



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 2006007490-20242756

21 februari 2024

TRILLINGSONDERZOEK

Smachtkamp 60 Opheusden

SBR-richtlijn B: "Hinder voor personen in gebouwen".
in nieuwbouw woningen

AKOESTIEK

TRILLINGEN

MILIEU-
VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

BEZWAAR
EN BEROEP

Opdrachtgever
ANREMA Projecten B.V.
Burg Lodderstraat 36
4043KM OPHEUSEN

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

Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Gegevens	1
2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN	2
2.1. Inleiding	2
2.2. Streefwaarden uit de SBR-B	3
3. METINGEN EN BEREKENING	5
3.1. Situatie en uitgangspunten	5
3.2. Trillingsmetingen.....	6
3.3. Overdrachtsprognoses van de trillingen door de bodem.....	8
3.4 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen.....	10
4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE	12
4.1. Meetresultaten	12
4.2. Nauwkeurigheidsmarge metingen.....	13
5. MOGELIJKE MAATREGELEN	14
6. PROGNOSES TRILLINGSNIVEAUS IN DE WONINGEN	15
6.1. Berekende trillingsniveaus in de woningen	15
6.2. Vloerresonanties	15
7. RANDVOORWAARDEN BOUWEN VAN WONINGEN	16
7.1. Eerste lijn bebouwing	16
7.2. Overige woningen	16
7.3. Nauwkeurigheidsmarge berekeningen	16
7.4. Disclaimer.....	16
8. CONCLUSIES	17

BIJLAGEN:

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

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van ANREMA Projecten B.V. is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd voor een nieuw stedenbouwkundig plan, Smachtkamp 60 binnen de spoorzone te Opheusden. 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 - Valburg - Kesteren - Tiel. In het onderzoek worden randvoorwaarden aan het stedenbouwkundigplan 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) Publicatie nr. 9/1995 "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" van de Ministerie van Volkshuisvesting.
- 5) Plattegrondtekening van het stedenbouwkundige plan in de spoorzone te Opheusden door opgave van de opdrachtgever.
- 6) Boormonsterprofiel beschikbaar op DINoloket.
- 7) Gegevens van het spoorverkeer uit het Centrale Voorziening Geluidgegevens.
- 8) Publicatie "Simplified design for vibration screening by open and in-filled trenches" van S. Ahmad en T. M. Al-Hussaini (ASCE).
- 9) Rapport "Trillingsonderzoek Doorrooststation Utrecht, Onderzoek naar mitigerende maatregelen" d.d. 2 december 201 van Ingenieursbureau Movares.
- 10) Hölscher, Waarts "Reliability of vibration predictions and reducing measures", rapport DC-01.05.02-20.
- 11) 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 :

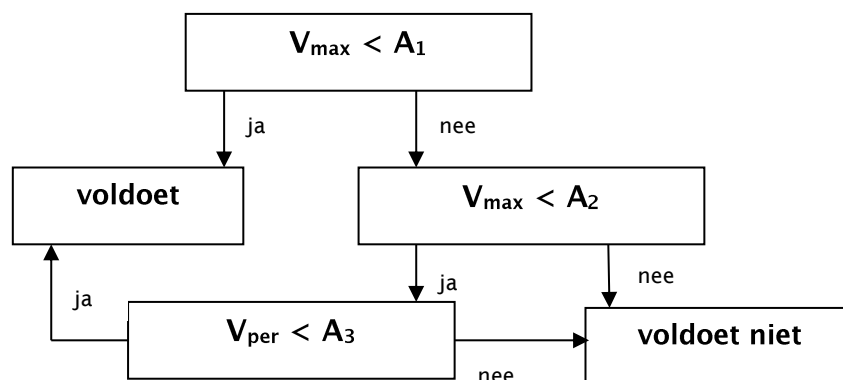
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

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 [-]	A_3 [-]	A_1 [-]	A_2 [-]	A_3 [-]
Wonen (nieuwe situatie)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

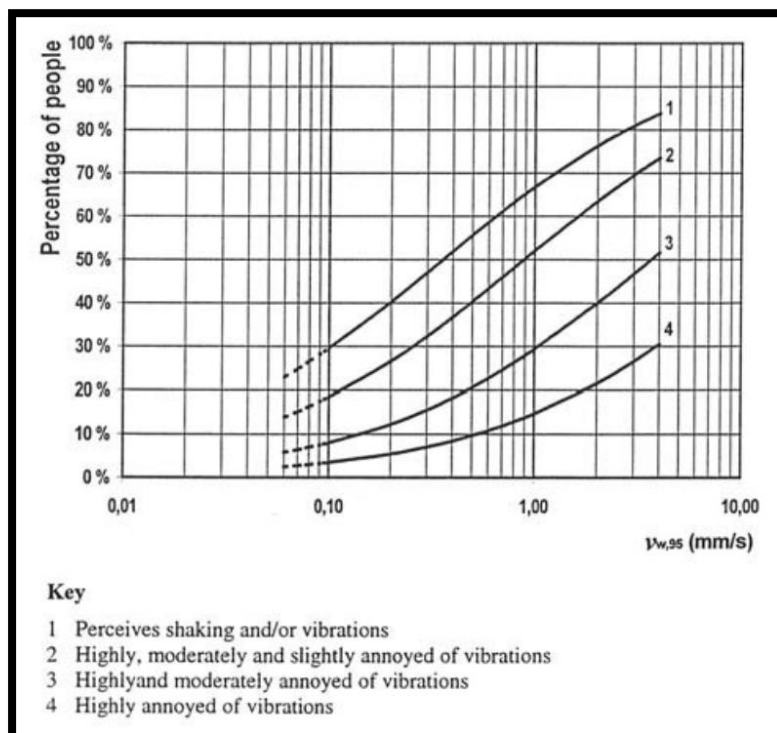
Toetsing zal plaatsvinden voor zowel de dag-, avond- en nachtp periode aangezien het railverkeer plaatsvindt in deze perioden.

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 tijdstip, 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 niveau 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 -en goederentreinen.

Noordbaan

Naam	Coördinaten	Eigenschappen	Intensiteit	Emissie				
Uurintensiteiten per periode								
	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)
1	DM'90	Stoppend	1,240	76	1,000	76	0,280	76
2	LINT	Stoppend	1,220	76	0,960	76	0,240	76

Zuidbaan

Naam	Coördinaten	Eigenschappen	Intensiteit	Emissie				
Uurintensiteiten per periode								
	Treintype	Profiel	Q(D)	V(D)	Q(A)	V(A)	Q(N)	V(N)
1	GOEDEREN	Doorgaand	--	90	0,010	90	0,010	90
2	DM'90	Stoppend	1,280	-100	1,000	-100	0,200	-100
3	LINT	Stoppend	1,240	-100	0,980	-100	0,200	-100

In figuur 1 is de nieuwe situatie weergegeven.



Figuur 1: Ligging 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 “op palen gefundeerd”.

3.2. Trillingsmetingen

Onbemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op het terrein ten noorden van het spoor met een tri-axiale trillingsopnemer welke gemonteerd is op een 1 meter lange metalen staaf die in de grond is gedreven. Dit is een beproefde methode om laagfrequente trillingen in de bodem te kunnen meten.

Tijdens de metingen was het terrein niet in gebruik.

De meetpositie ligt op een denkbeeldige lijn loodrecht uit het spoor op de volgende meetpositie:

- Op een afstand van 27,5 meter uit het hart van het noordelijk spoor (meetpositie 1, ten noorden van het spoor). De afstand is in situ met een laser gemeten t.o.v. de buitenste rails.



Figuur 2: Overzicht van de meetpositie in het plangebied (punt 01)

Op basis van de meetresultaten op de meetpositie 1 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.

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 figuur 3 is de ondergrondse meetposities 1 weergegeven.



Figuur 3: Foto van meetpositie 1 in het terrein, 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 5 februari 2024 in de ochtend t/m de ochtend van dinsdag 13 februari 2024. Op de meetlocatie zijn in drie richtingen (één verticaal en twee horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De z-richting is verticaal, de y-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.

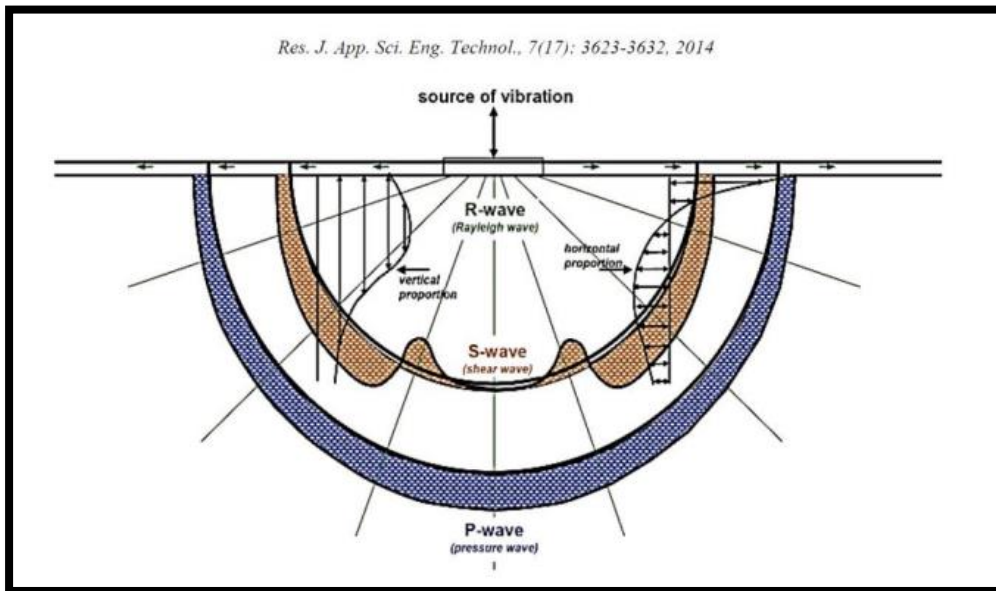
Tabel 4: Gebruikte meetapparatuur.

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

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 belangrijkste 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 4: 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. Daarom is voor de prognoseberekening de materiaaldemping - α in de formule - bepaald op $\alpha = 0,02$ [1/m] voor de lage frequenties. De theoretische materiaaldemping bedraagt $\alpha = 0,02$ [1/m] voor trillingen met een dominante frequentie rond 10 Hz. Trillingsgolven met dominante frequenties rond de 30 Hz (of daarboven) worden sneller gedempt met de toename van de afstand.

De berekende overdracht van de trillingen in de bodem vanaf meetpositie nr. 1 tot meetpositie nr. 7 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 bij circa 10 Hz 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 rond de 10 Hz in de z-richting, 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. Ook zijn er trillingen met dominante frequenties rond de 30-35 Hz, deze zijn echter niet maatgevend vanwege de hogere damping bodem naar gebouw.

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 bouwtype voor de nieuwbouw als "gebouw op palen" beschouwd.

Bij de dominante frequenties van ca. 10 Hz is de verzwakking 2 dB voor onderheide gebouwen, dit is een factor van ca. 0,8 ($H_{f,xy}$ 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 6. 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 (zie tabel 6). 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 de vloeren met een kleine overspanning is bij ca. 10 Hz gerekend met een versterking van ca. 8 dB, dit is een factor van ca. 2,5.

Cumulatie overdrachtsprognose:

De cumulatieve overdrachtsfactor Hfv bedraagt derhalve 2.

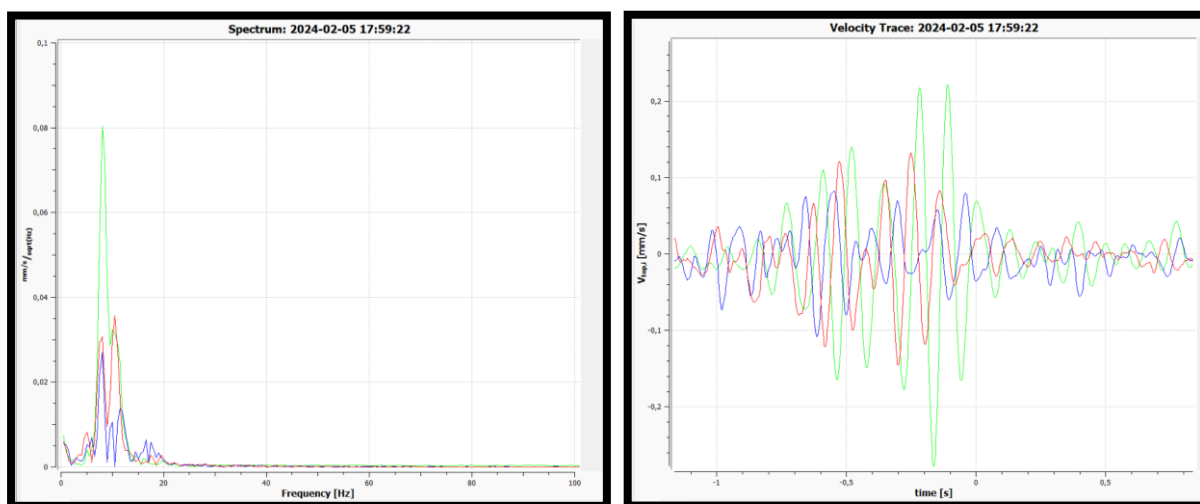
Bij op staal gefundeerde woningen bedraagt deze 2,5.

4. RESULTATEN TRILLINGSHINDER EN PROGNOSE

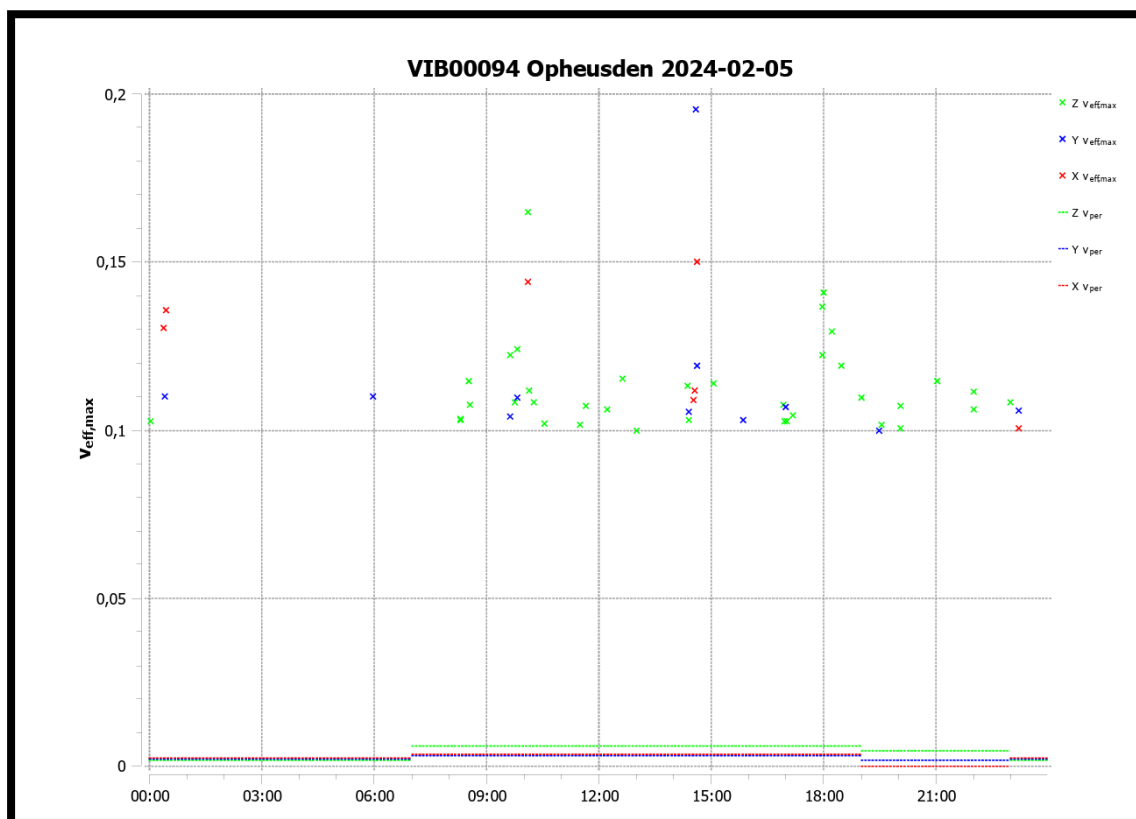
4.1. Meetresultaten

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 inclusief dominante frequenties, traces en spectra zijn in bijlage 1 opgenomen.

In figuren 5 t/m 6 zijn de trace/spectra van de meeste relevante trillingen (hoogst laagfrequente opgetreden trillingsniveaus) vanwege railverkeer weergegeven, gemeten op meetpositie 1.



Figuur 5: Spectrum op meetpositie 1 van een relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.



Figuur 6: Veff,max meeste relevante trillingsniveaus vanwege railverkeer (goederentrein), de gemeten snelheidswaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.

In tabel 7 zijn de hoogste meetwaarden voor de lage maatgevende frequenties gegeven, deze zijn ook maatgevend voor de prognoseberekningen. Zie ook bijlage 1.

Tabel 7: Meetresultaten maatgevende voor de prognoseberekningen hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Meetpunt	Afstand [m]	Dag			Avond			Nacht			Vper
		Veff_x	Veff_y	Veff_z	Veff_x	Veff_y	Veff_z	Veff_x	Veff_y	Veff_z	
		mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	
1	27,5	0,15	0,19	0,17	0,1	0,1	0,11	0,14	0,11	0,11	0,01

Op basis van de meetresultaten op positie 1 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.

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 wielen (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 referentiegrrootheid voor trillingssnelheid bedraagt $V_0 = 1 \text{ nm/s}$ (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 $\pm 2 \text{ dB}$.

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 8).

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 bouw materiaal	massa en stijfheid toevoegen: verlaagt responsie van gebouw op trillingen (soms kan ook extra damping 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 TRILLINGSNIVEAUS IN DE WONINGEN

6.1. Berekenende trillingsniveaus in de woningen

De resulterende trillingsniveaus zijn gegeven in tabel 9.

Tabel 9: Gepronosticeerde trillingsniveaus in de woningen uitgaande van de gestelde randvoorwaarden en cumulatieve overdrachtsfactor van $H_{fv} = 2$.

Toetspnt	Afstand [m]	Dag			Avond			Norm		Nacht			Vper	Norm		
		Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	A1	A2	Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	A3	A1	A2	A3
1	27,5	0,3	0,38	0,34	0,2	0,2	0,22	0,10	0,40	0,28	0,22	0,22	0,01	0,10	0,20	0,050
2	55,4	0,12	0,15	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,40	0,11	0,09	0,09	0,005	0,10	0,20	0,050
3	64,0	0,09	0,12	0,11	0,06	0,06	0,07	0,10	0,40	0,09	0,07	0,07	0,005	0,10	0,20	0,050
4	55,4	0,12	0,15	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,40	0,11	0,09	0,09	0,01	0,10	0,20	0,050
5	72,2	0,08	0,1	0,09	0,05	0,05	0,06	0,10	0,40	0,07	0,06	0,06	0,005	0,10	0,20	0,050
6	68,5	0,08	0,11	0,09	0,06	0,06	0,06	0,10	0,40	0,08	0,06	0,06	0,005	0,10	0,20	0,050
7	52,0	0,13	0,17	0,15	0,09	0,09	0,1	0,10	0,40	0,12	0,1	0,1	0,005	0,10	0,20	0,050

Uit tabel 9 blijkt dat alleen bij de 1^e lijnsbebouwing op 27,5 meter uit het hart van de noordelijke spoorbaan er een overschrijding wordt geprognosticeerd. Bij de overige woningen wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B.

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 het hart van de noordelijke spoorbaan.

6.2. Vloerresonanties

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 bedraagt 10 Hz en in mindere mate 31-35 Hz (laatste wordt verzwakt van bodem naar fundering). 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 (vloerresonantie).

Tabel 10: Eigenfrequenties vloeren

Indicatieve tabel eigenfrequenties diverse vloerconstructies					
Eigenfrequentie vlgs 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 vlgs 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 vlgs 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 bouwvraag				

Ingeklemden vloeren hebben een hogere eigenfrequentie dan scharnierend opgelegde vloeren.

7. RANDVOORWAARDEN BOUWEN VAN WONINGEN

7.1. Eerste lijn bebouwing

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 1^e eigenfrequentie > 15 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.

7.2. Overige woningen

1. Op palen gefundeerd.
2. Grondgebonden woningen (of zwaarder).
3. Dragende wanden massief uitvoeren.

7.3. Nauwkeurigheidsmarge berekeningen

Trillingen kunnen ook uitgedrukt worden in decibels. De referentiegrootte voor trillingssnelheid bedraagt $V_0 = 1 \text{ nm/s}$ (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 $\pm 2 \text{ dB}$.

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%.

7.4. 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.

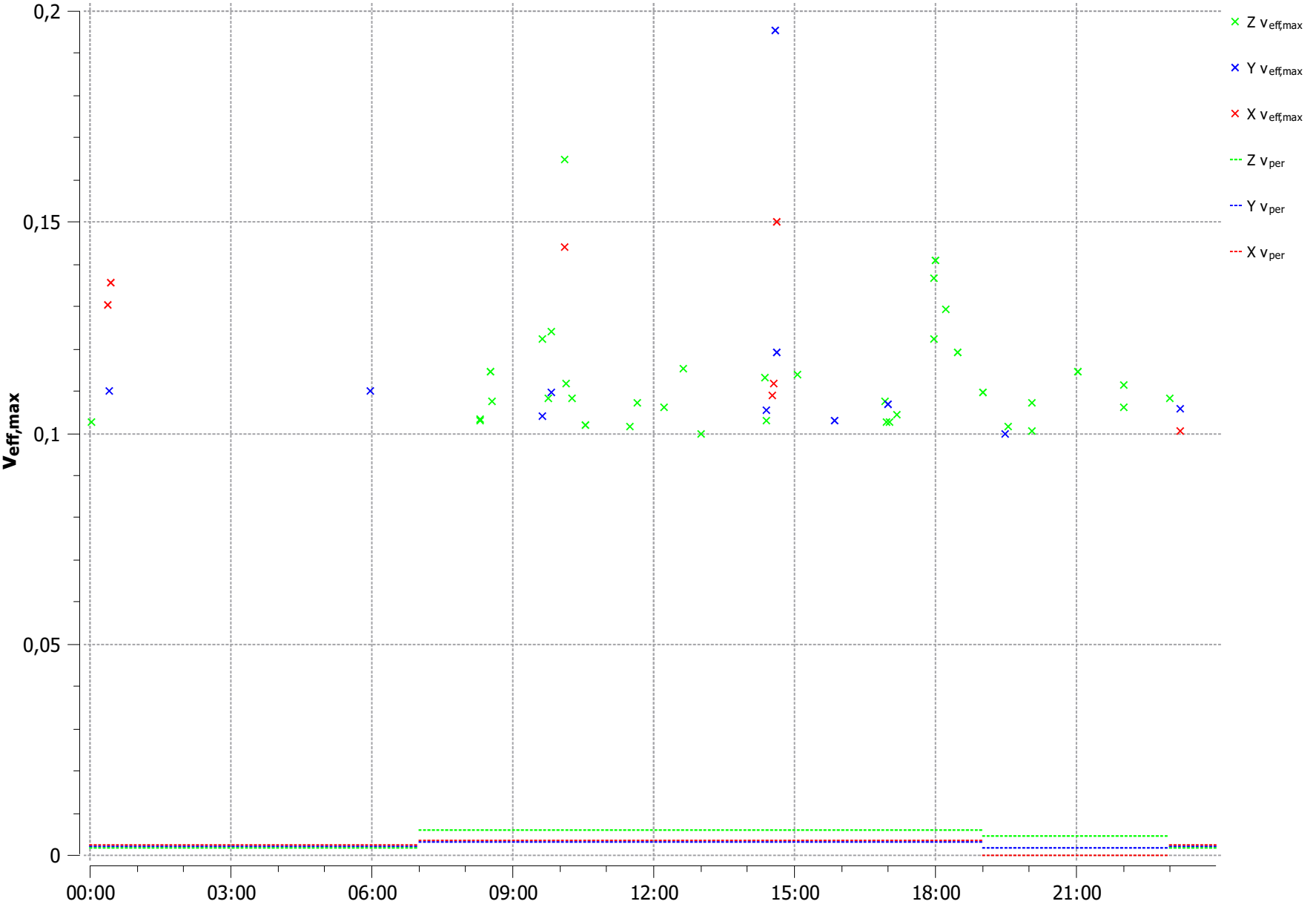
- De geprognoseerde “hinderzone” ligt op 27,5 meter ten noorden van het spoor. Dit is de éerstlijnsbebouwing. Bij deze woningen zullen aanvullende maatregelen getroffen moeten worden om aan de trillingsrichtlijn te kunnen voldoen. Zie hoofdstuk 7.
- Bij de overige woningen zijn geen speciale aanvullende maatregelen noodzakelijk, mits deze worden onderheid en traditioneel gebouwd worden. Lichte woningen of op staal gefundeerde woningen dienen nader te worden beschouwd op hun merites qua trillingsgevoeligheid. Zie de randvoorwaarden in hoofdstuk 7.
- Ten aanzien van de meetonzekerheid wordt verwezen naar hoofdstuk 4.2 en ten aanzien van de rekenonzekerheid naar hoofdstuk 7.3.

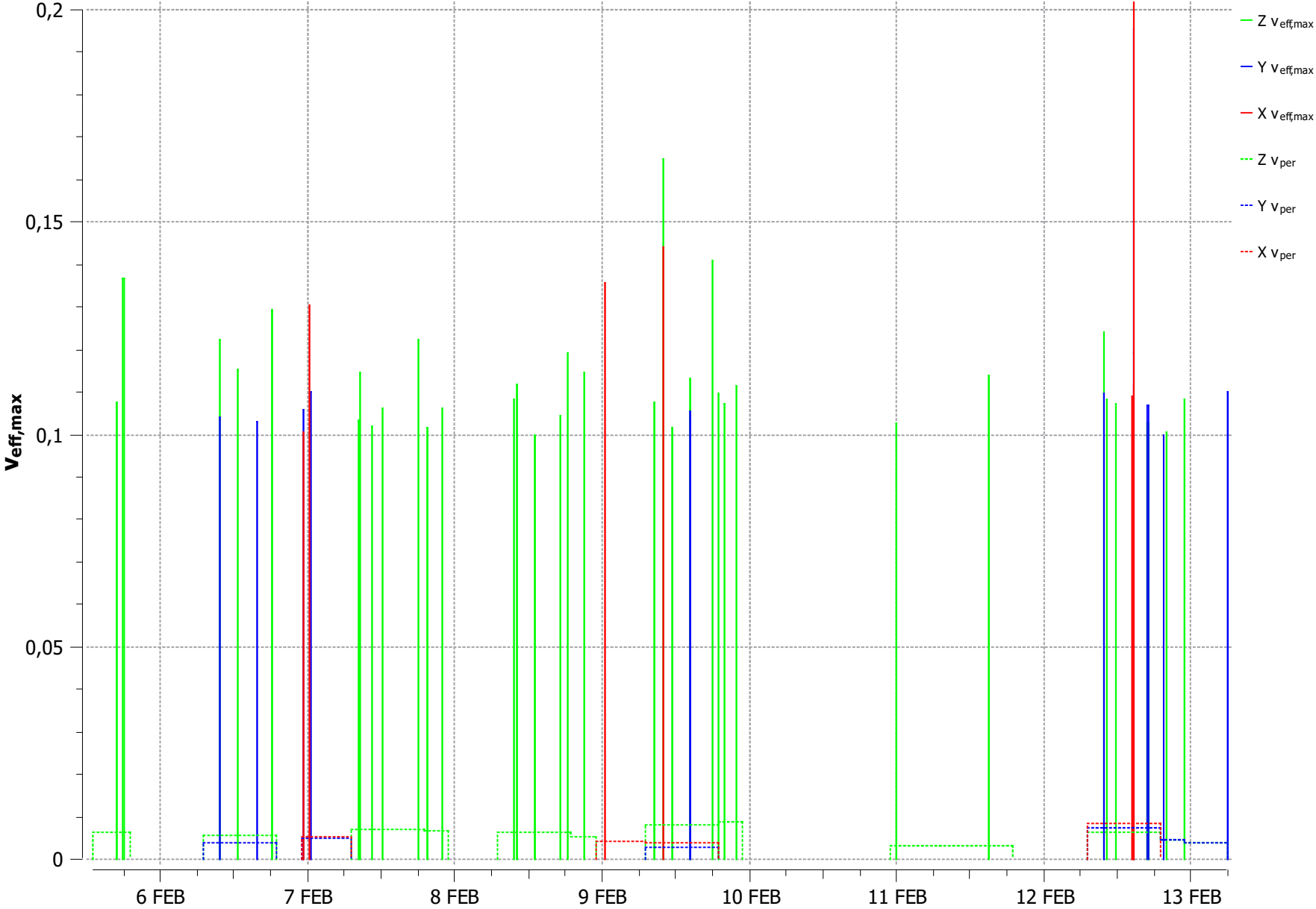
AV-CONSULTING B.V.

Raadgevende ingenieurs

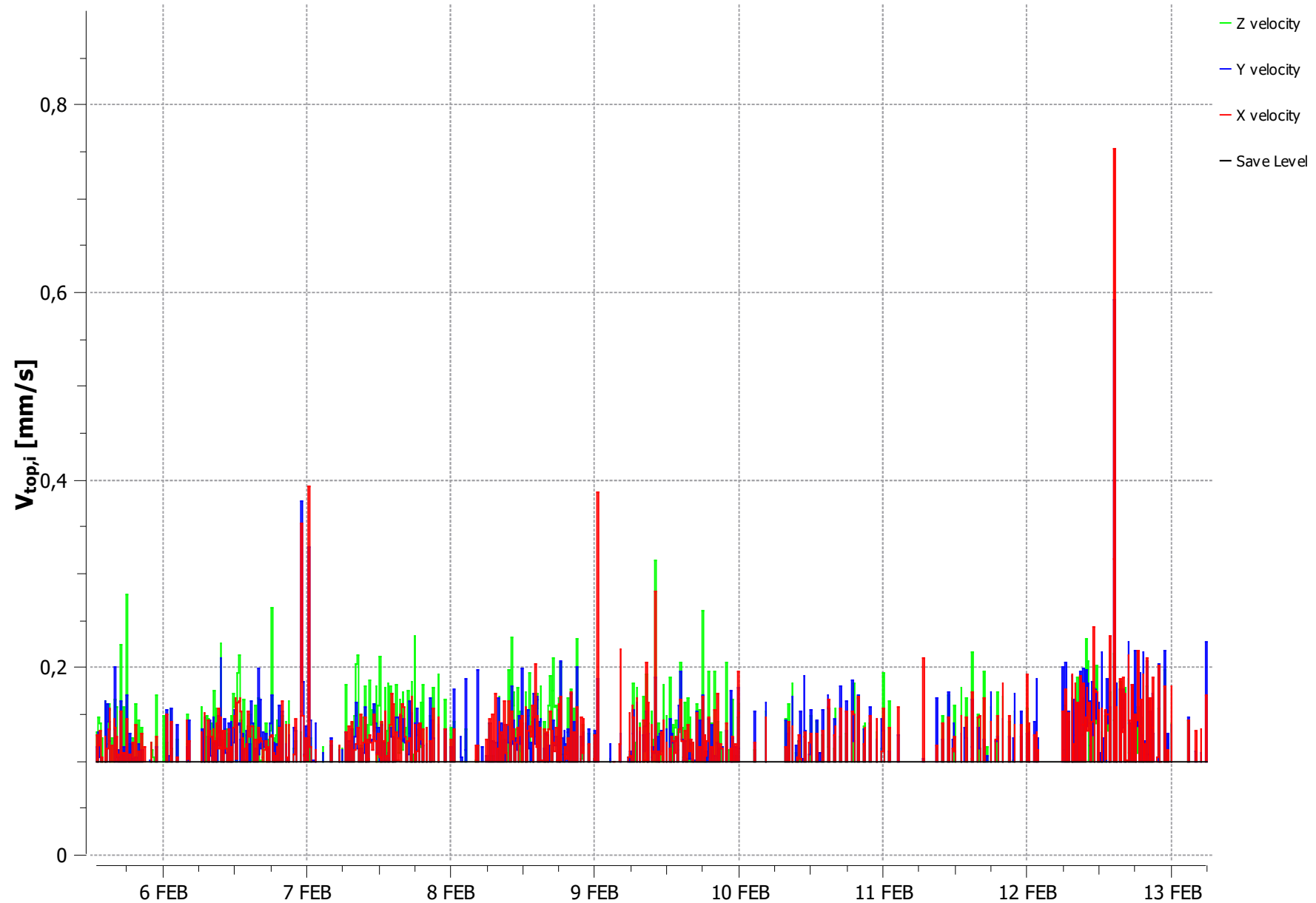
BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

VIB00094 Opheusden 2024-02-05

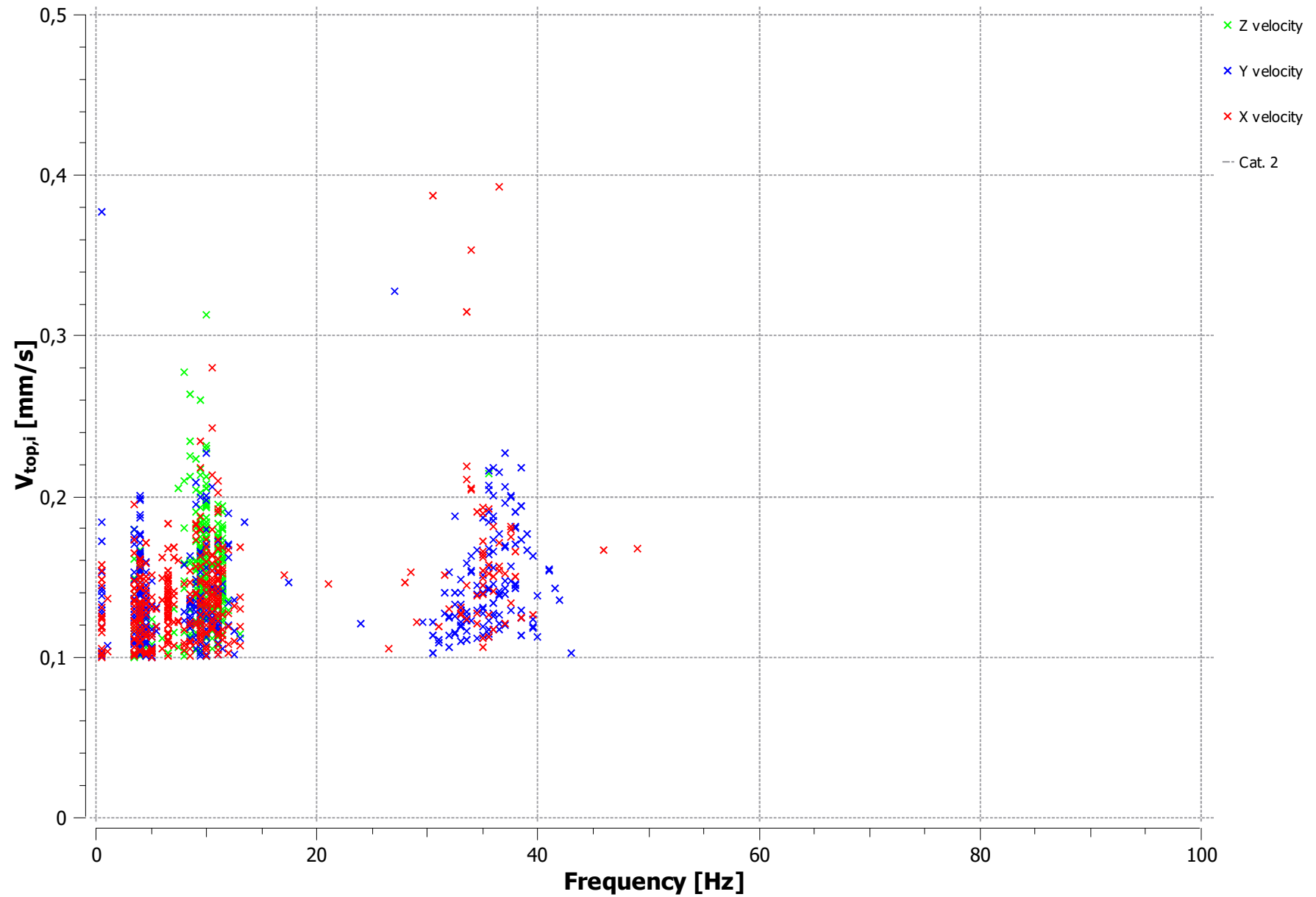


VIB00094 Opheusden 2024-02-05

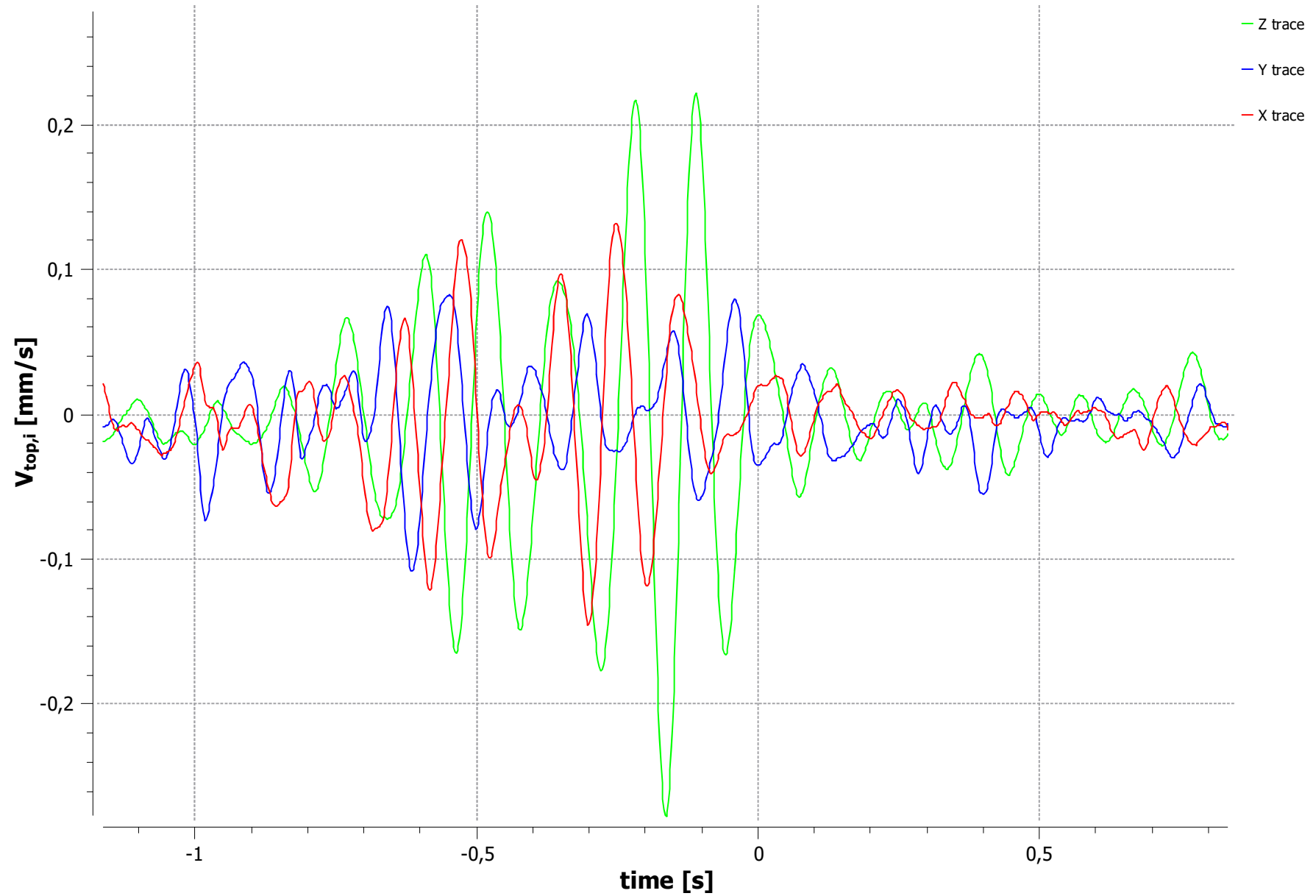
VIB00094 Opheusden 2024-02-05



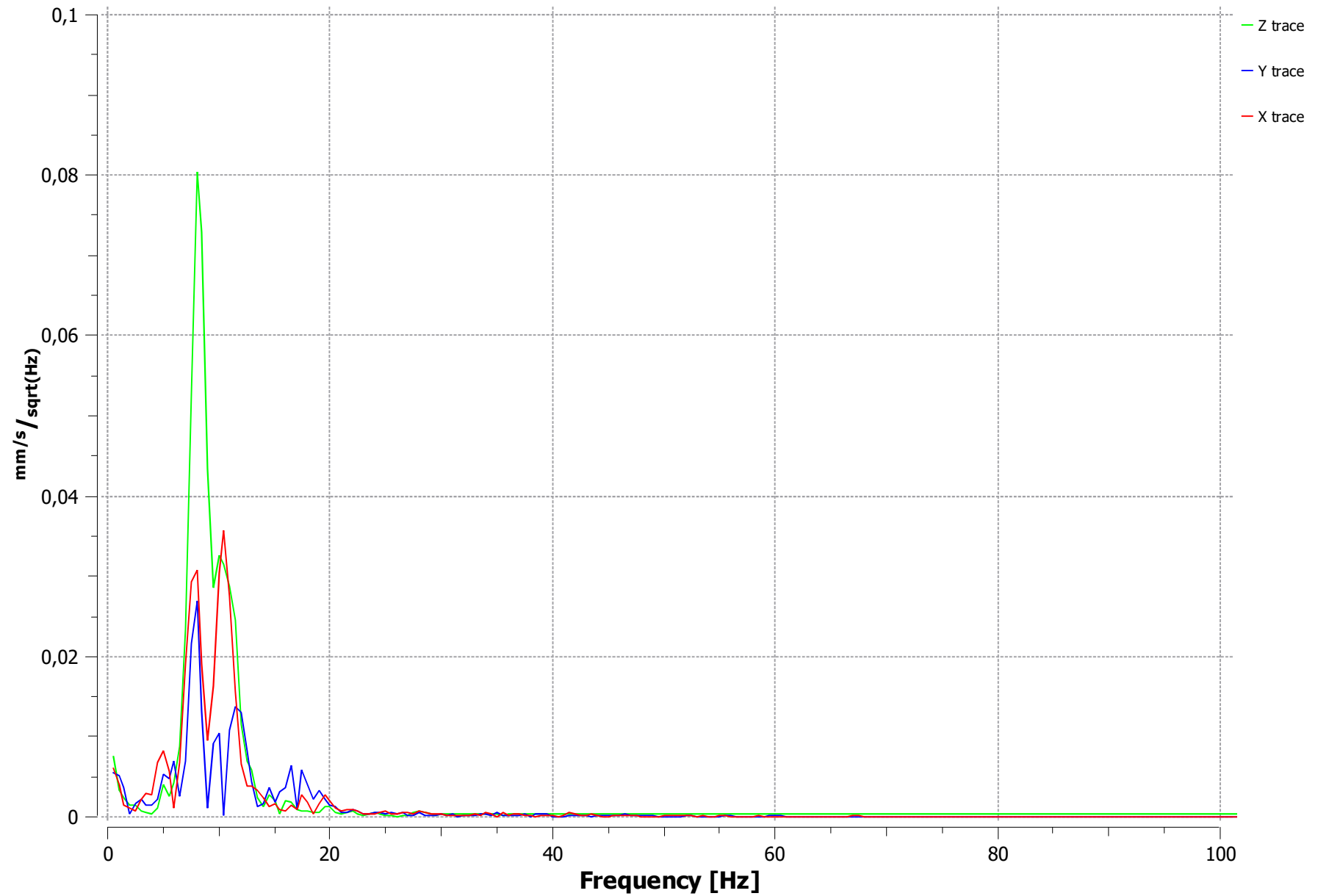
VIB00094 Opheusden 2024-02-05



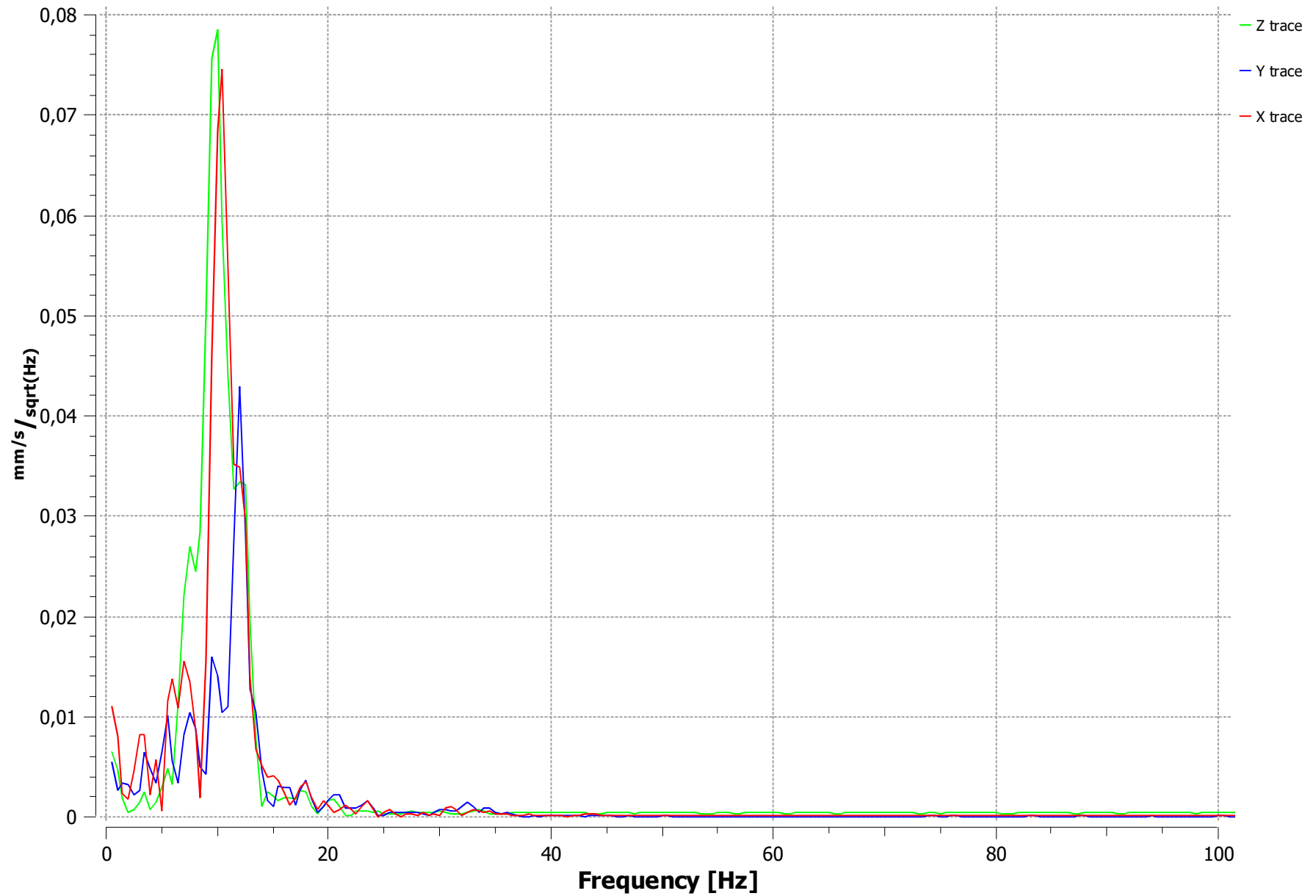
Velocity Trace: 2024-02-05 17:59:22



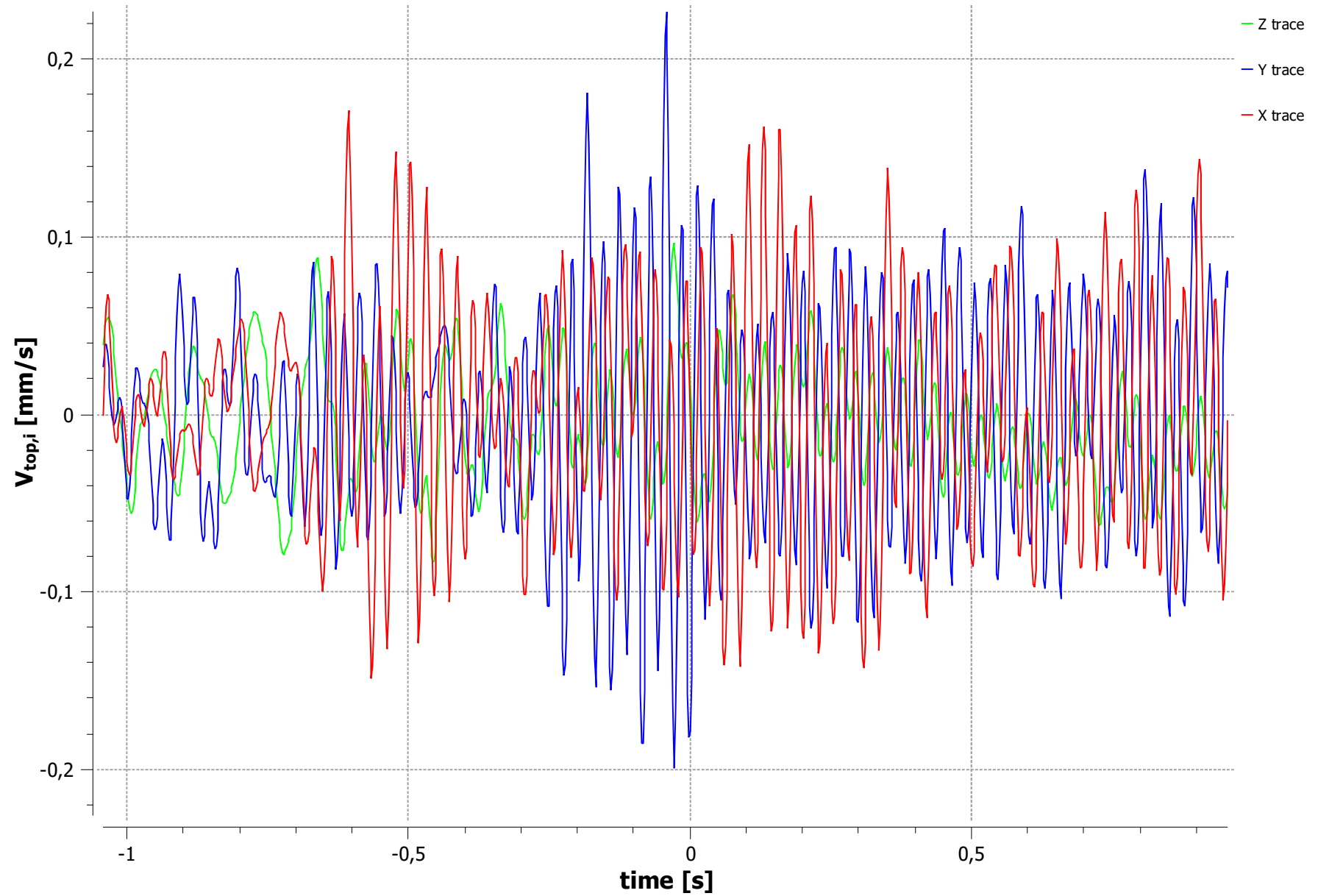
Spectrum: 2024-02-05 17:59:22



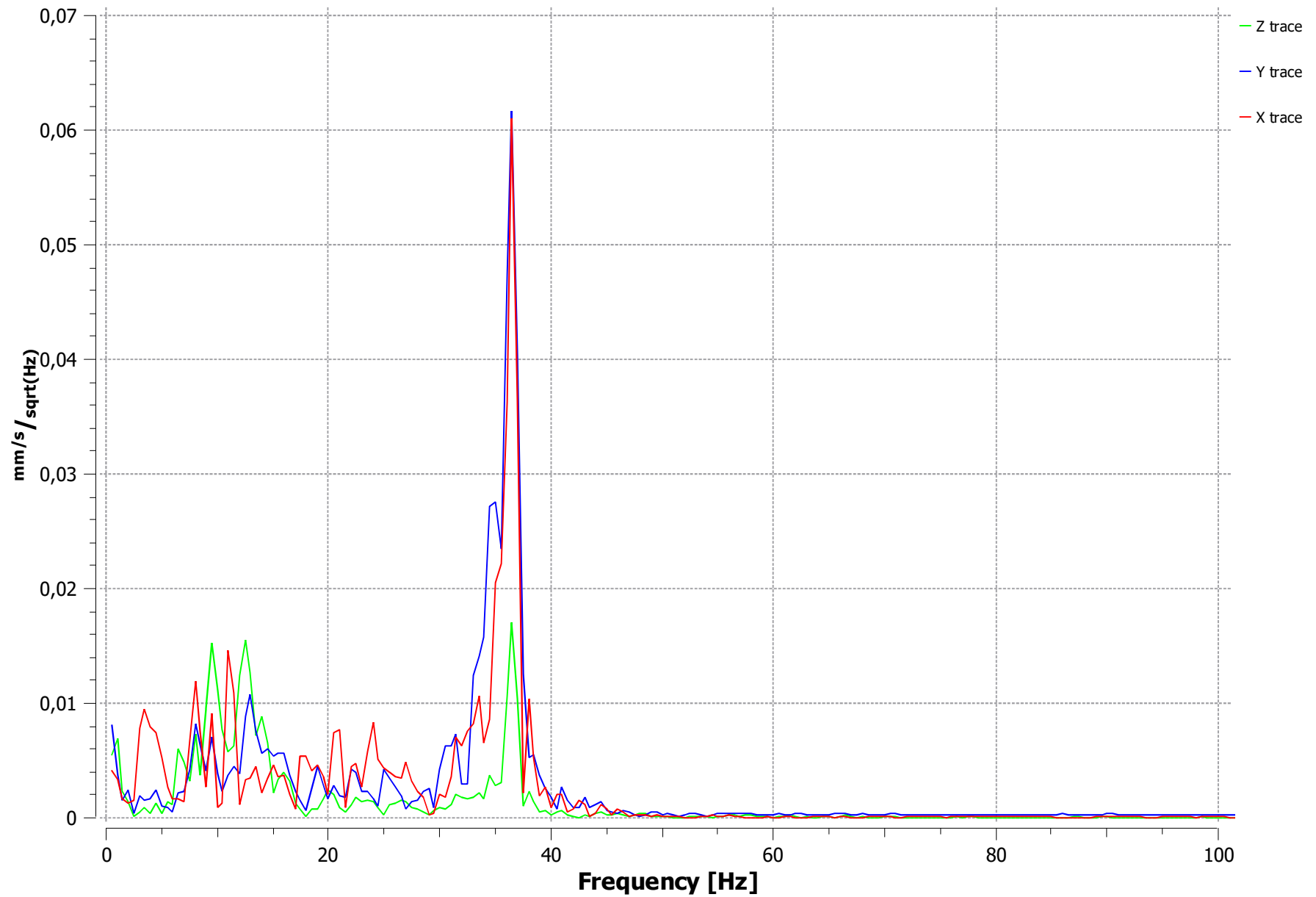
Spectrum: 2024-02-09 10:05:36



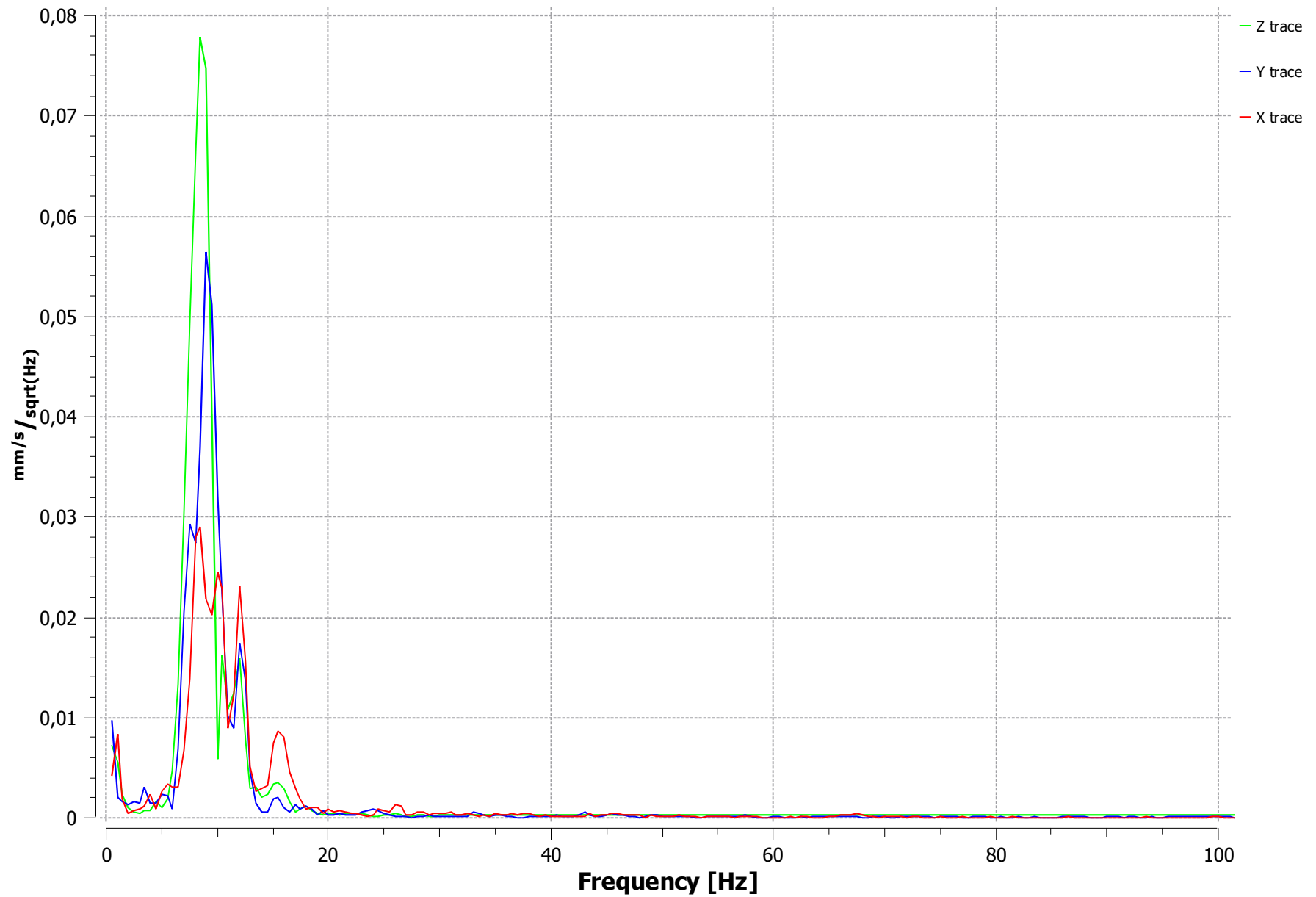
Velocity Trace: 2024-02-13 05:59:17



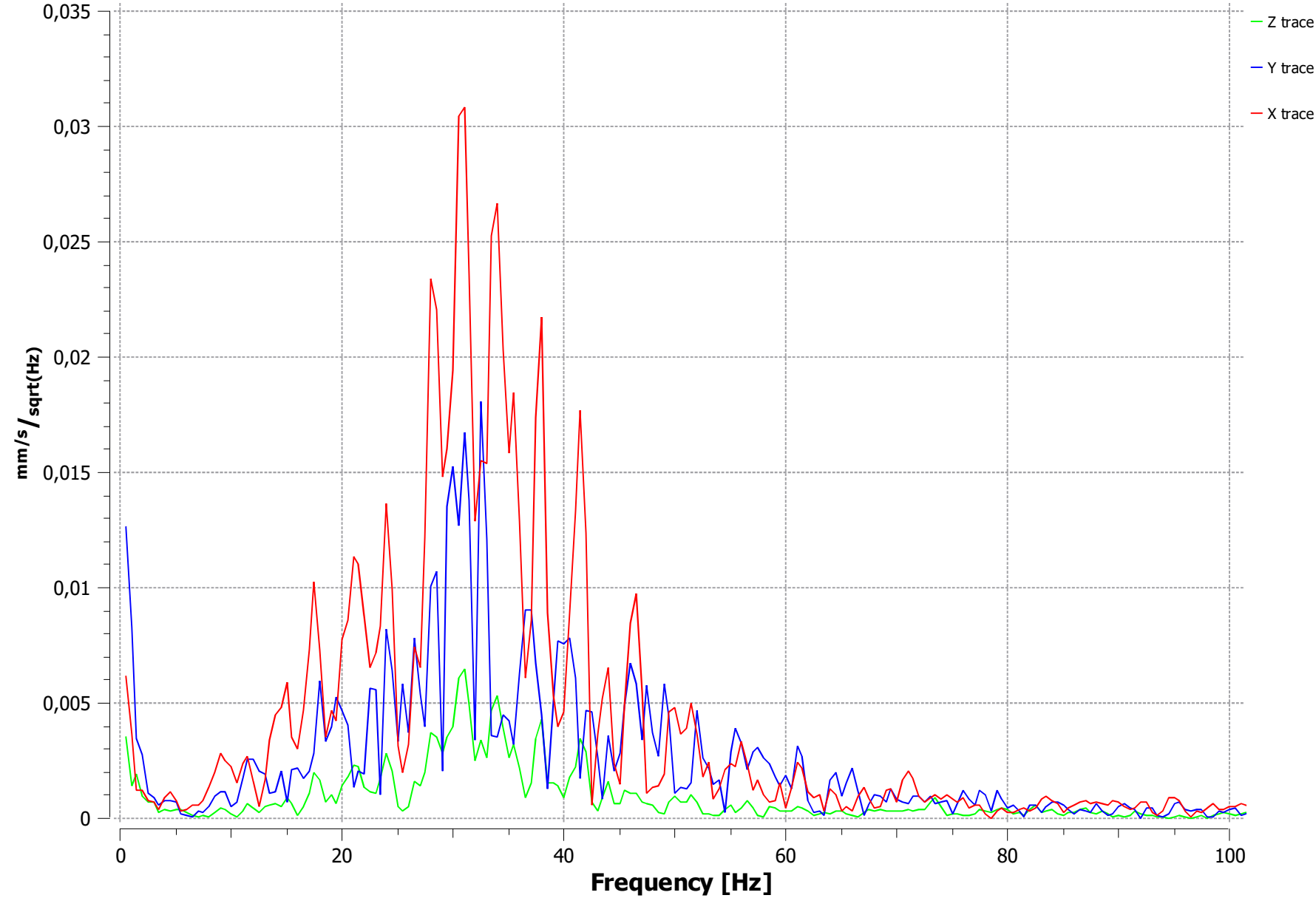
Spectrum: 2024-02-13 05:59:17



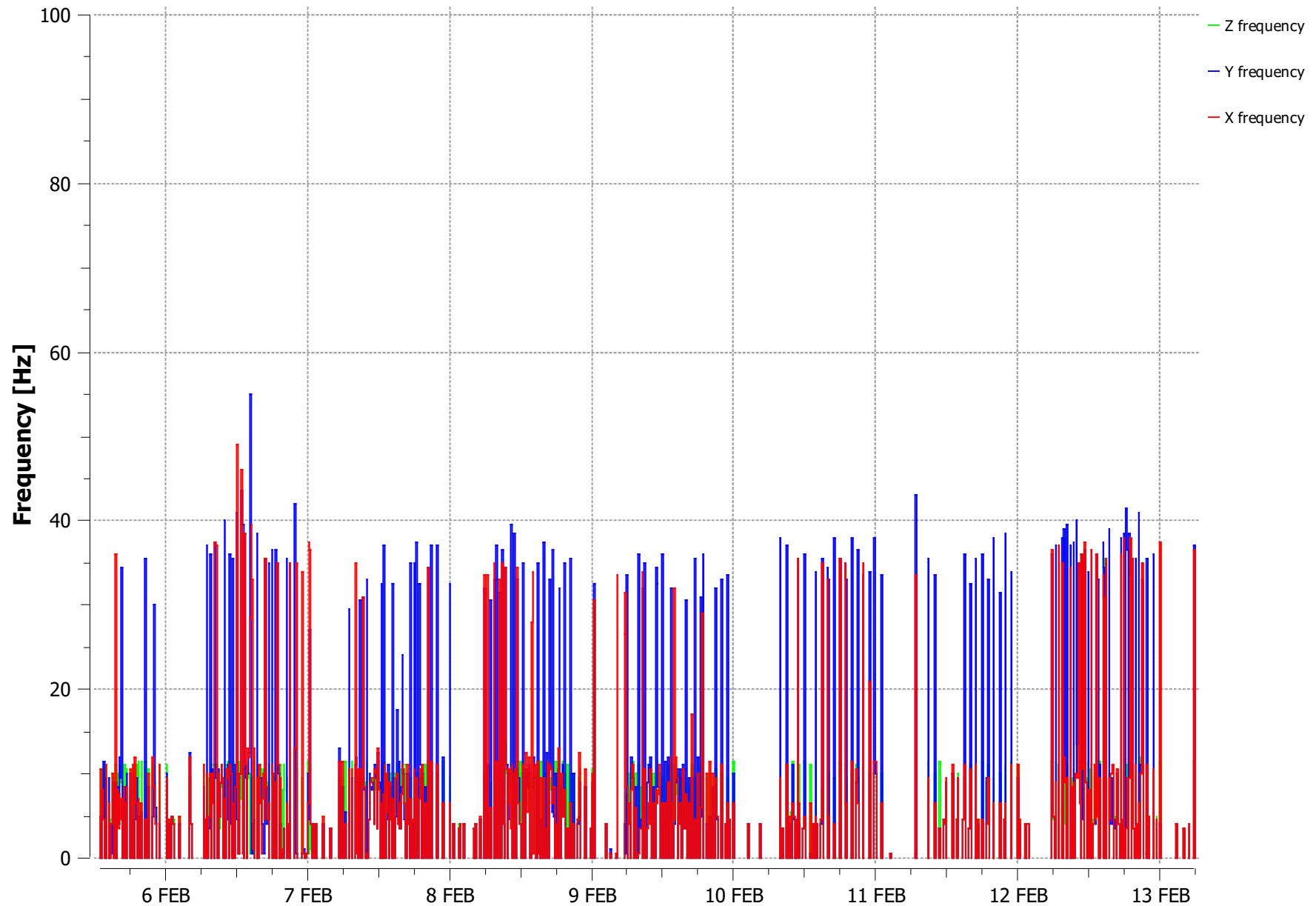
Spectrum: 2024-02-06 09:38:39



Spectrum: 2024-02-09 00:27:08



VIB00094 Opheusden 2024-02-05



BIJLAGE 2: BEREKENINGSBLADEN

Toetspnt	Afstand	Dag			Avond			Norm		Nacht			Vper	Norm		
	[m]	Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	A1	A2	Vmax_x	Vmax_y	Vmax_z	A3	A1	A2	A3
1	27,5	0,3	0,38	0,34	0,2	0,2	0,22	0,10	0,40	0,28	0,22	0,22	0,01	0,10	0,20	0,050
2	55,4	0,12	0,15	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,40	0,11	0,09	0,09	0,005	0,10	0,20	0,050
3	64,0	0,09	0,12	0,11	0,06	0,06	0,07	0,10	0,40	0,09	0,07	0,07	0,005	0,10	0,20	0,050
4	55,4	0,12	0,15	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,40	0,11	0,09	0,09	0,01	0,10	0,20	0,050
5	72,2	0,08	0,1	0,09	0,05	0,05	0,06	0,10	0,40	0,07	0,06	0,06	0,005	0,10	0,20	0,050
6	68,5	0,08	0,11	0,09	0,06	0,06	0,06	0,10	0,40	0,08	0,06	0,06	0,005	0,10	0,20	0,050
7	52,0	0,13	0,17	0,15	0,09	0,09	0,1	0,10	0,40	0,12	0,1	0,1	0,005	0,10	0,20	0,050

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 waarneempunt 02

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
27,5	55,4	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting										
Veff,max	VR0 [-]		R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]		Frequentie [HZ]
	0,17							0,069		
	0,01							0,004		
Vper							Vper			
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]						Vmax			
	0,14									
	0,01									
Vper										

X-richting										
Veff,max	VR0 [-]		R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]		Frequentie [HZ]
	0,15							0,060		
	0,01							0,002		
Vper							Vper			
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]						Vmax			
	0,12									
	0,00									
Vper										

Y-richting										
Veff,max	VR0 [-]		R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]		Frequentie [HZ]
	0,19							0,077		
	0,01							0,002		
Vper							Vper			
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]						Vmax			
	0,15									
	0,00									
Vper										

Avondperiode

Z-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,044	10
	0,002	-

Vper

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,044	10
	0,002	-

Vper

X-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,10	27,5	55,4	0,5	0,02
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,040	10
	0,002	-

Vper

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,040	10
	0,002	-

Vper

Y-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,10	27,5	55,4	0,5	0,02
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,040	10
	0,002	-

Vper

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,040	10
	0,002	-

Vper

Nachperiode

Z-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,04	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,09
V _{per}	0,00

X-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

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

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

Y-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,04	10
Vper	0,00	-

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

Wonigen waarneempunt 07

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
27,5	52	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,17	27,5	52	0,5	0,02		0,076	10
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,004	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,15							
	0,01							

X-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,15	27,5	52	0,5	0,02		0,067	10
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,13							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,19	27,5	52	0,5	0,02		0,085	10
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,17							
	0,00							

Avondperiode

Z-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,11	27,5	52	0,5	0,02		0,049	10	
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,002	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,10								
	0,00								

X-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,10	27,5	52	0,5	0,02		0,045	10	
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,002	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,09								
	0,00								

Y-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,10	27,5	52	0,5	0,02		0,045	10	
	0,01	27,5	52	0,5	0,02		0,002	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,09								
	0,00								

Nachperiode

Z-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,11	27,5	52	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	52	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,05	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,10
V _{per}	0,00

X-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	27,5	52	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	52	0,5	0,02

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

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,12
V _{per}	0,00

Y-richting

	VRO [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,11	27,5	52	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	52	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,05	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,10
V _{per}	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

Wonigen waarneempunt 06

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
27,5	68,5	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,17	27,5	68,5	0,5	0,02		0,047	10
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,09							
	0,01							

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,15	27,5	68,5	0,5	0,02		0,042	10
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02		0,001	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,19	27,5	68,5	0,5	0,02		0,053	10
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02		0,001	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,11							
	0,00							

Avondperiode

Z-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,11	27,5	68,5	0,5	0,02
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,031	10
	0,001	-

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,031	10
	0,001	-

X-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,10	27,5	68,5	0,5	0,02
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,028	10
	0,001	-

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,028	10
	0,001	-

Y-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,10	27,5	68,5	0,5	0,02
	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02

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

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,028	10
	0,001	-

Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,028	10
	0,001	-

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	68,5	0,5	0,02		0,03	10
Vper	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02	Vper	0,00	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	0,00							

X-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	27,5	68,5	0,5	0,02		0,04	10
Vper	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02	Vper	0,00	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,00							

Y-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	68,5	0,5	0,02		0,03	10
Vper	0,01	27,5	68,5	0,5	0,02	Vper	0,00	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	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

Wonigen waarneempunt 05

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
27,5	72,2	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,17	27,5	72,2	0,5	0,02		0,043	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,003	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,09							
	0,01							

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,15	27,5	72,2	0,5	0,02		0,038	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,001	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,19	27,5	72,2	0,5	0,02		0,048	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,001	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,10							
	0,00							

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	72,2	0,5	0,02		0,028	10
Vper	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02	Vper	0,001	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	0,00							

X-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	72,2	0,5	0,02		0,025	10
Vper	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02	Vper	0,001	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,05							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	72,2	0,5	0,02		0,025	10
Vper	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02	Vper	0,001	-
Vmax	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,05							
	0,00							

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	72,2	0,5	0,02		0,03	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	0,00							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	27,5	72,2	0,5	0,02		0,04	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,07							
	0,00							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	72,2	0,5	0,02		0,03	10
	0,01	27,5	72,2	0,5	0,02		0,00	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,06							
	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

Wonigen waarneempunt 04

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
27,5	55,4	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,17	27,5	55,4	0,5	0,02		0,069	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,004	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,14							
	0,01							

X-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,15	27,5	55,4	0,5	0,02		0,060	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,12							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,19	27,5	55,4	0,5	0,02		0,077	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,15							
	0,00							

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02		0,044	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,09							
	0,00							

X-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	55,4	0,5	0,02		0,040	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,00							

Y-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	55,4	0,5	0,02		0,040	10
	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02		0,002	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,08							
	0,00							

Nachperiode

Z-richting

	VRO [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,04	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,09
V _{per}	0,00

X-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

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

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

Y-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,11	27,5	55,4	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	55,4	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,04	10
Vper	0,00	-

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

Wonigen waarneempunt 03

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
27,5	64	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,17	27,5	64	0,5	0,02		0,054	10
	0,01	27,5	64	0,5	0,02		0,003	-

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,11

Vper0,01

X-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,15	27,5	64	0,5	0,02		0,047	10
	0,01	27,5	64	0,5	0,02		0,002	-

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,09

Vper0,00

Y-richting

Veff,max	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,19	27,5	64	0,5	0,02		0,060	10
	0,01	27,5	64	0,5	0,02		0,002	-

Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]

Vmax0,12

Vper0,00

Avondperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
	0,11	27,5	64	0,5	0,02
	0,01	27,5	64	0,5	0,02

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

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,035	10
	0,002	-

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
	0,10	27,5	64	0,5	0,02
	0,01	27,5	64	0,5	0,02

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

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,032	10
	0,002	-

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
	0,10	27,5	64	0,5	0,02
	0,01	27,5	64	0,5	0,02

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

Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,032	10
	0,002	-

Nachtsperiode

Z-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z
Veff,max	0,11	27,5	64	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	64	0,5	0,02

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

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,07
V _{per}	0,00

X-richting

	VRO [-]	RO [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X
Veff,max	0,14	27,5	64	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	64	0,5	0,02

	VR [-]	Frequentie [HZ]
Veff,max	0,04	10
Vper	0,00	-

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,09
V _{per}	0,00

Y-richting

	VRO [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y
Veff,max	0,11	27,5	64	0,5	0,02
Vper	0,01	27,5	64	0,5	0,02

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

	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]
V _{max}	0,07
V _{per}	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

Wonigen waarneempunt 01

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
27,5	27,5	0,5	0,02	0,02	0,02	2	2	2

Dagperiode

Z-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,17	27,5	27,5	0,5	0,02		0,170	10	
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,010	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,34								
	0,02								

X-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,15	27,5	27,5	0,5	0,02		0,150	10	
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,005	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,30								
	0,01								

Y-richting									
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]	
	0,19	27,5	27,5	0,5	0,02		0,190	10	
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,005	-	
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]								
	0,38								
	0,01								

Avondperiode

Z-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	27,5	0,5	0,02		0,110	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,22							
	0,01							

X-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	27,5	0,5	0,02		0,100	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,20							
	0,01							

Y-richting								
Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,10	27,5	27,5	0,5	0,02		0,100	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,005	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,20							
	0,01							

Nachtperiode

Z-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Z	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	27,5	0,5	0,02		0,11	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,01	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,22							
	0,01							

X-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] X	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,14	27,5	27,5	0,5	0,02		0,14	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,01	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,28							
	0,01							

Y-richting

Veff,max Vper	VR0 [-]	R0 [m]	R [m]	n [-]	α [1/m] Y	Veff,max Vper	VR [-]	Frequentie [HZ]
	0,11	27,5	27,5	0,5	0,02		0,11	10
	0,01	27,5	27,5	0,5	0,02		0,01	-
Vmax Vper	Prognose trillingsniveaus (op de vloer) [-]							
	0,22							
	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-frequentie karakteristiek: 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 trillingsgrootte (versnelling, snelheid, verplaatsing) wordt gemeten.

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

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

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

Snelheid: een vectoriële grootte 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 grootte (verplaatsing, snelheid, versnelling) als functie van de tijd, die de beweging of de positie van een systeem beschrijft waarbij de grootte 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 trillingsgrootte.

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

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

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

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

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/s²
- f frequentie, in Hz
- f_e eigenfrequentie, in Hz
- g zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s²)
- 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.

- A₁ streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
- A₂ maximale waarde voor de trillingssterkte V_{max}, dimensieloos
- A₃ streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per}, dimensieloos
- f frequentie, in Hz
- f* frequentie in Hz, waarvoor φ(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, s²/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

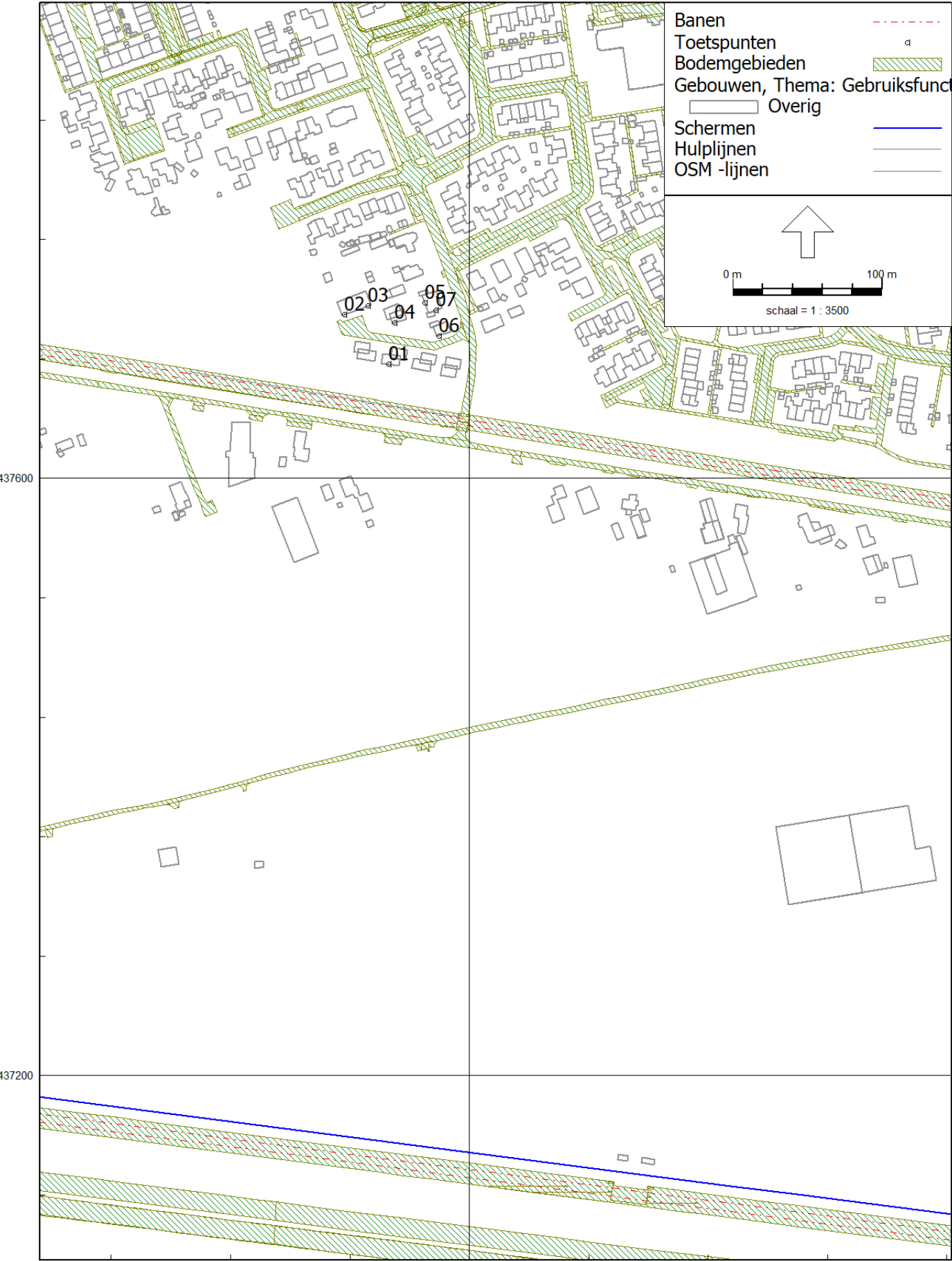
- N aantal aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden in een beoordelingsperiode; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, N = 1440 voor de avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur, N = 480 voor de nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur, N = 960
- 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
- T₀ 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
- v_o 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
- φ(f) maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
- φ_m(f) de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden

BIJLAGE 4: FIGUREN

Figuur 1: Overzicht ligging locatie

Opheusden Trillingen

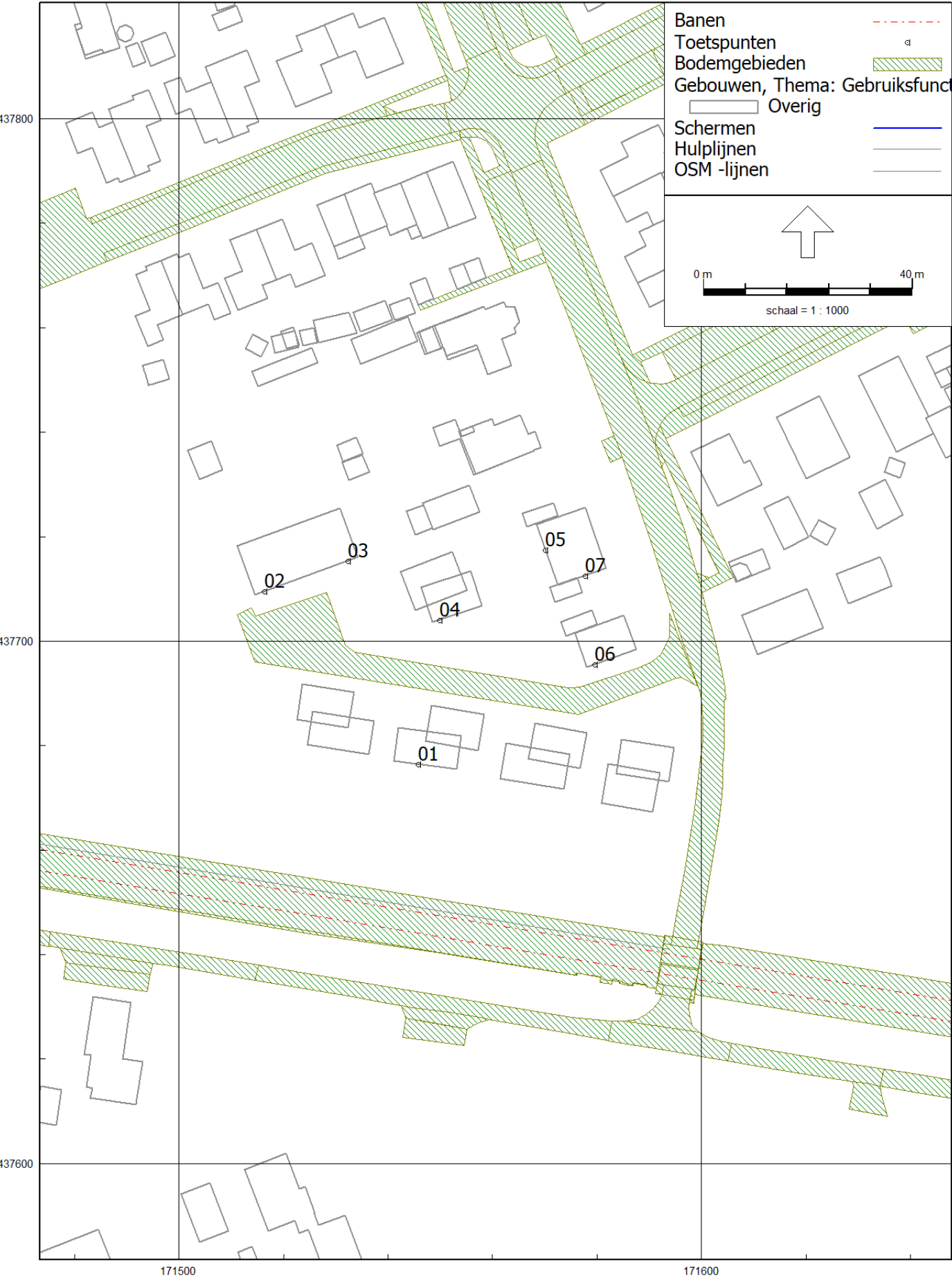
21 feb 2024, 13:34



Figuur 2: Overzicht ligging toetspunten

Opheusden Trillingen

21 feb 2024, 13:34



Figuur 3: Verkaveling
Opheusden Trillingen
21 feb 2024, 13:36



Figuur 4: Verkaveling
Opheusden Trillingen
21 feb 2024, 13:36

