet niet</u>
120	Dagperiode	0,17	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>
	Avondperiode	0,15	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,4	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>
	Nachtperiode	0,20	0,1	<u>Voldoet niet</u>	0,2	<u>Voldoet, wordt getoetst aan V_{per}</u>

* waarden uit de SBR-richtlijn.

De hoogst berekende waarden voor V_{per} zijn opgenomen in tabel 15 en 16 voor de dag, avond- en nachtperiode. De toetsing voor hinder voor de dag, avond- en nachtperiode is in tabel 15 en 16 gegeven.

Tabel 15: Toetsing voor hinder (V_{per}) in de toekomstige woningen ten zuiden van het spoor; dag-, avond- en nachtperiode.

Afstand vanaf het spoor [m]	Periode	V_{per} [-]	A_3^* [-]	Toetsing
80	Dagperiode	0,01	0,05	<u>Voldoet</u>
	Avondperiode	0,01	0,05	<u>Voldoet</u>
	Nachtperiode	0,01	0,05	<u>Voldoet</u>

Tabel 16: Toetsing voor hinder (V_{per}) in de toekomstige woningen ten noorden van het spoor; dag-, avond- en nachtperiode.

Afstand vanaf het spoor [m]	Periode	V_{per} [-]	A_3^* [-]	Toetsing
120	Dagperiode	0,02	0,05	<u>Voldoet</u>
	Avondperiode	0,02	0,05	<u>Voldoet</u>
	Nachtperiode	0,02	0,05	<u>Voldoet</u>

4.5. Bespreking van de resultaten, hinder

De resultaten van de worst-case prognose-berekeningen zijn in tabel 17 samengevat, inclusief toetsing aan SBR-B en hinderkwalificatie.

Tabel 17: Samenvatting van de prognoseresultaten op verschillende afstanden van de spoorbaan in de toekomstige woningen.

Identificatie	Afstand tussen nieuwbouwen en spoorbaan [m]	Voldaan aan SBR-B voor woningen	Hinderkwalificatie
Nieuwe woningen ten zuiden van het spoor	< 30	Nee, maatregelen noodzakelijk	Hinder
	$30 \leq \text{afstand} < 80$	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
	≥ 80	Ja	Weinig tot matige hinder
Nieuwe woningen ten noorden van het spoor	< 35	Nee, maatregelen noodzakelijk	Hinder
	$35 \leq \text{afstand} < 120$	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
	≥ 120	Ja	Weinig tot matige hinder

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.

1. Maatregelen bij de bron (spoor en baanlichaam) is waarschijnlijk geen optie.

2. Mogelijke maatregelen in de bodem zijn als volgt:

- Een optie is de plaatsing een trillingsscherm van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorbaan en de woningen, nabij de woningen of naast het baanlichaam;
- Een ander optie is het creëren van een open diepe sleuf in de grond van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorweg en de woningen.

Nader onderzoek is nodig om de haalbaarheid, het dempende effect en de afmetingen van een dergelijk maatregelen te berekenen. Gezien de afmetingen van het plangebied lijkt het erop dat het plaatsen van een trillingsscherm in de bodem onhaalbaar zullen zijn.

3. Mogelijke maatregelen bij de ontvanger zijn gerelateerd aan de afstand tussen bron en ontvanger en aan het funderingssysteem en de bouwelementen van de panden. In deze situatie lijkt het mogelijk om woningen op een voldoende grote afstand (minimaal 80 meter ten zuiden en minimaal 120 meters ten noorden, volgens de berekeningen) van de spoorweg te projecteren om trillingshinder te voorkomen. Maatregelen in de vorm van afstand tussen de spoorlijn en de woningen verdienen derhalve de voorkeur.

Bij de overgang van bodem naar gebouwfundatie treedt een verzwakking op van trillingen dus mogelijke maatregelen bij de ontvanger (nieuwbouw) zijn als volgt:

- Een optie is de plaatsing of een trillingsisolatie laag (dikke verloren bekisting van PUR) rond en beneden de nieuwe fundering. Deze maatregel heeft vooral effect bij een nieuwe fundering "op staal";
- Een optie is het gebruik van een minder trillingsgevoelig funderingssysteem (bijvoorbeeld op palen) in combinatie met het gebruik van vloerconstructies met bepaalde eigenfrequentie buiten het gebied van de spoortrillingen;
- Een andere optie kan zijn het uitvoeren van gebouwen met minimaal 4 bouwlagen in combinatie de toepassing van bouwmaterialen-/bouwtechnologieën met voldoende massa en stijfheid.

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 18 op bladzijde 18 van dit rapport).

Aanvullend onderzoek is nodig om het frequentie afhankelijke dempend effect, de aard en soort en de kosten van een bepaalde maatregel te berekenen. Hierbij is echter ook de inbreng van de gemeente, planontwikkelaar en mogelijk architect noodzakelijk.

Tabel 18: 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 bouw materiaal	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. CONCLUSIE

Uit de resultaten van het voorliggend indicatief onderzoek inzake hinder voor personen in gebouwen, kan het volgende worden geconcludeerd:

Samenvatting van de prognoseresultaten op verschillende afstanden van de spoorbaan in de woningen.

Identificatie	Afstand tussen nieuwbouwen en spoorbaan [m]	Voldaan aan SBR-B voor woningen	Hinderkwalificatie
Nieuwe woningen ten zuiden van het spoor	< 30	Nee, maatregelen noodzakelijk	Hinder
	$30 \leq \text{afstand} < 80$	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
	≥ 80	Ja	Weinig tot matige hinder
Nieuwe woningen ten noorden van het spoor	< 35	Nee, maatregelen noodzakelijk	Hinder
	$35 \leq \text{afstand} < 120$	Nee, maatregelen noodzakelijk	Matige hinder
	≥ 120	Ja	Weinig tot matige hinder

Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouwen tot een afstand van ca. 80 meter ten zuiden en 120 meter ten noorden van het spoor ten minste matige trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

Er dienen maatregelen te worden genomen (zie hoofdstuk 5 voor een overzicht van de mogelijkheden) om trillingshinder in de nieuwe gebouwen te voorkomen. Maatregelen in de vorm van afstand tussen de spoorlijn en de woningen verdienen hierbij de voorkeur.

Aanvullend onderzoek is nodig om het frequentie afhankelijke dempend effect, de aard en soort en de kosten van een bepaalde maatregel te berekenen. Hierbij is echter ook de inbreng van de gemeente, planontwikkelaar en de architect noodzakelijk.

AV-CONSULTING B.V.
Raadgevende ingenieurs

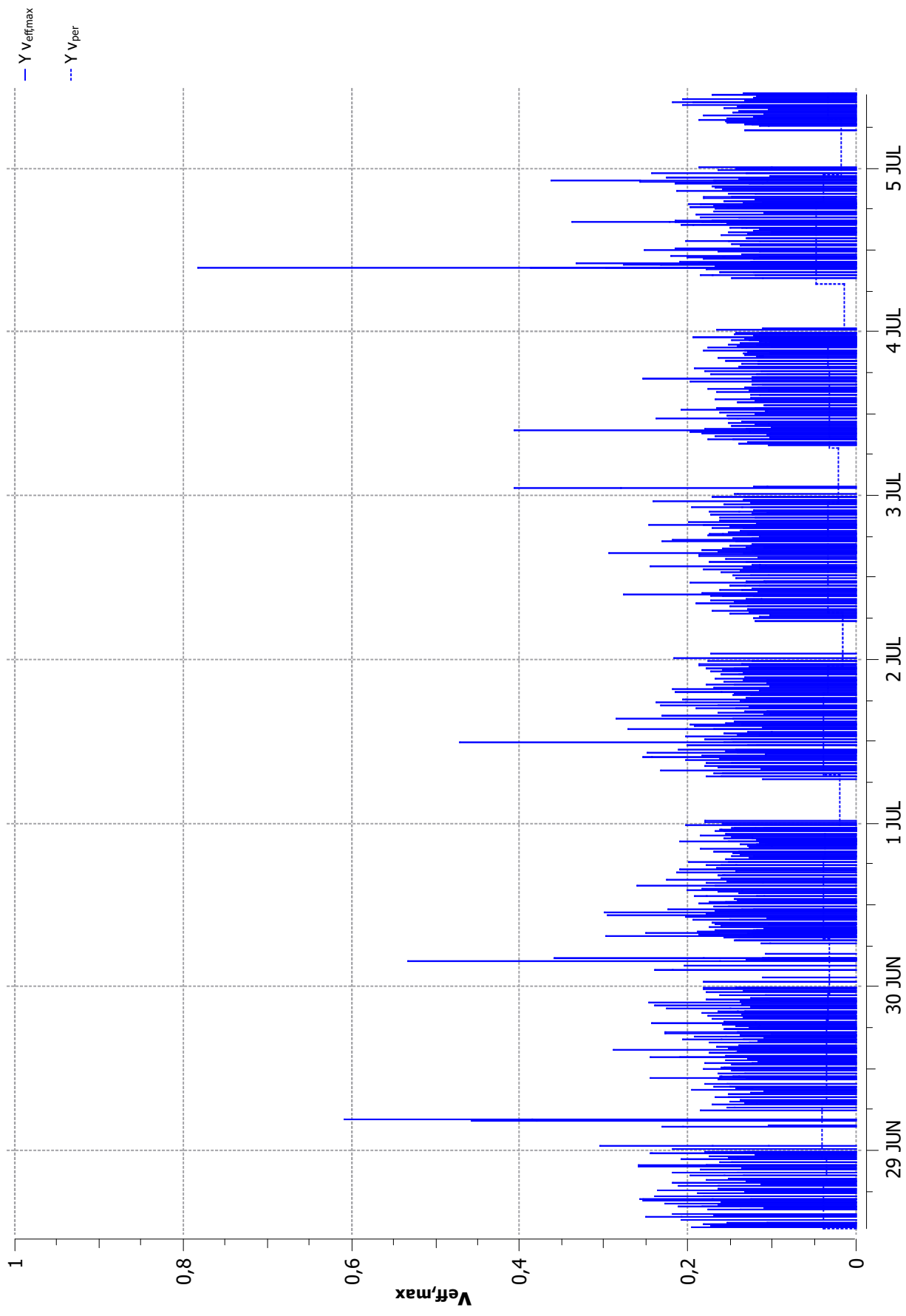
BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

- 1A: $V_{eff,max,30}$; V_{per} x-richting meetweek meetpositie 1
- 1B: $V_{eff,max,30}$; V_{per} y-richting meetweek meetpositie 1
- 1C: $V_{eff,max,30}$; V_{per} z-richting meetweek meetpositie 1
- 1D: $V_{eff,max,30}$; V_{per} x-richting meetweek meetpositie 2
- 1E: $V_{eff,max,30}$; V_{per} y-richting meetweek meetpositie 2
- 1F: $V_{eff,max,30}$; V_{per} z-richting meetweek meetpositie 2
- 1G: $V_{eff,max,30}$; V_{per} x-richting meetweek meetpositie 3
- 1H: $V_{eff,max,30}$; V_{per} y-richting meetweek meetpositie 3
- 1I: $V_{eff,max,30}$; V_{per} z-richting meetweek meetpositie 3
- 1J: Frequentie meetpositie 1
- 1K: Frequentie meetpositie 2
- 1L: Frequentie meetpositie 3
- 1M: Traces van hoogste trillingsniveaus meetpositie 1
- 1N: Spectrum van hoogste trillingsniveaus meetpositie 1
- 1O: Traces van hoogste trillingsniveaus meetpositie 2
- 1P: Spectrum van hoogste trillingsniveaus meetpositie 2
- 1Q: Traces van hoogste trillingsniveaus meetpositie 3
- 1R: Spectrum van hoogste trillingsniveaus meetpositie 3

VIB00098 Ravenstein 1 2021-06-28



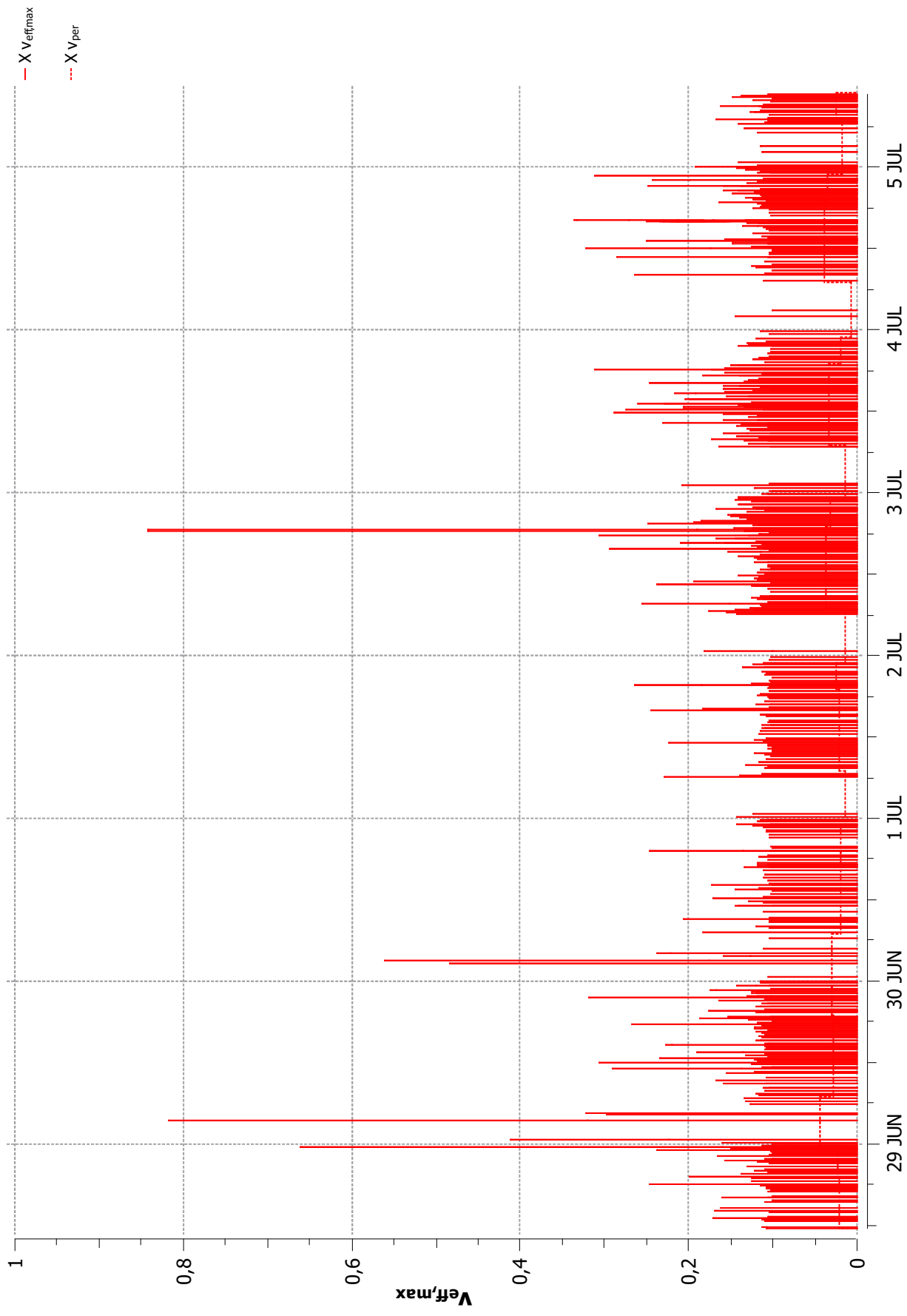
VIB00098 Ravenstein 1 2021-06-28



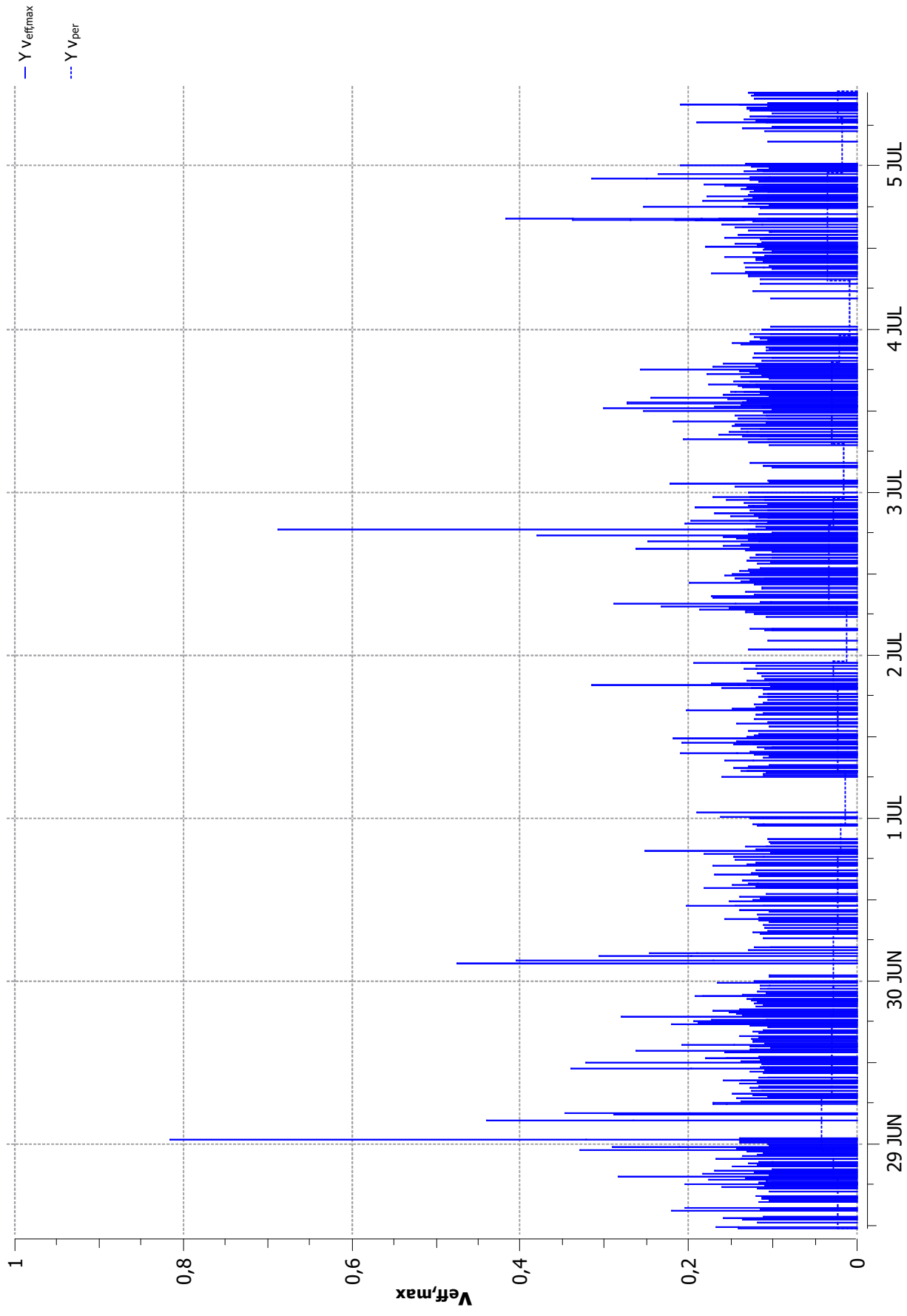
VIB000098 Ravenstein 1 2021-06-28



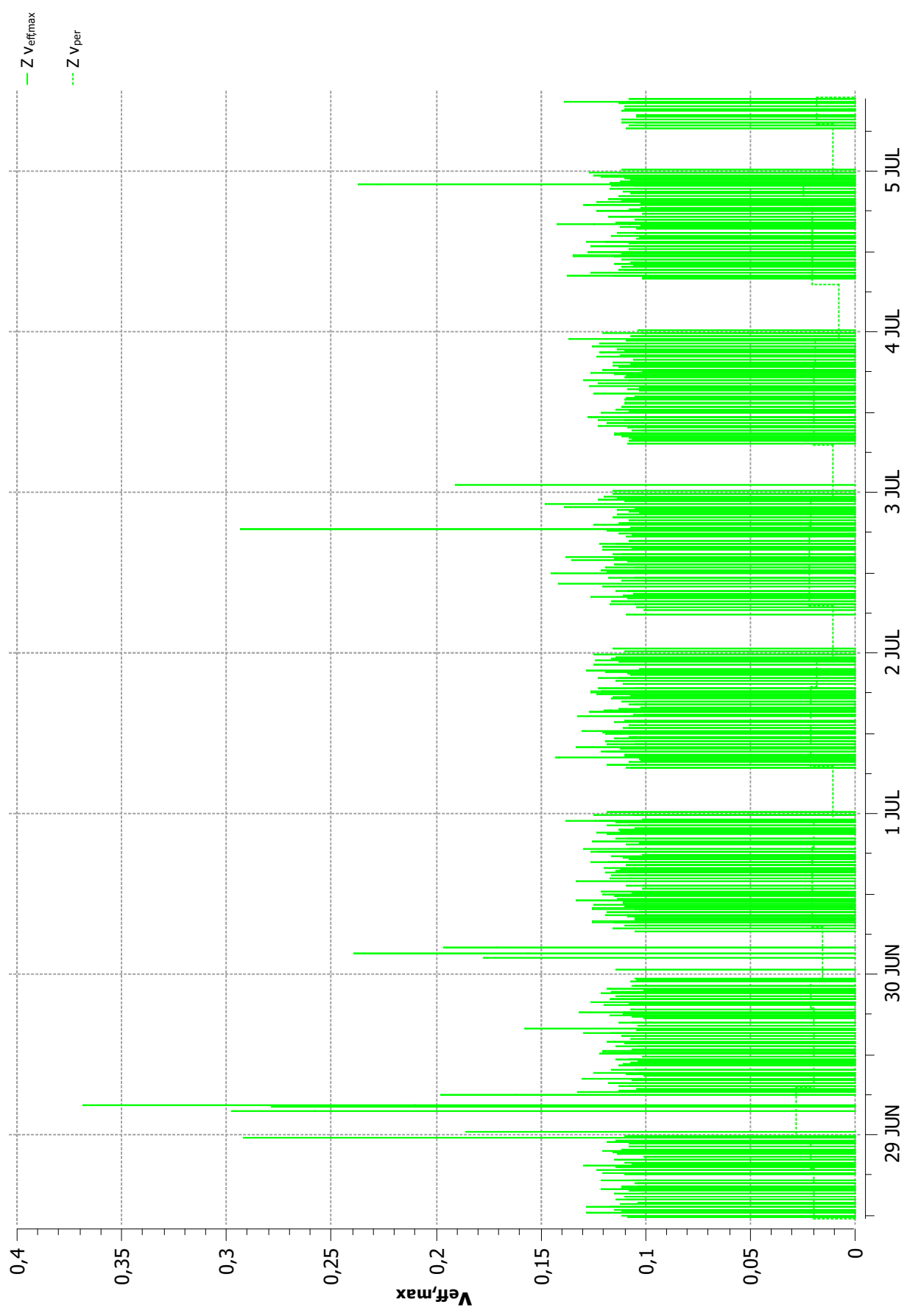
VIB00094 Ravenstein 2 2021-06-28



VIB00094 Ravenstein 2 2021-06-28



VIB00094 Ravenstein 2 2021-06-28



Revision: 3 Unit ID: AHPON2j2DGGHwvL2x0 SN: 06-18-18 Last Calibration: 06/09/2021

Open File

18 h Day, Evening
21 h Evening, Night
7 h Night, Day

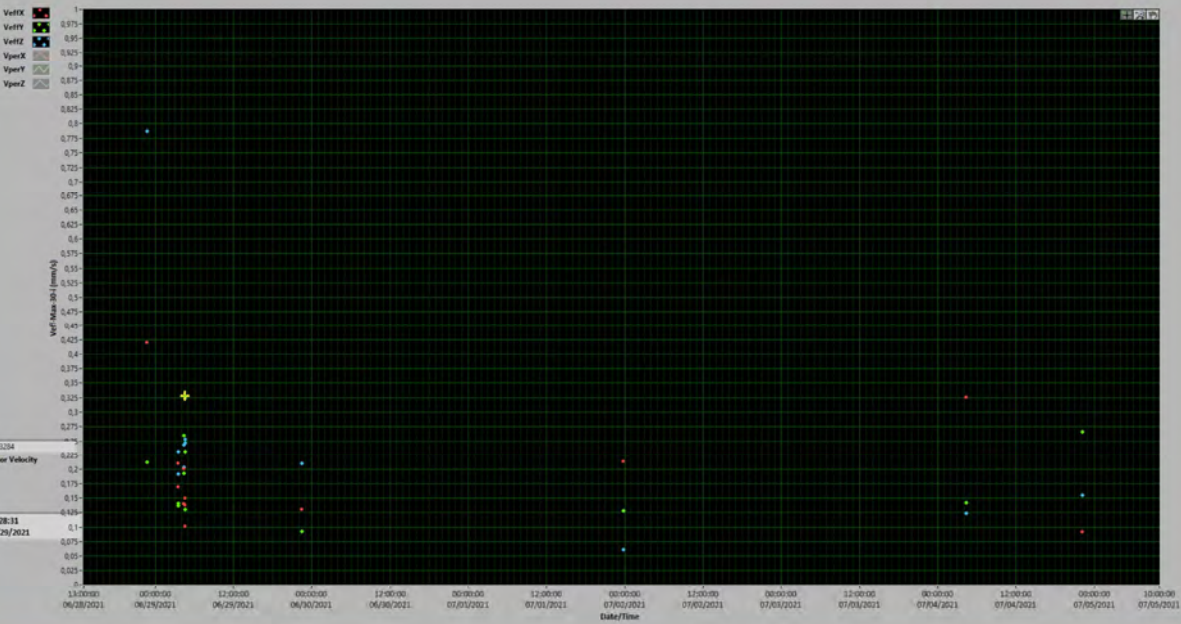
SRR: 8 Standard

Dwell: Applicability

Count/Qty: 3 months Type

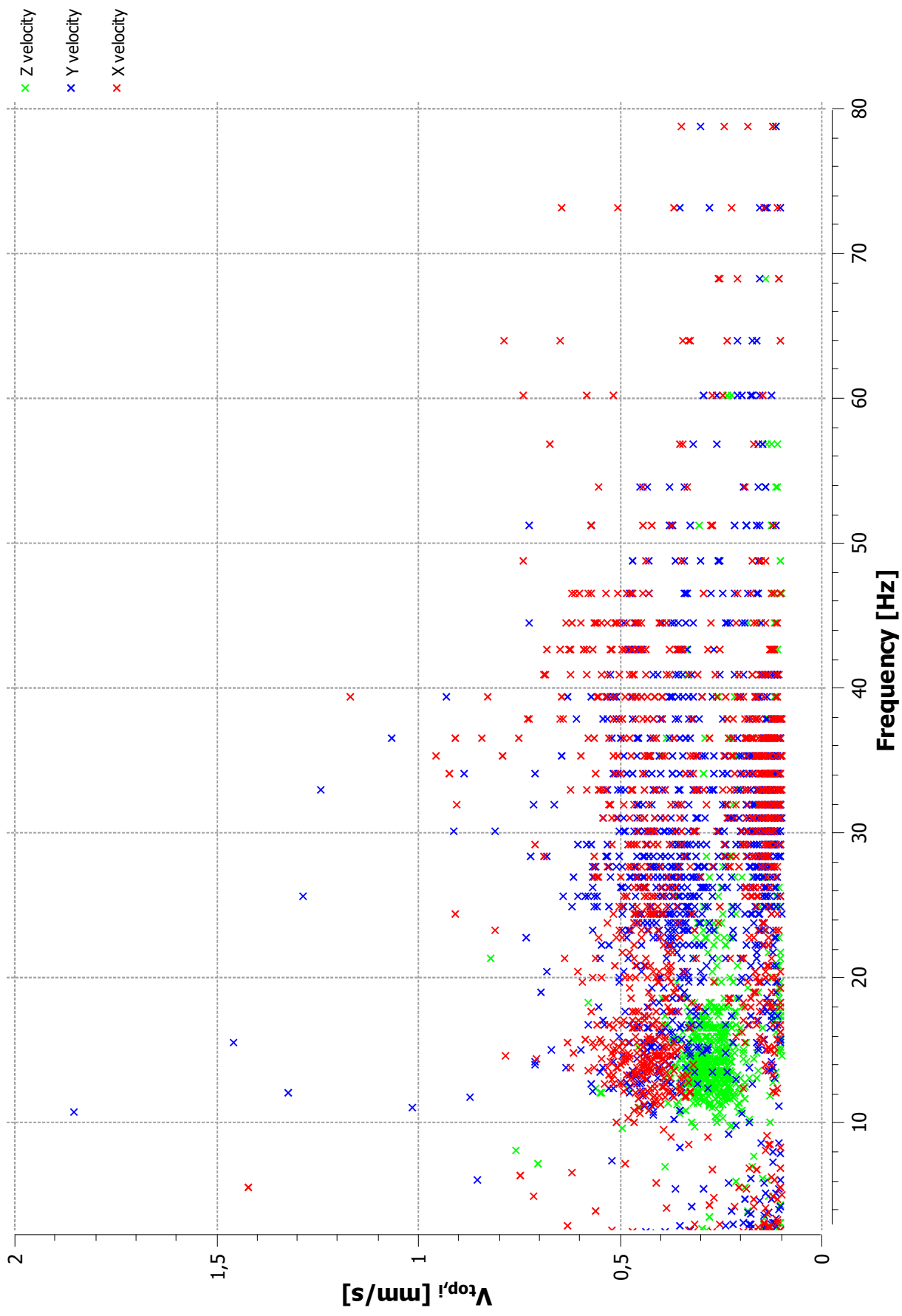
Normal Status

Summary Scatter Plot Time Spectral Pass/Fail

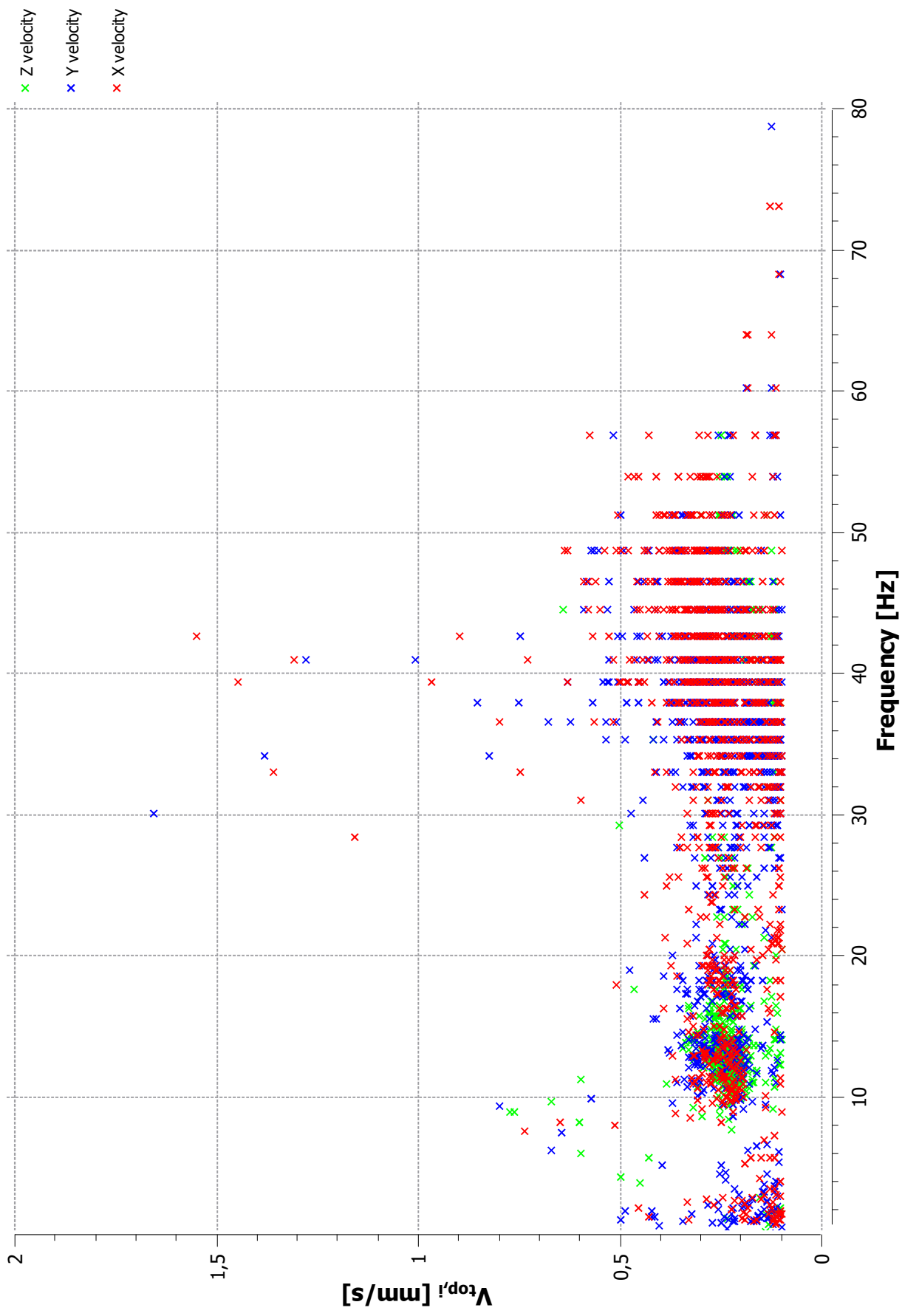


VSEW_m42 recommended configuration:
- Signal Rate Acceleration to Velocity X, Y, Z
- Sampling Frequency >= 50 Hz
- Highpass cutoff: 1 Hz
- Autotrac mode with 30 s min quiet time

VIB00098 Ravenstein 1 2021-06-28



VIB00094 Ravenstein 2 2021-06-28



Experiment 3 Name ID A44076232023@hmvul_zhD SN 09-10-18 06/09/2021 Last Calibration

Open File

Plotting Window

18 N Day_Score
23 N Evening_High
7 N Night_Day

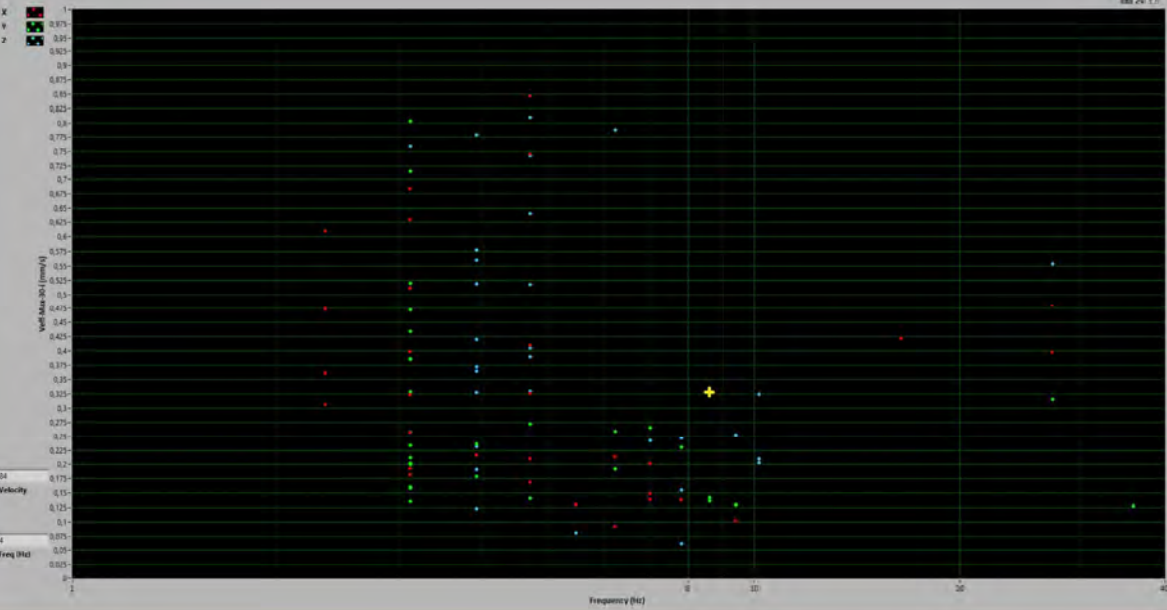
SRR-B Standard

DwellTime Applicability

Count/Exp = 3 months Term

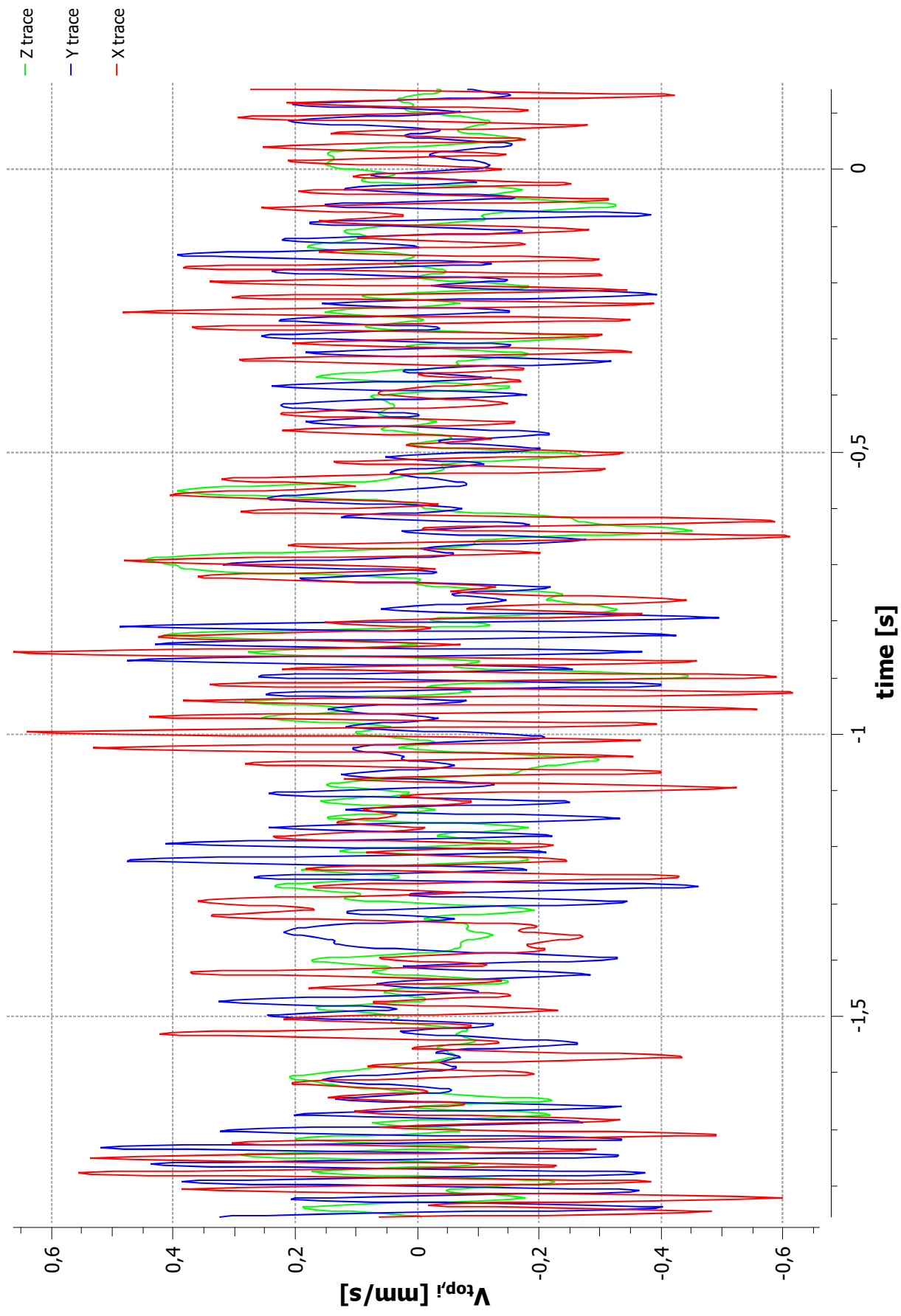
Normal Status

Summary Scatter Plot Wave Spectral Fast/Fail

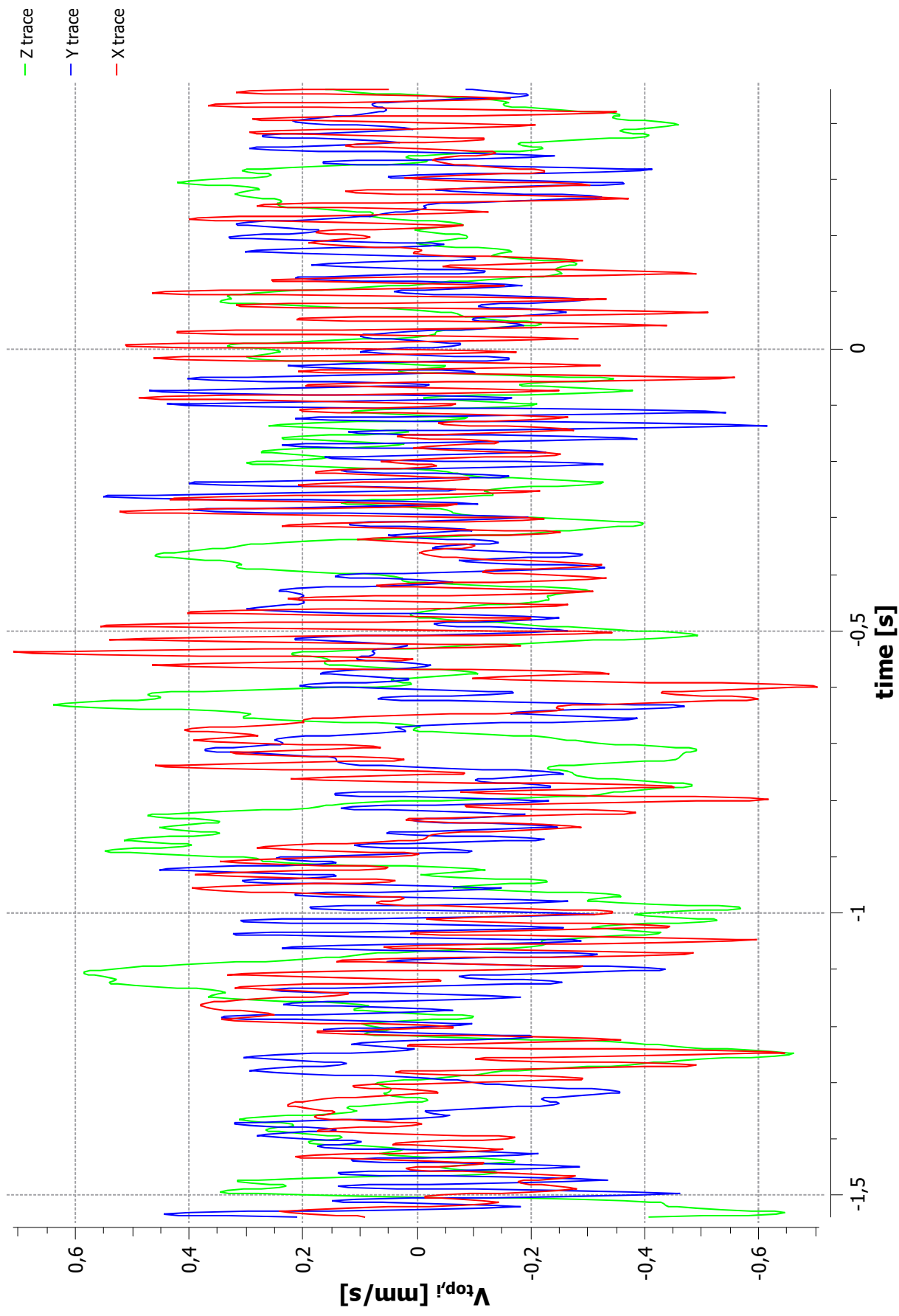


VSEI, m42 recommended configuration:
- Signal Raw Acceleration or Velocity X, Y, Z
- Sampling Frequency >= 500 Hz
- Highpass cutoff: 1 Hz
- Autotune mode with 10 s min quiet time

Velocity Trace: 2021-06-29 00:34:39



Velocity Trace: 2021-06-29 03:28:21







BIJLAGE 2: BEREKENINGSBLADEN

2A: Berekening trillingsniveaus gebouwen zuid op afstand 30 m

2B: Berekening trillingsniveaus gebouwen zuid op afstand 80 m

2C: Berekening trillingsniveaus gebouwen zuid op afstand 35 m

2D: Berekening trillingsniveaus gebouwen zuid op afstand 120 m

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

Wonigen op 30 afstand van het spoor, ten zuiden.

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
15	30	0,5	0,02	0,02	0,02	2,5	2,5	2,5

Dagperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,18	15	30	0,5	0,02
	0,03	15	30	0,5	0,02

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,24
0,04

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,094	8
	0,016	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,32	15	30	0,5	0,02
	0,04	15	30	0,5	0,02

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,42
0,05

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,168	8
	0,021	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,47	15	30	0,5	0,02
	0,04	15	30	0,5	0,02

Prognose
trillingsniveaus
(op de vloer) [-]

Vmax
Vper

0,62
0,05

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,246	8
	0,021	-

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,20	15	30	0,5	0,02		0,105	8
Vper	0,03	15	30	0,5	0,02	Vper	0,016	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,26							
	0,04							

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,32	15	30	0,5	0,02		0,168	8
Vper	0,04	15	30	0,5	0,02	Vper	0,021	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,42							
	0,05							

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,47	15	30	0,5	0,02		0,246	8
Vper	0,04	15	30	0,5	0,02	Vper	0,021	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,62							
	0,05							

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,33	15	30	0,5	0,02		0,17	8
	0,03	15	30	0,5	0,02		0,02	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,43							
	0,04							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,48	15	30	0,5	0,02		0,25	8
	0,04	15	30	0,5	0,02		0,02	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,63							
	0,05							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,61	15	30	0,5	0,02		0,32	8
	0,04	15	30	0,5	0,02		0,02	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,80							
	0,05							

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

Wonigen op 80 meters afstand van het spoor, ten zuiden.

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
15	80	0,5	0,02	0,02	0,02	2,5	2,5	2,5

Dagperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,18	15	80	0,5	0,02
	0,03	15	80	0,5	0,02

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,05
	0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,021	8
	0,004	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,32	15	80	0,5	0,02
	0,04	15	80	0,5	0,02

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,09
	0,01

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,038	8
	0,005	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,47	15	80	0,5	0,02
	0,04	15	80	0,5	0,02

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

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,055	8
	0,005	-

Avondperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,20	15	80	0,5	0,02
Vper	0,03	15	80	0,5	0,02

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]	
Vmax	0,06	
Vper	0,01	

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,024	8
Vper	0,004	-

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,32	15	80	0,5	0,02
Vper	0,04	15	80	0,5	0,02

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]	
Vmax	0,09	
Vper	0,01	

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,038	8
Vper	0,005	-

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,47	15	80	0,5	0,02
Vper	0,04	15	80	0,5	0,02

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

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,055	8
Vper	0,005	-

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,33	15	80	0,5	0,02		0,039	8
	0,03	15	80	0,5	0,02		0,004	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,10							
	0,01							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,48	15	80	0,5	0,02		0,057	8
	0,04	15	80	0,5	0,02		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,14							
	0,01							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,61	15	80	0,5	0,02		0,072	8
	0,04	15	80	0,5	0,02		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,18							
	0,01							

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

Wonigen op 35 meters afstand van het spoor, ten noorden.

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
25	35	0,5	0,01	0,02	0,02	3	2,5	2,5

Dagperiode

Z-richting

Veff,max

Vper

VR0 [-]

0,33

0,03

R0 [m]

25

25

R [m]

35

35

n [-]

0,5

0,5

α [1/m] Z

0,01

0,01

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

0,76

0,07

Veff,max

Vper

VR [-]

0,252

0,023

Frequentie [HZ]

4

-

X-richting

Veff,max

Vper

VR0 [-]

0,41

0,04

R0 [m]

25

25

R [m]

35

35

n [-]

0,5

0,5

α [1/m] X

0,02

0,02

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

0,71

0,07

Veff,max

Vper

VR [-]

0,284

0,028

Frequentie [HZ]

8

-

Y-richting

Veff,max

Vper

VR0 [-]

0,32

0,04

R0 [m]

25

25

R [m]

35

35

n [-]

0,5

0,5

α [1/m] Y

0,02

0,02

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

0,55

0,07

Veff,max

Vper

VR [-]

0,221

0,028

Frequentie [HZ]

8

-

Avondperiode

Z-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,29	25	35	0,5	0,01		0,222	4	
	0,03	25	35	0,5	0,01		0,023	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,67								
	0,07								

X-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,41	25	35	0,5	0,02		0,284	32	
	0,04	25	35	0,5	0,02		0,028	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,71								
	0,07								

Y-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,32	25	35	0,5	0,02		0,221	32	
	0,04	25	35	0,5	0,02		0,028	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,55								
	0,07								

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,37	25	35	0,5	0,01		0,283	4
	0,03	25	35	0,5	0,01		0,023	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,85							
	0,07							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,41	25	35	0,5	0,02		0,284	8
	0,05	25	35	0,5	0,02		0,035	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,71							
	0,09							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,32	25	35	0,5	0,02		0,221	8
	0,04	25	35	0,5	0,02		0,028	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,55							
	0,07							

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

Wonigen op 120 afstand van het spoor, ten noorden.

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
25	120	0,5	0,01	0,02	0,02	3	2,5	2,5

Dagperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,33	25	120	0,5	0,01		0,058	4
	0,03	25	120	0,5	0,01		0,005	-

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,17
	0,02

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,41	25	120	0,5	0,02		0,028	8
	0,04	25	120	0,5	0,02		0,003	-

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

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,32	25	120	0,5	0,02		0,022	8
	0,04	25	120	0,5	0,02		0,003	-

Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
	0,05
	0,01

Avondperiode

Z-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,29	25	120	0,5	0,01
Vper	0,03	25	120	0,5	0,01

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]	
Vmax	0,15	
Vper	0,02	

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,051	4
Vper	0,005	-

X-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,41	25	120	0,5	0,02
Vper	0,04	25	120	0,5	0,02

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

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,028	8
Vper	0,003	-

Y-richting

	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,32	25	120	0,5	0,02
Vper	0,04	25	120	0,5	0,02

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]	
Vmax	0,05	
Vper	0,01	

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,022	8
Vper	0,003	-

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,37	25	120	0,5	0,01		0,065	4
	0,03	25	120	0,5	0,01		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,20							
	0,02							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,41	25	120	0,5	0,02		0,028	8
	0,05	25	120	0,5	0,02		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,07							
	0,01							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,32	25	120	0,5	0,02		0,022	8
	0,04	25	120	0,5	0,02		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,05							
	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-frequentiekaracteristiek: 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.

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, $N = 960$
aantal gehele tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van een meting
tijd, in s
totale tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is in een beoordelingsperiode, in s
tijdsduur van de meting, in s
tijdsduur van de beoordelingsperiode, in s
tijdconstante, in s
grootste waarde van $v_{\text{eff,max}}$ in de beschouwde ruimte, dimensieloos
trillingssterkte over de beoordelingsperiode behorende bij de ruimte, dimensieloos en bepaald op basis van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima $v_{\text{eff,max,30,i}}$. 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.
momentane waarde van de gewogen trillingsgrootheid, dimensieloos
voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid, dimensieloos
de grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ over de meetduur, dimensieloos
de grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos
de statistisch bepaalde grootste waarde van $v_{\text{eff}}(t)$ over de meetduur, dimensieloos
referentiewaarde van de wegingfunctie, $v_o = 1,0$ mm/s
de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van $v_{\text{eff,max,30,i}}$ over de meetperiode
maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden

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 ($9,81 \text{ m/s}^2$)
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 $V_{\text{max,1}}$ dimensieloos
 A_2 maximale waarde voor de trillingssterkte $V_{\text{max,1}}$ dimensieloos
 A_3 streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\text{per,1}}$ 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 trillingsnelheid, s/mm
i variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin $v_{\text{eff,max,30,i}}$ is gemeten

BIJLAGE 4: TEKENINGEN

