



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 2006006693-20190954H-1

10 december 2019

TRILLINGSONDERZOEK

Nieuwbouw kavel te Wolvega;
bepaling kans op hinder t.g.v. railverkeer

AKOESTIEK

TRILLINGEN

MILIEU- VERGUNNINGEN

LUCHTONDERZOEK

Opdrachtgever
Gemeente Weststellingwerf
Postbus 60
8470 AB Wolvega

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

BEZWAAR EN BEROEP

Namens dezen
T.a.v. R.A. (Rob) Menkveld, projectleider
T.a.v. Gert Baatje (FUMO)

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

Postbus 705
2800 AS Gouda
T 0182 352311
F 0182 354711

Inhoudsopgave

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	4
3.2. Trillingsmetingen.....	5
3.3 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen.....	6
4. RESULTATEN EN PROGNOSE.....	9
4.1. Meetresultaten	9
4.2. Gecorrigeerde resultaten	10
4.3. Toetsing trillingsimmissie; prognose	10
4.4. Resultaten en toetsing betreffende houten vloeren	12
4.5. Bespreking van de resultaten	13
5. MOGELIJKE MAATREGELEN	14
6. CONCLUSIE.....	15

BIJLAGEN:

1. **MEETRESULTATEN**
2. **TEKENING**
3. **TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B**

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van de gemeente Weststellingwerf is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd in de bodem ter plaatse van de grens van een bouwplan te Wolvega, namelijk "deelgebied 2 Lindewijk Wolvega". Het bouwplan voorziet in trillingsgevoelige ruimten door de bouw van woningen.

Doel van het onderzoek is het prognosticeren van de trillingsniveaus in de woningen ten gevolge van het treinverkeer op de spoorlijn Leeuwarden - Zwolle.

ProRail adviseert indicatief onderzoek te doen naar de te verwachten trillingsniveaus. Aanleiding voor het onderzoek is de zorg van de opdrachtgever voor mogelijk toekomstige trillingshinder in de nieuwbouw ten gevolge van het spoorverkeer.

Ten behoeve van het onderzoek zijn er trillingsmetingen verricht conform de voorschriften uit de SBR-richtlijn B: "Hinder voor personen in gebouwen" gedurende één representatieve week.

Voor de overdracht van de trillingen van 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) Rapport V.2009.1067.02.R001, "Rijn-Gouwe Lijn Oost, Leiden - Trillingsonderzoek 2009".
- 3) Publicatie VROM 95127/h/5-95 "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" van de Ministerie van Volkshuisvesting.
- 4) Plattegrond tekening van de toekomstige situatie door gemeente Weststellingwerf.

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 :

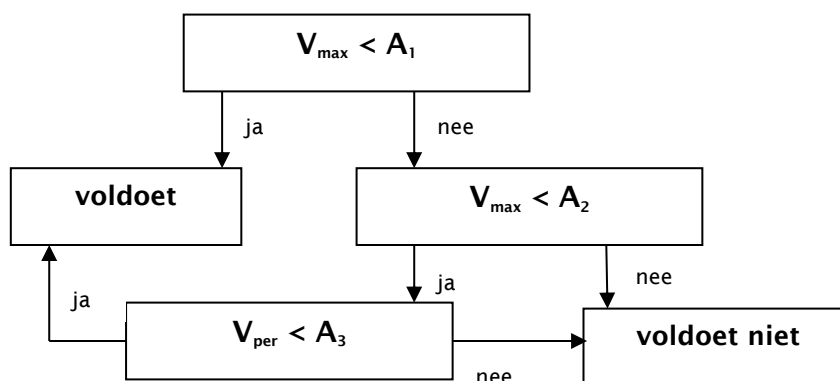
1. A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
2. A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
3. A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

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 daar het een nieuw bouwplan betreft. In tabel 1 zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel 1: Overzicht streefwaarden hinder.

Norm	Dag/avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
SBR richtlijn B - 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.

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

Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkten 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 situaties)
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.

3. METINGEN EN BEREKENING

3.1. Situatie

De gemeente Weststellingwerf wil mogelijke trillingshinder, ten gevolge van treinverkeer voor bewoners van de nieuwbouw voorkomen. In figuur 1 is de nieuwe situatie weergegeven.



Figuur 1: overzicht van de toekomstige situatie.

In figuur 1 zijn er genummerde bouwclusters gegeven. De volgende bouwclusters vallen in deelgebied 2:

- Bouwcluster nummer 1, nummers 33 t/m 53, nummers 74 en 75.

De exacte afstand tussen de nieuw te bouwen woningen en de spoor is in deze fase nog niet bekend.

3.2. Trillingsmetingen

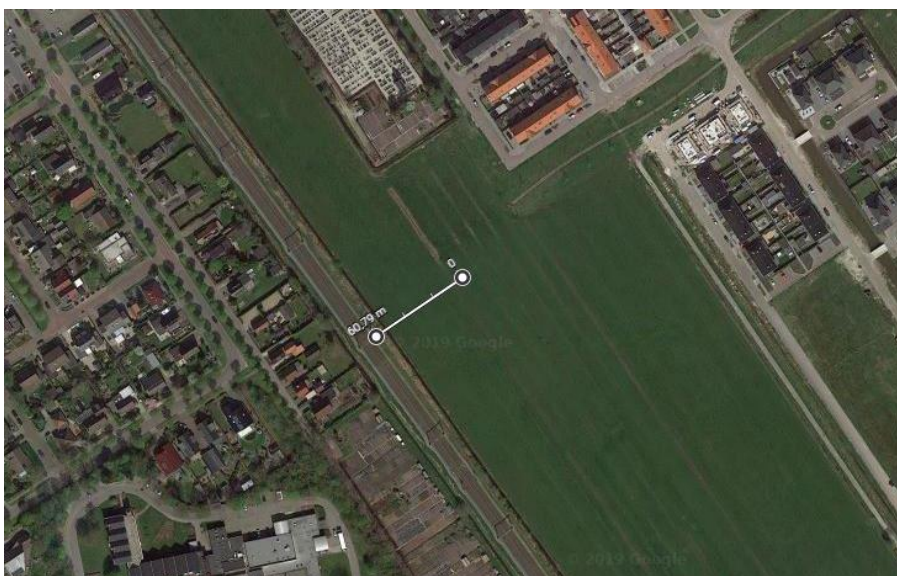
Trillingsmetingen zijn uitgevoerd op twee posities op de grens van de bouwcluster nummer 34 middels plaatsing van twee tri-axiale trillingsopnemers op 1 meter lange metalen staven die in de grond zijn gedreven. Dit is een beproefde methode om laagfrequente trillingen in de bodem te kunnen meten.

De meetposities liggen op een denkbeeldige lijn loodrecht op het spoor, op een afstand van de spoorbaan van ca. 32 meter (meetpositie 1) en van ca. 60 meter (meetpositie 2). De resultaten van het onderzoek dienen een antwoord te geven op de vraag of er kans op hinder is in de woonruimten van het bouwplan op verschillende afstanden van het spoor.

Hiertoe is een frequentie afhankelijke overdrachtfunctie gebruikt voor de overdracht van de trillingen in de bodem naar de fundering en van fundering naar de vloer. De gemeten en berekend trillingsresultaten op meetposities 1 en 2 kunnen als representatief worden beschouwd voor de dichtbijgelegen bouwclusters aangezien het bodemprofiel gelijk mag worden verondersteld bij alle bouwclusters. In figuren 2 en 3 zijn de afstanden tussen het spoor en de meetposities weergegeven.



Figuur 2: afstand tussen meetpositie 1 en de spoorbaan.



Figuur 3: afstand tussen meetpositie 2 en de spoorbaan.

In onderhavige situatie is ervoor gekozen om gedurende één volle 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. In figuren 4 en 5 zijn de ondergrondse posities van de geofoons gegeven.



Figuren 4 en 5: foto's van de ondergrondse posities van de geofoons.

De onbemande metingen zijn uitgevoerd van maandag 30 september 2019 in de middag t/m de middag van maandag 7 oktober 2019. Op de meetlocaties zijn in drie richtingen (één verticaal en twee horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De x-richting loopt evenwijdig met de grootste lengte-as van het bouwplan, parallel aan de spoorbaan.

Bij de metingen is gebruik gemaakt van de in tabel 3 vermelde meetapparatuur. Deze meetapparatuur voldoet aan de specificaties uit de SBR richtlijn.

Tabel 3: gebruikte meetapparatuur.

Omschrijving	Merk	Type
Trillingsanalyser	Profound	Vibra SBR +
3-D trillingsopnemer	Profound	Vibra SBR +

3.3 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 trillingen in de bodem met betrekking tot het spoorverkeer optreden met dominante frequenties van globaal ca. 12 Hz in de x- en y-richting en ca. 16 Hz in de z-richting; zie bijlage 1.

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 laagbouw zal de verzwakking minder zijn dan voor hoogbouw. In de prognose is rekening gehouden met de spectrale overdrachtswaarden uit tabel 4 (bladzijde 7) die zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 4: Trillingsoverdracht van bodem naar gebouw (tertsband) in verzwakkingfactor.

Gebouw	Frequentie in Hz											
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
Laagbouw op staal	0	0	-1	-2	-3	-4	-6	-9	-9	-9	-9	-9
Laagbouw op palen	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-12	-12	-12	-12	-12
Utiliteitsbouw (4 tot 8 lagen)	-6	-6	-7	-7	-8	-9	-11	-14	-14	-14	-14	-14

De nieuw te bouwen woningen zijn vrijstaande of halfvrijstaande woningen op twee verdiepingen. Tot laagbouw behoren gebouwen met een hoogte tot ongeveer 10 [m], met verdiepingen met een hoogte tussen 2,5 [m] en 3 [m]. Het funderingsysteem is in de onderwerpelijke situatie nog niet bekend. In de berekeningen wordt uitgegaan van 'laagbouw op staal', als worst-case scenario. Bij de dominante frequenties van 12 Hz is de verzwakkingfactor ca. 0; in decibels is dit een verzwakking van 0 dB. Bij de dominante frequenties van 16 Hz is de verzwakkingfactor ca. 1,1; in decibels is dit een verzwakking van 1 dB.

Voor onderwerpelijke situatie is er geen verzwakking in de x- en y-richting en een verzwakkingfactor van 1,1 in de Z-richting toegepast.

Vloerconstructie

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

Voor niet stationaire trillingen, zoals bij railverkeer, is de verwachting dat de versterkingsfactoren wat lager zullen uitvallen dan vermeld in tabel 5. Dit geldt 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). Deze waarden zijn gebaseerd op door TNO ontwikkelde empirische formules en eigen meetervaring.

Tabel 5: gemiddelde vloerveldversterking als functie van de frequentie (tertsband).

	Frequentie in Hz									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Versterking in dB	+2.5	±5	±6	+6.5	+8	+10	+7	+4	+3	+2.5

In het onderwerpelijke geval is er tussen ca. 12 Hz en 16 Hz een versterking tussen ca. 5 en 6 dB; dit is een versterkingsfactor van respectievelijk ca. 1,8 en 2.

Vloerconstructie: Houten vloer

In deze fase in de vloeropbouw niet bekend. Volgens de opdrachtgever is het mogelijk dat de vloerconstructies van de nieuwbouw in hout wordt uitgevoerd, derhalve is de opslingering naar gebouw tot houten vloer berekend. De aan te houden eigenfrequentie bij een houten begane grondvloer kan bij benadering met de volgende formule (tabel 8.4.1. uit het publikatie VROM 95127/h/5-95) worden bepaald:

$$F_e = 38 * e^{-0,20L}$$

Waarin:

L is de overspanning van de vloer, in m;

F_e is van de eigenfrequentie van de houten vloer, in Hz;

In de berekening is - als worst-case scenario - gebruikgemaakt van een grote overspanning van 5 m. De eigenfrequentie van de beschouwde houten begane grondvloer bedraagt: $F_e = 14$ Hz. Deze frequentie valt binnen het bereik van de dominante frequenties van de optreden trillingsniveaus derhalve is er een grote opslinging van de trillingen mogelijk.

Op basis van de hiervoor berekende eigenfrequentie en karakteristieke waarde van de demping volgt de versterkingsfactor van de vloer (tijdens een groot aantal treinpassages) uit de volgende formule (tabel 8.5 uit het publikatie VROM 95127/h/5-95):

$$H_{vf} = 0,4 + \sqrt{(F_e / 76 * \delta)}$$

Waarin:

F_e is van de eigenfrequentie van de houten vloer in Hz, in dit geval = 14 Hz;

δ is de karakteristieke dempingsmaat van één houten vloer, uit literatuur kan de waarde = 0,027 worden gehanteerd;

De berekend versterkingsfactor bedraagt: $H_{vf} = 3,8$

Voor onderwerpelijke situatie is derhalve in de x, y- en z-richting een versterkingsfactor van 3,8 toegepast.

Cumulatie overdrachtsprognose: z-richting

Voor de trillingsoverdracht van bodem naar gebouw in de z-richting is gerekend met een verzwakking van circa 1 dB. Dit is een verzwakkingsfactor van 1,1 op de gemeten trillingsresultaten (trillingssnelheid). Voor de opslinging in het vloerveld is gerekend met een versterking van circa 6 dB. Dit is een versterkingsfactor van 2 op de gemeten trillingsresultaten (trillingssnelheid). De cumulatieve overdrachtsfactor in de z-richting bedraagt derhalve: $(2 / 1,1) = 1,8$.

Voor de opslinging in het vloerveld met betrekking tot houtenvloeren is gerekend met een versterkingsfactor van circa 3,8. De cumulatieve overdrachtsfactor voor houten vloeren in de z-richting bedraagt derhalve: $(3,8 / 1,1) = 3,5$.

Cumulatie overdrachtsprognose: x- en y-richting

Voor de trillingsoverdracht van bodem naar gebouw in de x- en y-richting is er geen verzwakking toegepast. Voor de opslinging in het vloerveld is gerekend met een versterking van circa 5 dB. Dit is een versterkingsfactor van 1,8 op de gemeten trillingsresultaten (trillingssnelheid). De cumulatieve overdrachtsfactor in de x- en y-richting bedraagt derhalve 1,8.

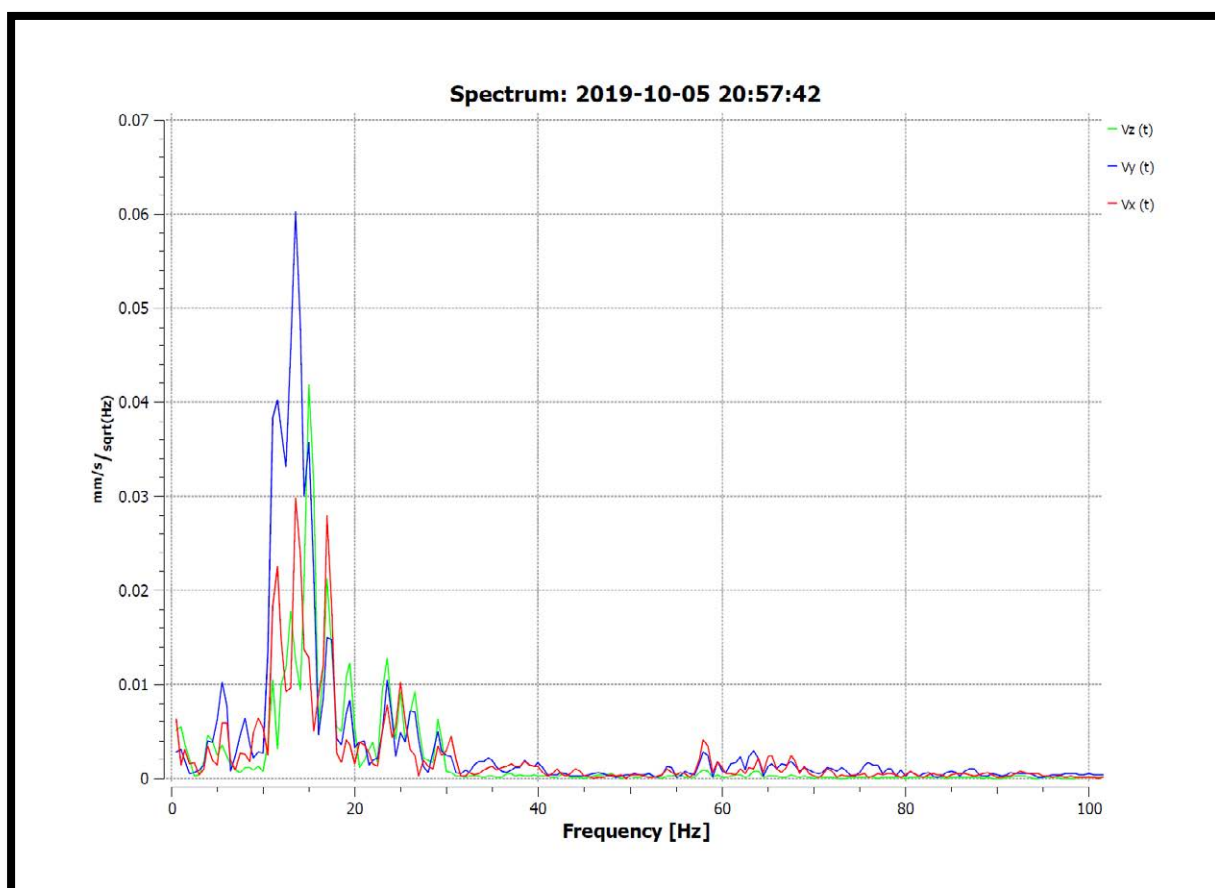
Voor de opslinging in het vloerveld met betrekking tot houtenvloeren is gerekend met een versterkingsfactor van circa 3,8. De cumulatieve overdrachtsfactor voor houten vloeren in de x- en y-richting bedraagt derhalve: = 3,8.

4. RESULTATEN EN PROGNOSE

4.1. Meetresultaten

Gedurende de meetweek hebben stoortrillingen plaatsgevonden; door een analyse van de gemeten snelheidwaarden, traces en spectra zijn deze resultaten geïdentificeerd en geëlimineerd. Uit de trillingsmetingen blijkt dat op meetpositie 2 - met een afstand tot het spoor van ca. 60 meter - er geen trillingsniveaus vanwege railverkeer zijn opgetreden. Dit betekent dat de effectieve trillingsniveaus lager zijn dan 0,10.

In figuur 6 is het spectrum van de hoogste trilling vanwege railverkeer gegeven, gemeten op meetpositie 1.



Figuur 6: spectrum van de hoogst gemeten trilling vanwege railverkeer, de gemeten snelheidwaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.

In tabel 6 en 7 zijn de meetresultaten als maximale effectieve trillingsnelheid, $V_{\text{eff,max}}$, samengevat voor de dag-, avond- en voor de nachtperiode. Zie ook bijlage 1. In tabellen 6 en 7 zijn de hoogste meetwaarden opgenomen.

Tabel 6: meetpositie 1, meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 1, hoogst optredende meetwaarden van $V_{\text{eff,max}}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	0,12	0,12	0,14
Nachtperiode	< 0,10	0,11	0,10

Tabel 7: meetpositie 2, meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 2, hoogst optredende meetwaarden van $V_{eff,max}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nachtperiode	< 0,10	< 0,10	< 0,10

4.2. Gecorrigeerde resultaten

In tabellen 8 en 9 zijn de hoogst gemeten waarden middels de cumulatieve overdrachtfuncties van bodem naar gebouw en van gebouw naar vloer berekend.

Tabel 8: meetpositie 1, gecorrigeerde resultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 1, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	$0,12 \times 1,8 = 0,22$	$0,12 \times 1,8 = 0,22$	$0,14 \times 1,8 = 0,25$
Nachtperiode	< 0,10	$0,11 \times 1,8 = 0,20$	$0,10 \times 1,8 = 0,18$

Tabel 9: meetpositie 2, gecorrigeerde resultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 2, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nachtperiode	< 0,10	< 0,10	< 0,10

4.3. Toetsing trillingsmissie; prognose

De hoogste gecorrigeerde waarden voor de dag- en avondperiode voor $V_{eff,max}$ zijn opgenomen in tabel 10. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 10 gegeven.

Tabel 10: toetsing voor hinder; dag- en avondperiode.

Meetpositie	$V_{eff,max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
1	0,25 (y-richting)	0,10	Voldoet niet	0,40	Voldoet
2	< 0,10	0,10	Voldoet	0,40	Voldoet

* waarden uit de SBR richtlijn (dag- en avondperiode)

De hoogste waarden voor de nachtperiode voor de $V_{eff,max}$ zijn opgenomen in tabel 11. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 11 gegeven.

Tabel 11: toetsing voor hinder; nachtperiode.

Meetpositie	$V_{eff,max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
1	0,20 (x-richting)	0,10	Voldoet niet	0,20	Voldoet
2	< 0,10	0,10	Voldoet	0,20	Voldoet

* waarden uit de SBR richtlijn (nachtperiode)

Toetsing trillingsmissie, meetpositie 1

Uit tabel 10 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op meetpositie 1 gedurende de dag- en avondperiode. De bovenste streefwaarde (A_2) wordt niet overschreden. Bepaling van de V_{per} is noodzakelijk voor de dag- en avondperiode.

Uit tabel 11 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op meetpositie 1 gedurende de nachtperiode. De bovenste streefwaarde (A_2) wordt niet overschreden. Bepaling van de V_{per} is noodzakelijk voor de nachtperiode.

De hoogste gecorrigeerde waarden voor V_{per} zijn opgenomen in tabel 12 voor de dag-, avond- en nachtperiode.

Tabel 12: meetpositie 1, gecorrigeerde resultaten hinder (V_{per}); dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Hoogste optredende meetwaarden van V_{per} [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal 1 Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	< 0,01	$0,01 * 1,8 = 0,02$	$0,01 * 1,8 = 0,02$
Nachtperiode	< 0,01	< 0,01	< 0,01

De toetsing voor hinder voor de dag-, avond- en nachtperiode is gegeven in tabel 13.

Tabel 13: meetpositie 1, toetsing voor hinder (V_{per}); dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	V_{per} [-]	A_3^* [-]	Toetsing
Dag- en avondperiode	0,02 (x en y-richting)	0,05	<u>Voldoet</u>
Nachtperiode	< 0,01	0,05	<u>Voldoet</u>

* waarden uit de SBR richtlijn (dag-, avond- en nachtperiode)

Toetsing trillingsmissie, meetpositie 2

Uit tabel 10 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B niet wordt overschreden op meetpositie 2 gedurende de dag- en avondperiode. Bepaling van de V_{per} is niet noodzakelijk voor de dag- en avondperiode.

Uit tabel 11 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B niet wordt overschreden op meetpositie 1 gedurende de nachtperiode. Bepaling van de V_{per} is niet noodzakelijk voor de nachtperiode.

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode op meetpositie 1 alsmede op meetpositie 2.

4.4. Resultaten en toetsing betreffende houten vloeren

In tabellen 14 en 15 zijn de hoogst gemeten waarden middels de cumulatieve overdrachtfuncties van bodem naar gebouw en van gebouw naar houten vloer berekend.

Tabel 14: meetpositie 1, gecorrigeerde resultaten hinder in geval van houten vloeren; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 1, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	$0,12 \times 3,5 = 0,42$	$0,12 \times 3,8 = 0,46$	$0,14 \times 3,8 = 0,53$
Nachtperiode	$< 0,10$	$0,11 \times 3,8 = 0,42$	$0,10 \times 3,8 = 0,38$

Tabel 15: meetpositie 2, gecorrigeerde resultaten hinder in geval van houten vloeren; dag-, avond- en nachtperiode.

Periode	Meetpositie 2, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-]		
	Z - Richting verticaal Channel 1	X-Richting horizontaal Channel 2	Y- Richting horizontaal Channel 3
Dag- en avondperiode	$< 0,10$	$< 0,10$	$< 0,10$
Nachtperiode	$< 0,10$	$< 0,10$	$< 0,10$

De hoogste gecorrigeerde waarde in geval van houten vloeren voor de dag- en avondperiode voor $V_{eff,max}$ zijn opgenomen in tabel 16. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 16 gegeven.

Tabel 16: toetsing voor hinder in geval van houten vloeren; dag- en avondperiode.

Meetpositie	$V_{eff,max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
1	0,53 (y-richting)	0,10	<u>Voldoet niet</u>	0,40	<u>Voldoet niet</u>
2	$< 0,10$	0,10	<u>Voldoet</u>	0,40	<u>Voldoet</u>

* waarden uit de SBR richtlijn (dag- en avondperiode)

De hoogste waarden in geval van houten vloeren voor de nachtperiode voor de $V_{eff,max}$ zijn opgenomen in tabel 17. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 17 gegeven.

Tabel 17: toetsing voor hinder in geval van houten vloeren; nachtperiode.

Meetpositie	$V_{eff,max}$ [-]	A_1^* [-]	Toetsing	A_2^* [-]	Toetsing
1	0,42 (x-richting)	0,10	<u>Voldoet niet</u>	0,20	<u>Voldoet niet</u>
2	$< 0,10$	0,10	<u>Voldoet</u>	0,20	<u>Voldoet</u>

* waarden uit de SBR richtlijn (nachtperiode)

Toetsing trillingsmissie in geval van houten vloeren, meetpositie 1

Uit tabel 16 en 17 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op meetpositie 1 gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. De bovenste streefwaarde (A_2) wordt ook overschreden. Bepaling van de V_{per} is niet noodzakelijk voor de dag-, avond- en nachtperiode.

Toetsing trillingsmissie in geval van houten vloeren, meetpositie 2

Uit tabel 16 en 17 blijkt dat de onderste streefwaarde (A_1) uit de SBR richtlijn B niet wordt overschreden op meetpositie 2 gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Bepaling van de V_{per} is niet noodzakelijk voor de dag-, avond- en nachtperiode.

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat niet aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode op meetpositie 1.

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode op meetpositie 2.

4.5. Bespreking van de resultaten

Prognose berekeningen, afstand van ca. 32 meter

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag- en avondperiode, en net wordt voldaan gedurende de nachtperiode (zie tabel 11). Uitgaande van de prognose berekeningen is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw met een afstand tot het spoor van minimaal 32 meter weinig tot geen trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

Prognose berekeningen, afstand van minder dan ca. 32 meter

Uit de prognose-berekeningen blijkt dat op posities met een afstand tot de spoorbaan kleiner dan ca. 32 meter niet aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B zal worden voldaan, althans gedurende de nachtperiode. Zonder aanvullend onderzoek is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw met een afstand van minder dan ca. 32 meter tot de spoorbaan (tenminste matige) trillingshinder kan optreden vanwege railverkeer.

Prognose berekeningen, afstand van ca. 60 meter

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Uitgaande van de prognose berekeningen is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw met een afstand tot de spoorbaan van minimaal 60 meter, er geen trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

Samenvatting van de prognose resultaten

Uit de prognose-berekeningen op de verschillende meetposities blijkt dat trillingshinder ter plaatse van de rooilijn van alle bouwclusters – behalve ter plaatse van bouwcluster nummer 1 – kan worden uitgesloten. Dit is onzeker ter plaatse van de nieuwbouw op bouwcluster 1 indien de woningen op een afstand van minder dan ca. 30 meter van de spoorbaan worden gebouwd.

Als in de nieuwe woningen houten vloer worden toegepast blijkt uit de prognose-berekeningen op de verschillende meetposities dat trillingshinder ter plaatse van de rooilijn van de bouwclusters met een afstand van het spoor van minder dan 60 [m] niet kan worden uitgesloten. Zonder aanvullend onderzoek is het de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw – in geval van houten vloeren – op een afstand van minder dan ca. 60 meter tot de spoorbaan (tenminste matige) trillingshinder kan optreden vanwege railverkeer.

Met betrekking tot de nieuwbouw op bouwcluster 1 dienen maatregelen te worden genomen om trillingshinder te voorkomen.

Mogelijke te treffen maatregelen worden behandeld in hoofdstuk 5.

5. MOGELIJKE MAATREGELEN

Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (spoorweg), een medium (grond) dat de trillingen doorgeeft, en een ontvanger (bewoners in woningen). 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 trillings scherm van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorweg en de woningen, nabij de woningen of naast het baanlichaam.

Verder onderzoek is nodig om het dempende effect en afmetingen van een dergelijk scherm te berekenen.

3. Mogelijke maatregelen bij de ontvanger zijn gerelateerd aan de afstand tussen bron en ontvanger en aan het funderingssysteem. In deze situatie lijkt het niet mogelijk om de gebouwen ter plaatse van bouwcluster 1 op een grotere afstand van de spoorweg te projecteren.

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

- Een optie is het gebruik van een minder trillingsgevoelig funderingssysteem in combinatie met een minder trillingsgevoelige vloerconstructie;
- Een andere optie is de plaatsing of een trillingsisolatie laag (verloren bekisting van PUR) rond en beneden de nieuwe fundering.

Aanvullend onderzoek is nodig om het dempende effect en de aard en soort van een bepaald funderingssysteem te berekenen.

6. CONCLUSIE

Uit de resultaten van het voorliggend onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- Op een afstand van minder dan ca. 32 meter van het spoor (bouwcluster 1):

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B niet wordt voldaan althans ten minste gedurende de nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw matige trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer. Zonder aanvullend onderzoek dienen er maatregelen te worden genomen (zie hoofdstuk 5 voor een overzicht van de mogelijkheden) om matige trillingshinder in de nieuwe woningen te voorkomen.

- Op een afstand van minimaal ca. 32 meter van het spoor (bouwclusters 34, 36, 38, 40 t/m 43):

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw weinig tot geen trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

- Op een afstand van minimaal ca. 60 meter van het spoor (bouwclusters 44 t/m 53, 74 en 75):

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw geen trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

- In het geval van houten vloerconstructies, op een afstand van minder dan ca. 60 meter van het spoor (bouwclusters 1, 34, 36, 38, 40 t/m 43):

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat niet aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw ten minste matige trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer. Zonder aanvullend onderzoek adviseren wij om het gebruik van houten vloerconstructies te vermijden.

- In het geval van houten vloerconstructies, op een afstand groter dan ca. 60 meter van het spoor (bouwclusters 44 t/m 53, 74 en 75):

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw weinig trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

AV-CONSULTING B.V.
Raadgevende ingenieurs

BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

1A: $V_{eff,max}$; V_{per} meetweek

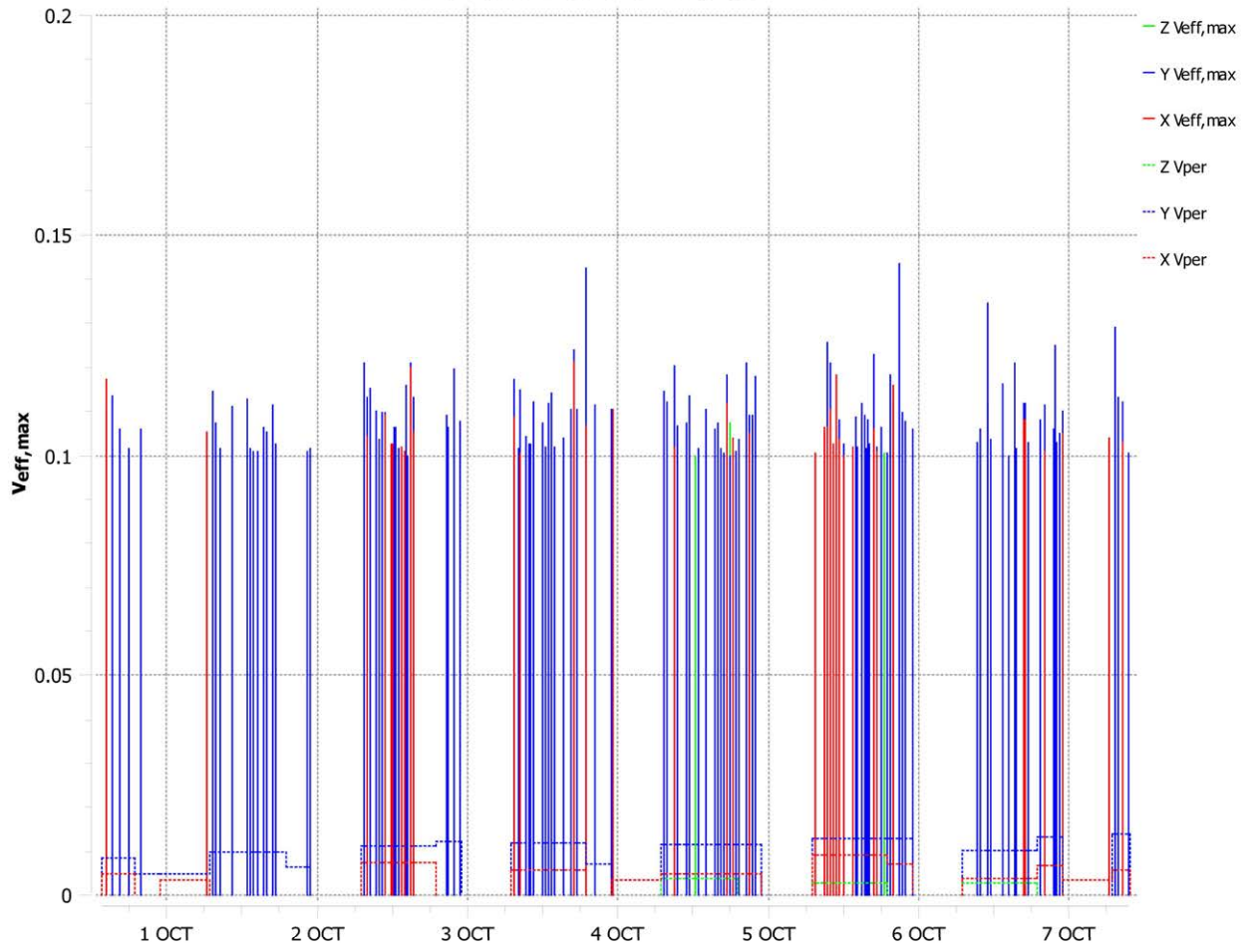
1B: Frequenties

1C: Trace van hoogste relevante trillingsniveau

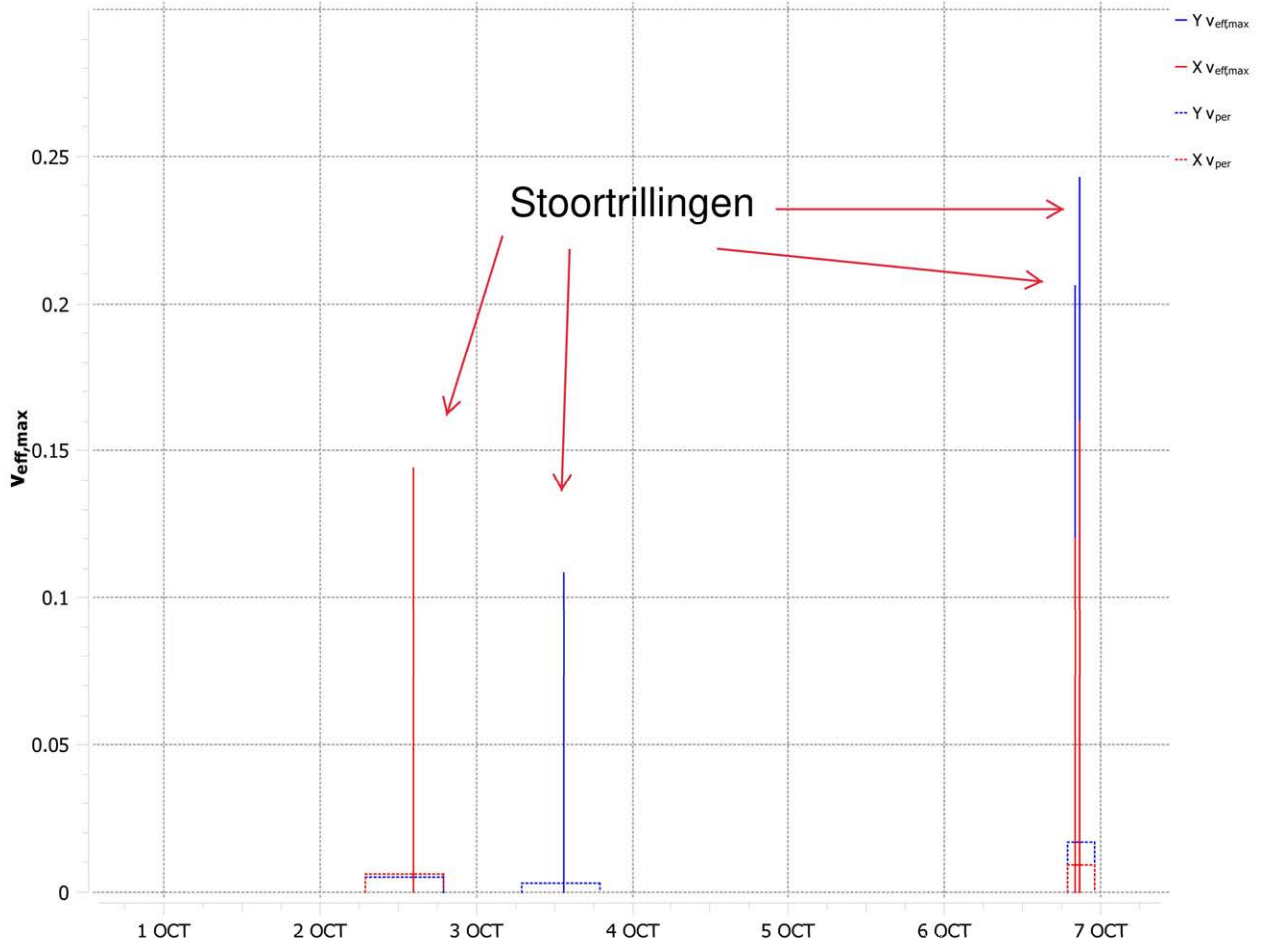
1D: Spectrum van hoogste relevante trillingsniveau

1E: Traces van niet relevant trillingen op meetpositie 2

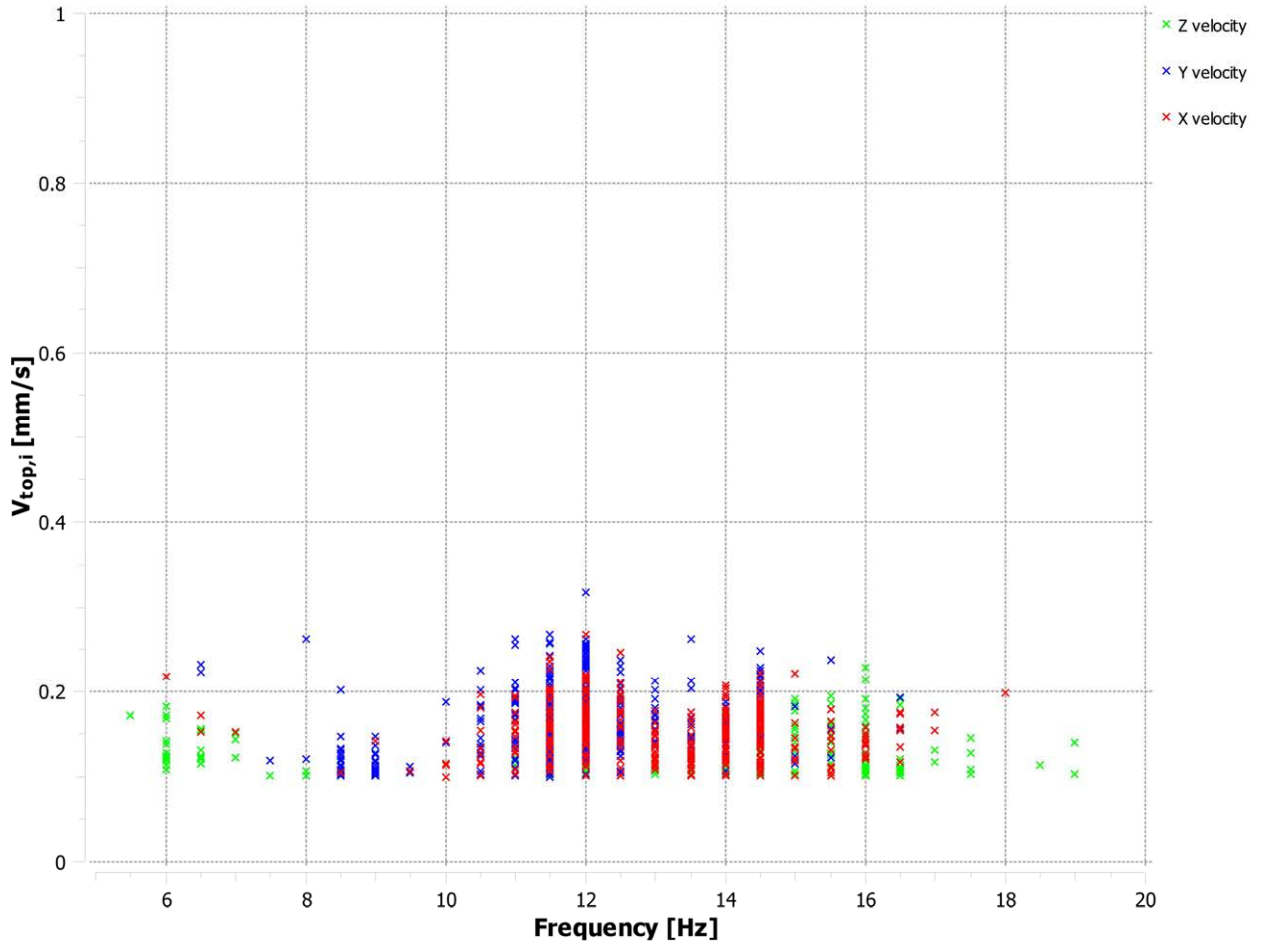
VIB00098 Positie 1 30-09-2019



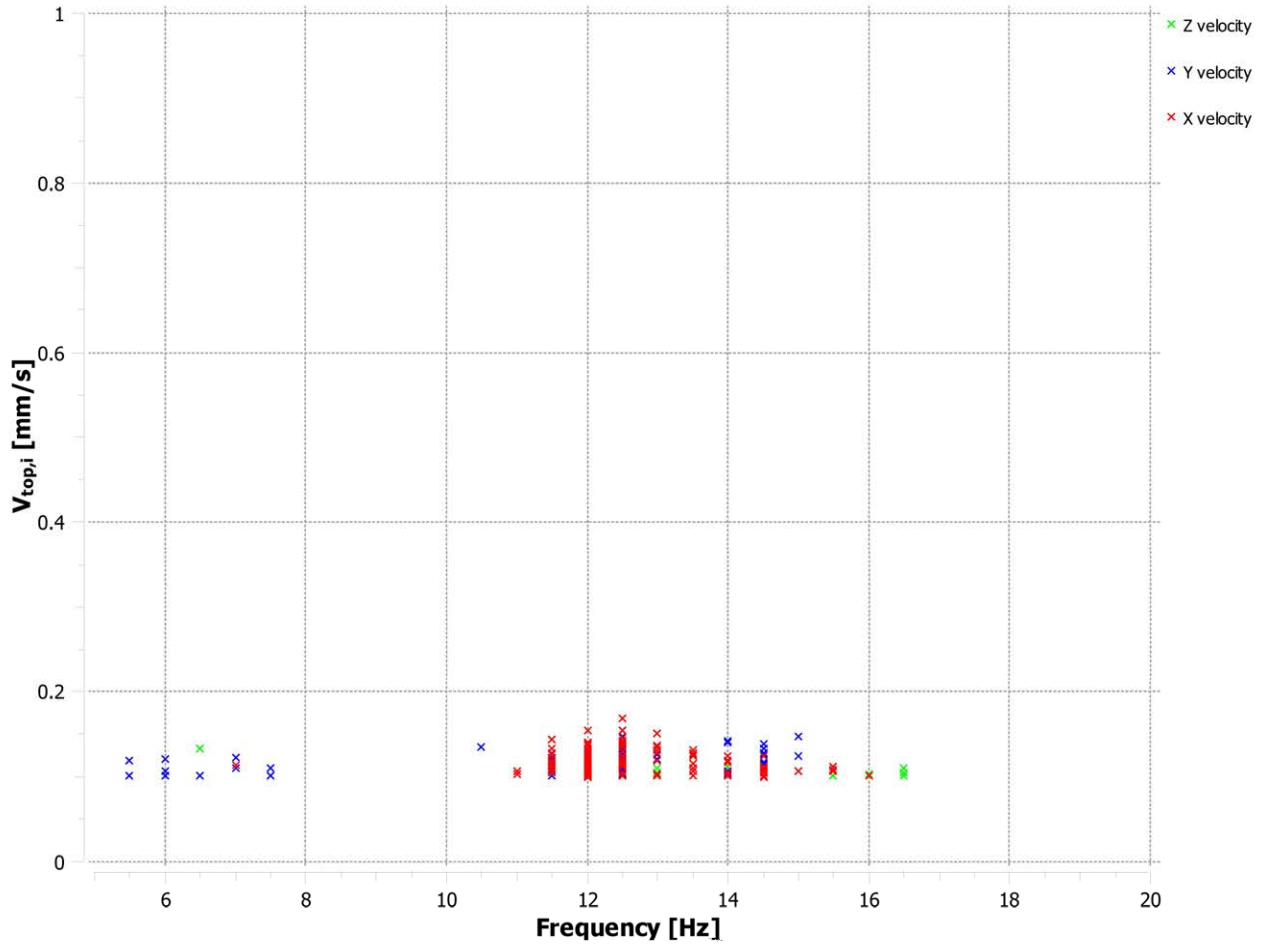
VIB00098 Positie 2 30-09-2019



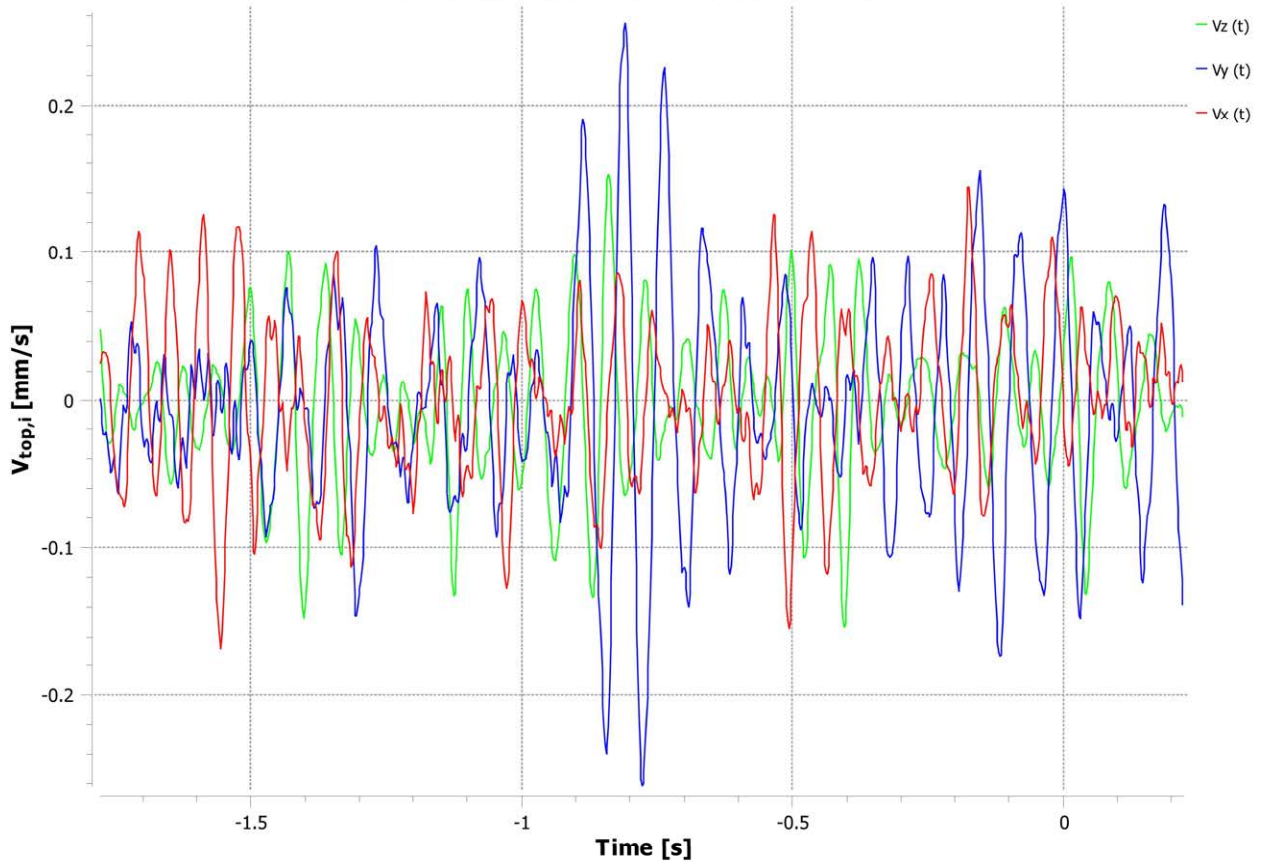
VIB00098 Positie 1 30-09-2019



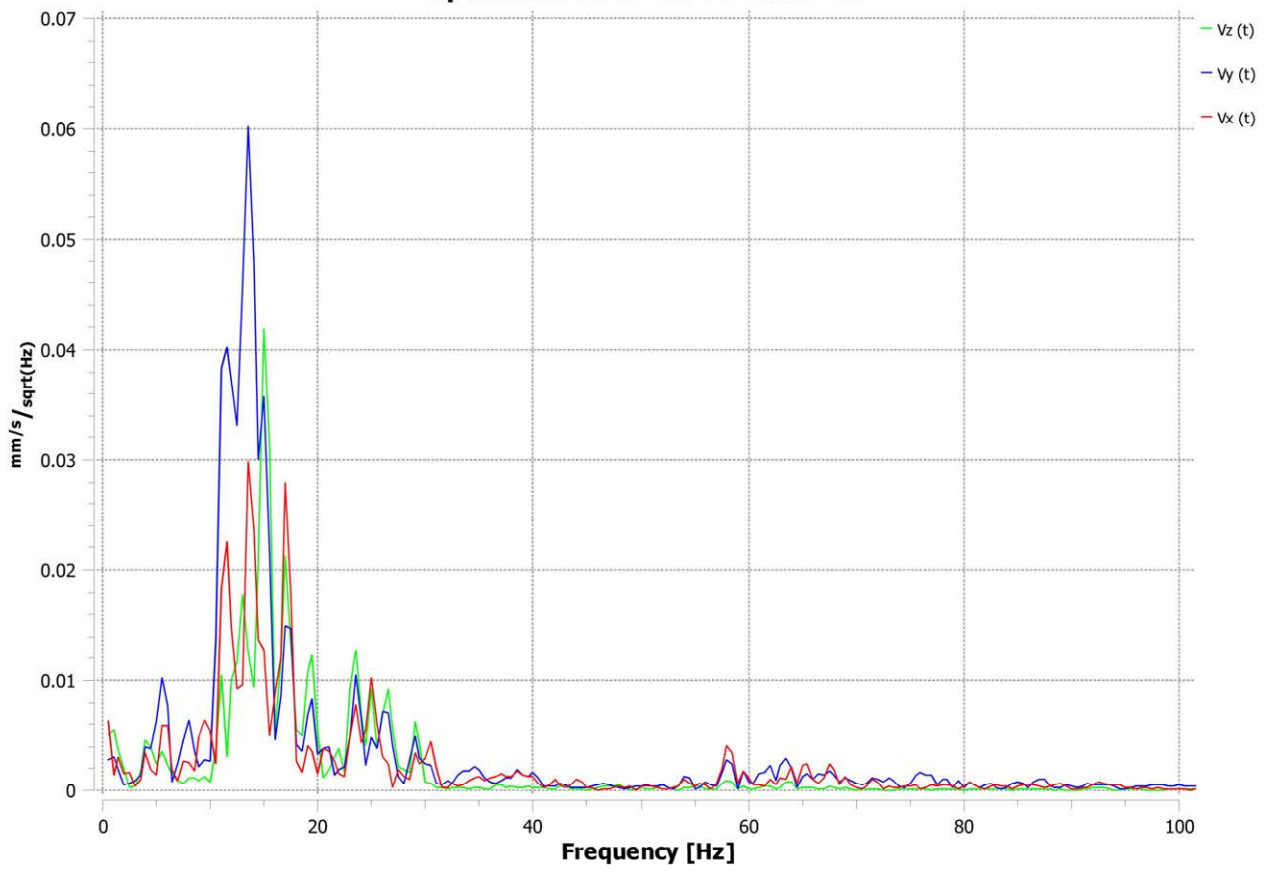
VIB00098 Positie 2 30-09-2019



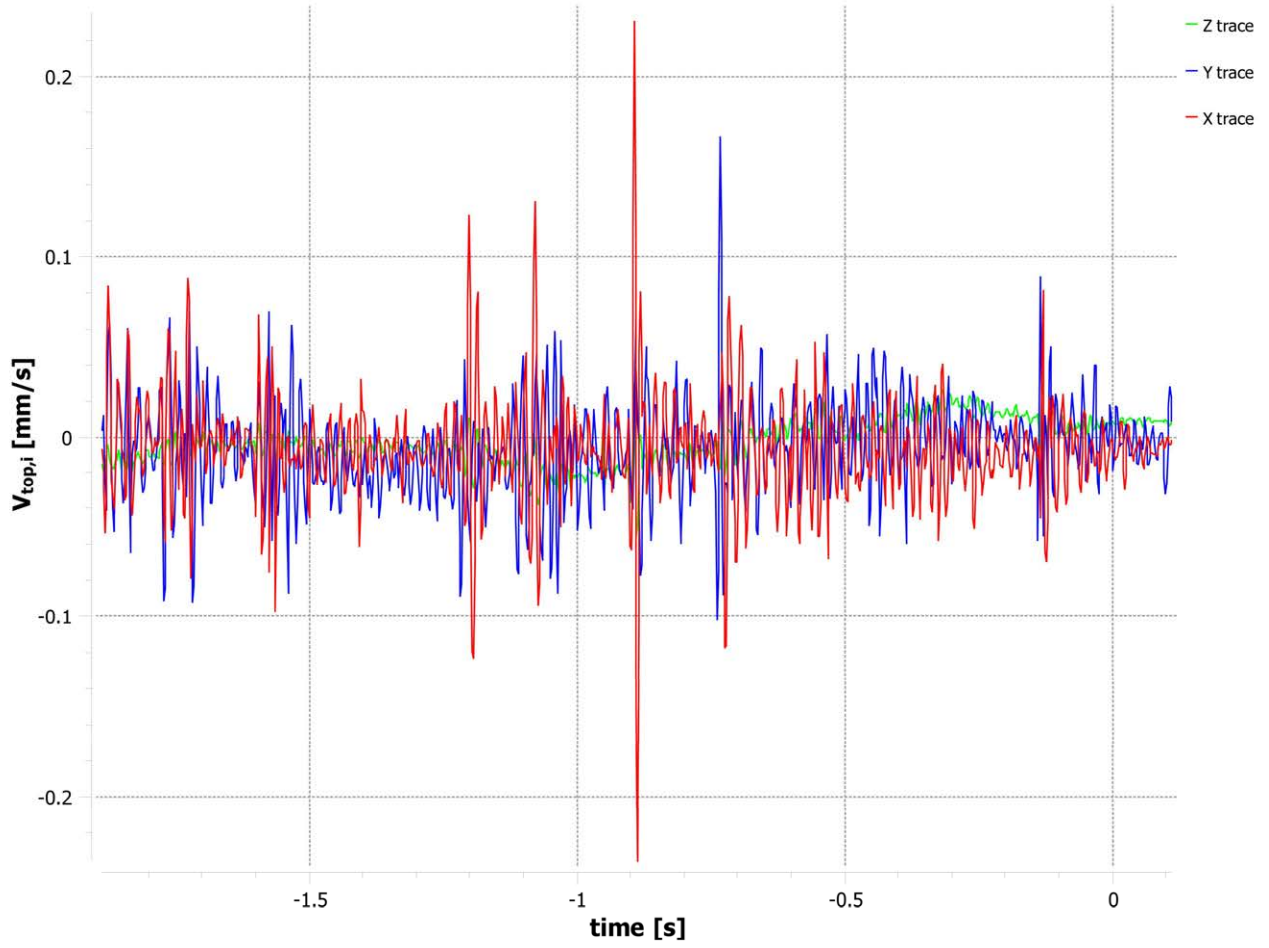
Velocity Trace: 2019-10-05 20:57:42



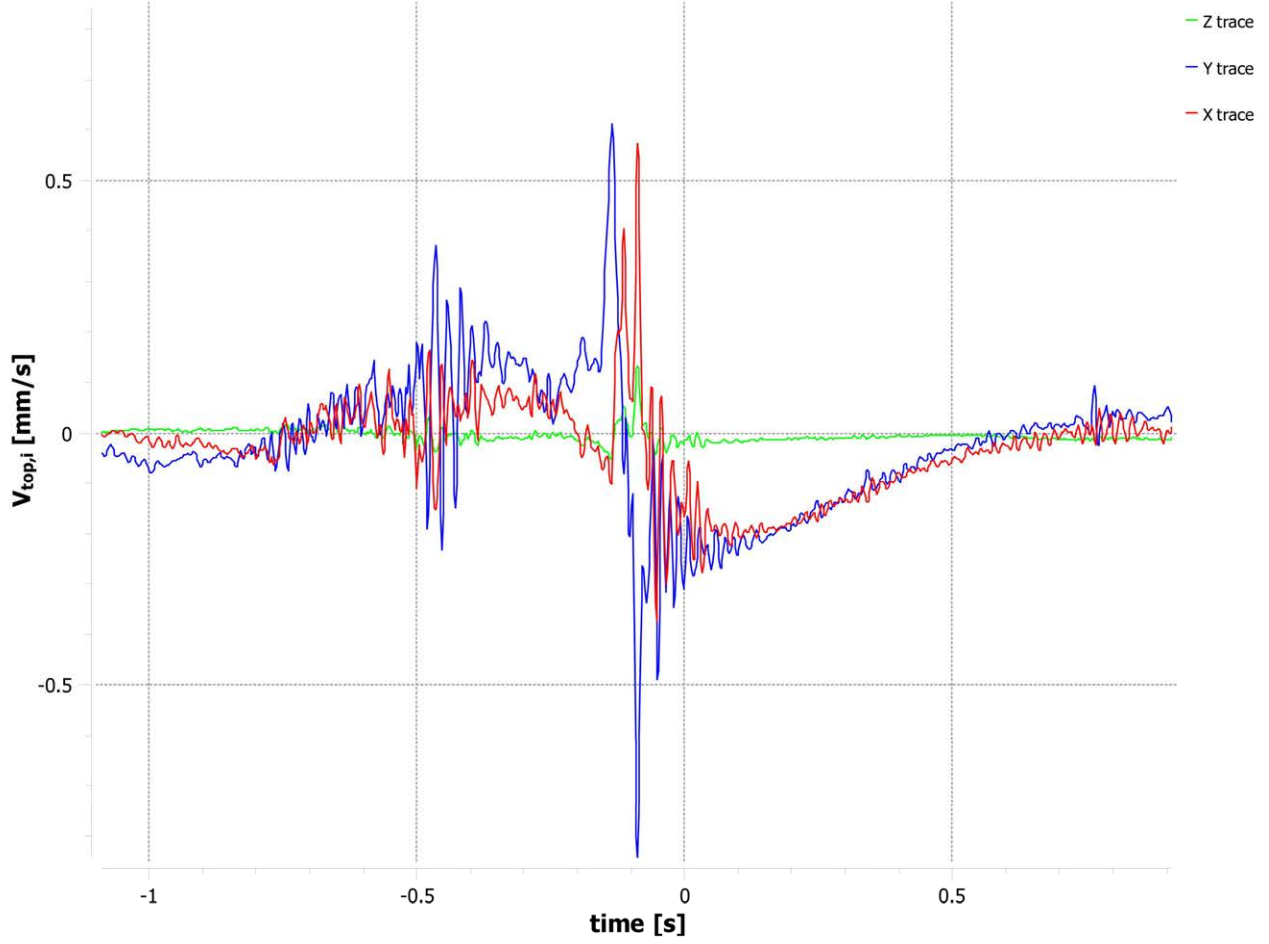
Spectrum: 2019-10-05 20:57:42



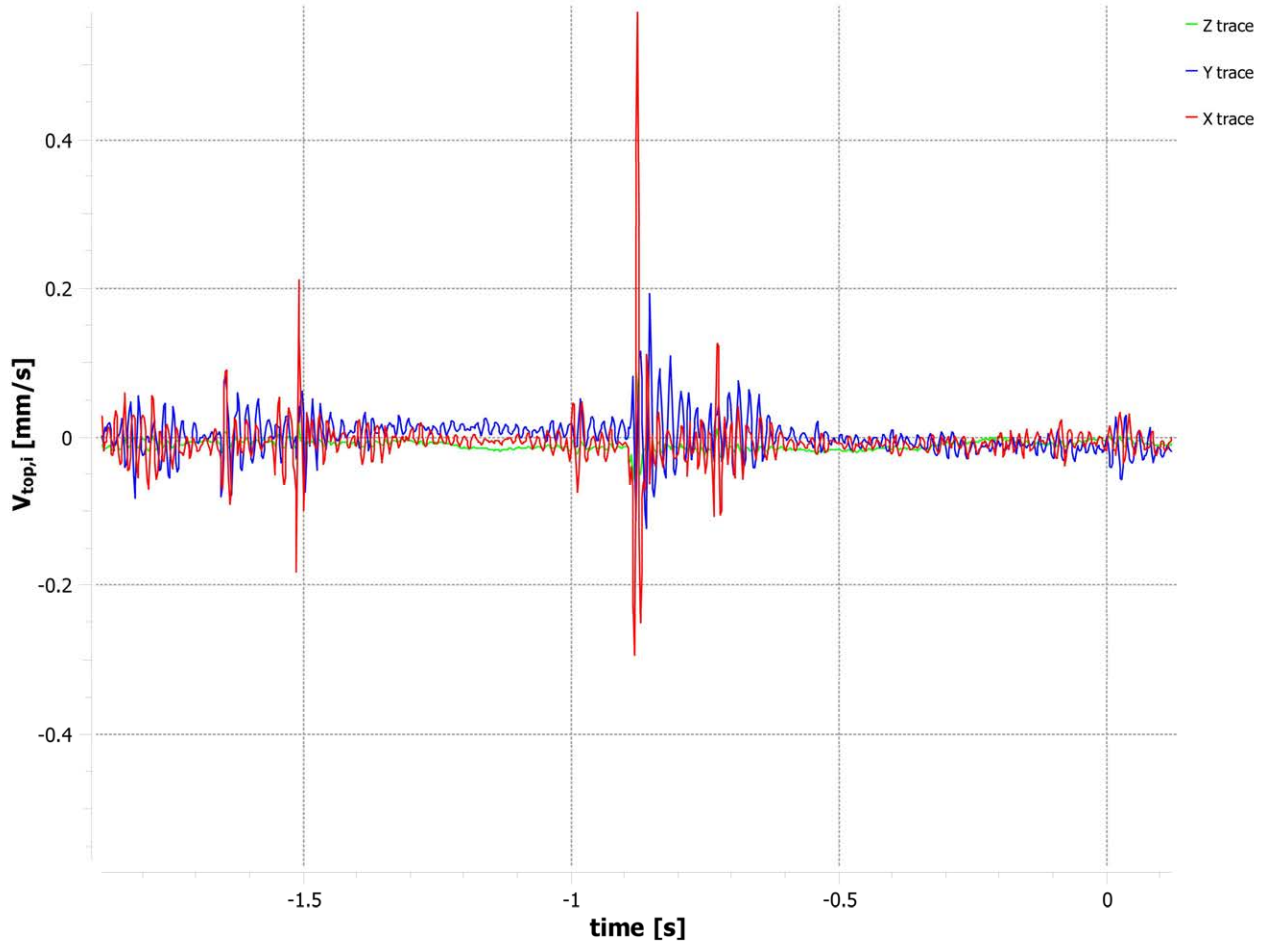
Velocity Trace: 2019-10-03 13:28:51



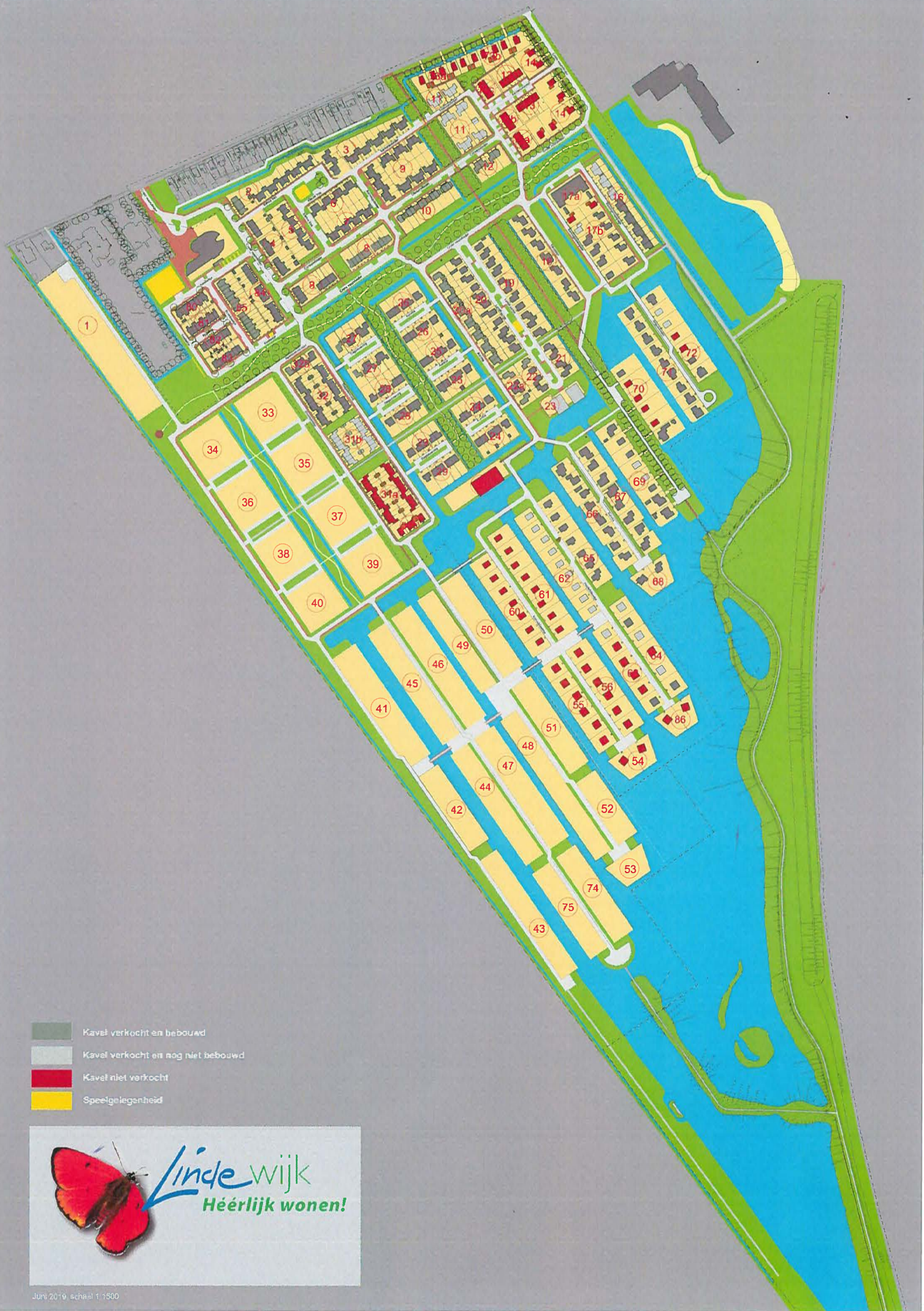
Velocity Trace: 2019-10-06 20:52:58







Velocity Trace: 2019-10-02 14:21:43



BIJLAGE 2: TEKENING



-  Kavel verkocht en bebouwd
-  Kavel verkocht en nog niet bebouwd
-  Kavel niet verkocht
-  Speelgelegenheid



BIJLAGE 3: TERMEN EN DEFINITIES VAN SBR-B

4 Termen en definities

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

Amplitude-frequentiekarakteristiek: de verhouding tussen ingaand en uitgaand signaal van een meetstelsel 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 Eenheden en grootheden

5.1 Eenheden

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

5.2 Grootheden

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

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

5.3 Gehanteerde symbolen

De verder in deze richtlijn gehanteerde symbolen zijn hieronder weergegeven.

A_1	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} , dimensieloos
A_2	maximale waarde voor de trillingssterkte V_{max} , dimensieloos
A_3	streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} , dimensieloos
f	frequentie, in Hz
f^*	frequentie in Hz, waarvoor $\varphi(f) = 0$
f_{max}	grensfrequentie van het laagdoorlaatfilter, in Hz
f_{min}	grensfrequentie van het hoogdoorlaatfilter, in Hz
f_o	kantelfrequentie van het wegingsfilter, $f_o = 5,6$ Hz
$H_{a(f)}$	wegingsfunctie trillingsversnelling, s^2/m
$H_{v(f)}$	wegingsfunctie trillingssnelheid, s/mm
i	variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin $v_{eff,max,30,i}$ is gemeten

N	aantal aaneensluitende tijdsintervallen van 30 seconden in een beoordelingsperiode; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, $N = 1440$; voor de dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur, $N = 1440$; voor de avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur, $N = 480$; voor de nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur, $N = 960$
n	aantal gehele tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van een meting
t	tijd, in s
T_b	totale tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is in een beoordelingsperiode, in s
T_m	tijdsduur van de meting, in s
T_o	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 trillingsgrootte, dimensieloos
$v_{eff}(t)$	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootte, dimensieloos
$v_{off,max}$	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
$\varphi(f)$	maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
$\varphi_m(f)$	de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden