



IBAN NL15 RABO 0307 33 99 20

KvK Gouda 29037057

Lid INCE • NAG • ABAV • Ti-Kviv

[www.av-consulting.nl](http://www.av-consulting.nl)

NL - 8033.00.591.B.01

## Rapport 2006006599-20190784-1

27 november 2019

### TRILLINGSONDERZOEK

Nieuwe bedrijfskavel te Opheusden;  
bepaling kans op hinder en storing aan apparatuur  
t.g.v. railverkeer

#### AKOESTIEK

#### TRILLINGEN

#### MILIEU- VERGUNNINGEN

#### LUCHTONDERZOEK

**Opdrachtgever**  
Buro SRO  
Sweerts de Landasstraat 50  
6814 DG Arnhem

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

#### BEZWAAR EN BEROEP

**Namens dezen**  
T.a.v. Erwin Stevens

## Inhoudsopgave

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INLEIDING.....                                                       | 1  |
| 1.1. Algemeen .....                                                     | 1  |
| 1.2. Gegevens .....                                                     | 1  |
| 2. SBR-RICHTLIJN B: HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN .....              | 2  |
| 3. SBR-RICHTLIJN C: STORING AAN APPARATUUR.....                         | 4  |
| 4. METINGEN EN BEREKENING .....                                         | 6  |
| 4.1. Situatie .....                                                     | 6  |
| 4.2. Trillingsmetingen.....                                             | 6  |
| 4.3 Overdrachtsprognoses betreffende gebouwen .....                     | 9  |
| 5. RESULTATEN HINDER EN PROGNOSE.....                                   | 11 |
| 5.1. Meetresultaten .....                                               | 11 |
| 5.2. Gecorrigeerde resultaten .....                                     | 12 |
| 5.3. Toetsing trillingsimmissie; prognose .....                         | 12 |
| 5.4. Berekening resultaten .....                                        | 13 |
| 5.5. Bespreking van de resultaten, hinder .....                         | 14 |
| 6. RESULTATEN STORING AAN APPARATUUR .....                              | 15 |
| 6.1. Meet-en berekeningsresultaten .....                                | 15 |
| 6.2. Toetsing trillingsimmissie, storing aan apparatuur; prognose ..... | 15 |
| 7. MOGELIJKE MAATREGELEN.....                                           | 16 |
| 8. CONCLUSIE.....                                                       | 17 |

### BIJLAGEN:

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

# 1. INLEIDING

## 1.1. Algemeen

In opdracht van de gemeente Neder-Betuwe via Buro SRO is door AV Consulting B.V. Raadgevende Ingenieurs een trillingsonderzoek uitgevoerd in de bodem ter plaatse van de grens van een bedrijfskavel aan de Dodewaardsestraat te Opheusden. De bedrijfskavel voorziet in trillingsgevoelige ruimten door de bouw van onder andere kantoren.

Doel van het onderzoek is het prognosticeren van de trillingsniveaus in de kantoren ten gevolge van het treinverkeer op de spoorlijnen Arnhem – Dordrecht en Arnhem – Utrecht (Betuweroute).

ProRail adviseert indicatief onderzoek te doen naar de te verwachten trillingsniveaus. Aanleiding voor het onderzoek is de zorg van de opdrachtgever voor mogelijk toekomstige hinder in de nieuwbouw en storing aan de apparatuur ten gevolge van de spoortrillingen.

Ten behoeve van het onderzoek zijn er trillingsmetingen verricht conform de voorschriften uit de SBR-richtlijn B: "Hinder voor personen in gebouwen" en uit de SBR-richtlijn C: "Storing aan apparatuur" gedurende ca. 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) De SBR-richtlijn C "Storing aan apparatuur" van de Stichting Bouwresearch.
- 3) Document "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen" d.d. mei 2019 van de van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- 4) Rapport M.2019.0471.00.R001, "Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen" d.d. 2 oktober 2019.
- 5) Publicatie nr. 9/1995 "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" van de Ministerie van Volkshuisvesting.
- 6) Plattegrond tekening van de toekomstige situatie getekend door Buro SRO.

## 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  $A_3$ :

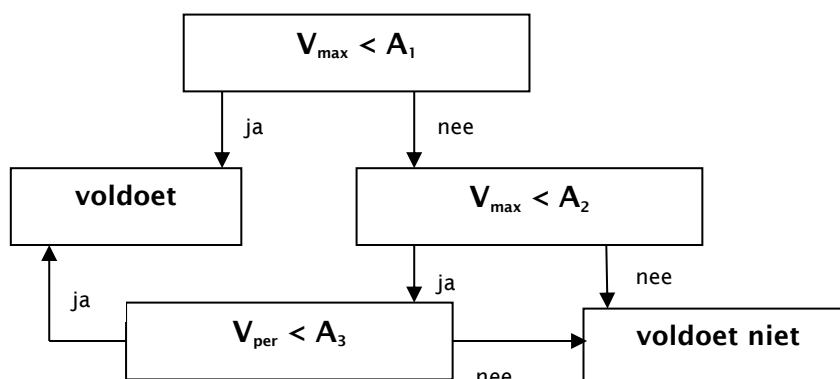
1.  $A_1$  is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{\max}$ ;
2.  $A_2$  is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{\max}$ ;
3.  $A_3$  is de streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{\text{per}}$ .

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 ( $V_{\text{per}}$ ) kleiner is dan  $A_3$ .

De procedure voor de beoordeling van  $V_{\max}$  en  $V_{\text{per}}$  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- en avond |     |      | Nacht |     |      |
|---------------------------------------------|---------------|-----|------|-------|-----|------|
|                                             | A1            | A2  | A3   | A1    | A2  | A3   |
| SBR richtlijn B – Kantoor (nieuwe situatie) | 0,15          | 0,6 | 0,07 | 0,15  | 0,6 | 0,07 |

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

In bijlage 4 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.

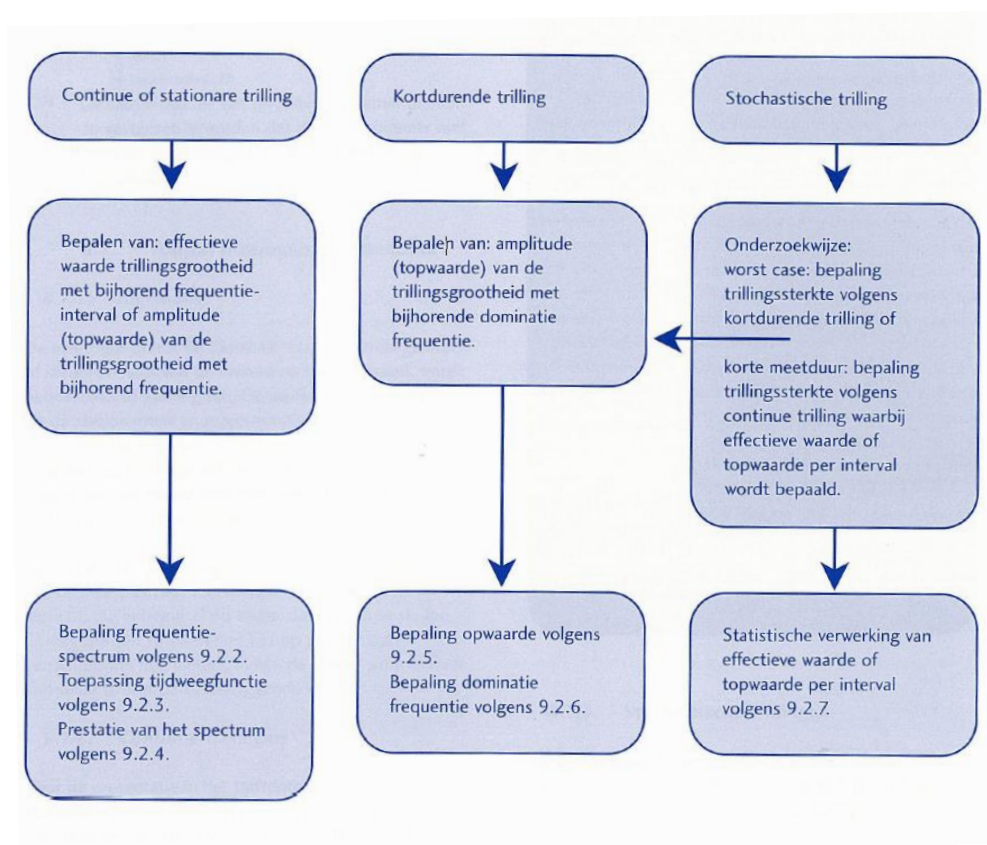
### 3. SBR-RICHTLIJN C: STORING AAN APPARATUUR

De meet- en beoordelingsrichtlijn C, "Storing aan apparatuur" geeft een procedure voor het meten en het beoordelen van gebouwtrillingen met betrekking tot beïnvloeding van voor trillingen gevoelige apparatuur, opgesteld in gebouwen.

Onder voor trillingen gevoelige apparatuur wordt in deze richtlijn onder meer verstaan:

- optische apparatuur, waarin met hoge vergrotingen wordt gewerkt, zoals onder meer: elektronenmicroscopen, massaspectrometers en dergelijke;
- apparatuur waarin met een zeer kleine ruimtelijke resolutie wordt gewerkt, zoals bijvoorbeeld masterapparatuur voor CD-fabricage;
- apparatuur, waarmee wegingen worden uitgevoerd, zoals gevoelige balansen en elektronische weegmiddelen;
- diverse apparatuur, waar specifieke gevoelige componenten voorkomen, zoals bijvoorbeeld diskdrives in computers, verbindingen in elektronische schakelingen en dergelijke;
- apparatuur, waar positioneringen met een zeer kleine resolutie plaatsvinden, zoals vonkverspaningsmachines.

In de richtlijn zijn de grenswaarden onder andere gebaseerd op de aard van de trillingsbron. In de onderhavige situatie worden de optredende trillingen beschouwd als korturende trillingen.



In de Richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van de indeling en criteria volgens Bolt, Beranek and Newman Inc (zie tabel 3):

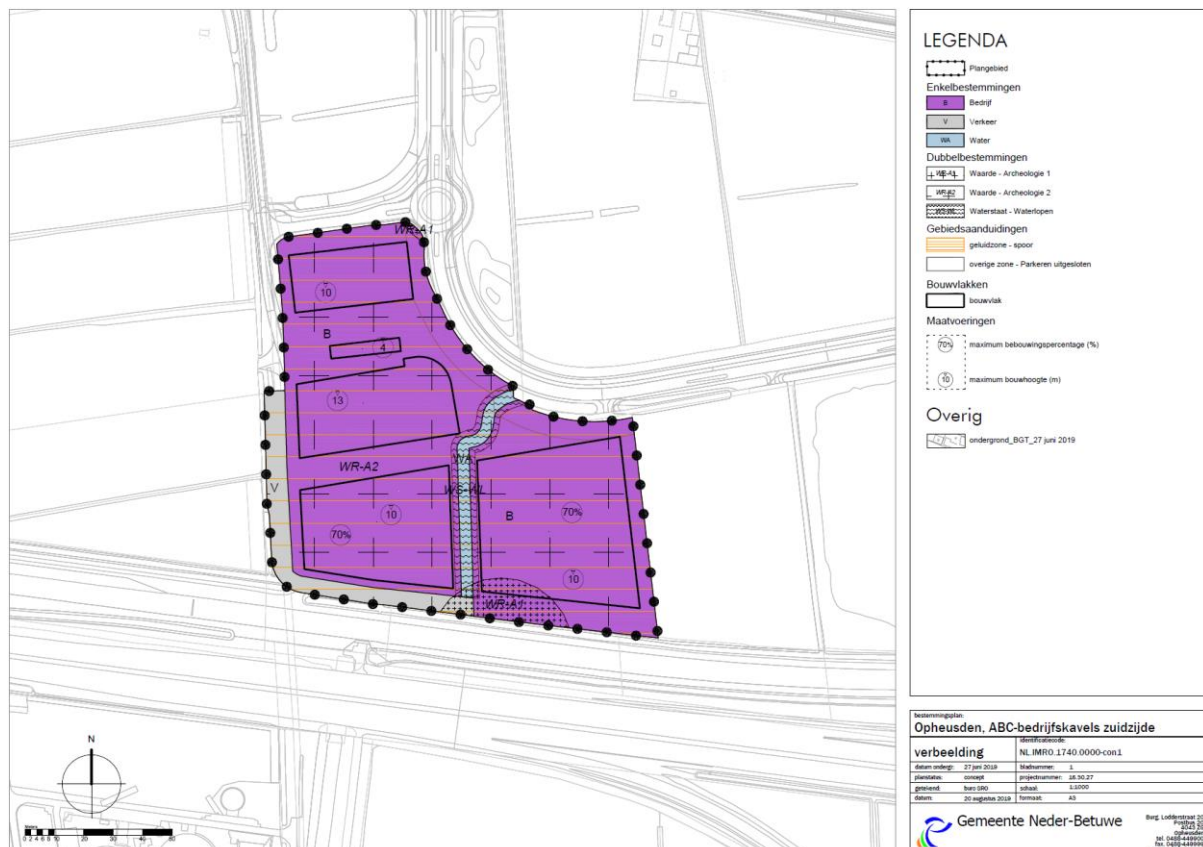
Tabel 3: Indeling en criteria volgens Bolt, Beranek en Newman Inc.

| Type apparatuur of gebruik                                                                                                                                                                                                  | Veff<br>μm/s*) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Woningen; computersystemen                                                                                                                                                                                                  | 200,00         |
| Operatiekamers; microscopen met een vergroting tot 100 x                                                                                                                                                                    | 100.00         |
| Microscopen met een vergroting tot 400 x, optische en andere precisie-balansen; plaatsbepalingsapparatuur; metrologische laboratorium-ruimten; optische comparatoren; fabricage-apparatuur voor micro-electronica (class A) | 50,00          |
| Micro-chirurgie, oog- en zenuw-operaties; microscopen met een vergroting meer dan 400 x; optische apparatuur op geïsoleerde opstellingen; fabricage-apparatuur voor micro-electronica (class B)                             | 25.00          |
| Electronenmicroscopen met vergrotingen tot 30.000 x; microtomes, magnetic resonance imagers; fabricage-apparatuur voor micro-electronica (class C)                                                                          | 12.50          |
| Electronenmicroscopen met vergrotingen meer dan 30.000 x; massa-spectrometers; cell implant equipment; fabricage-apparatuur voor micro-electronica (class D)                                                                | 6.25           |
| Niet geïsoleerde laser / optische onderzoeksysteem; fabricageapparatuur voor micro-electronica (class E)                                                                                                                    | 3.15           |
| *) In het frequentiegebied van 8 tot 80Hz per tert.                                                                                                                                                                         |                |
| Class Apparatuur                                                                                                                                                                                                            | Class          |
| Inspection, probe test en andere ondersteunende apparatuur bij de fabricage                                                                                                                                                 | A              |
| Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor fotolithografie met lijnbreedte van 3μm of meer                                                                                                                      | B              |
| Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor fotolithografie met lijnbreedte van 1μm of meer                                                                                                                      | C              |
| Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor fotolithografie met lijnbreedten van 0,5μm, alsmede E-beam apparatuur                                                                                                | D              |
| Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor fotolithografie met lijnbreedten van 0,25μm alsmede E-beam apparatuur                                                                                                | E              |

## 4. METINGEN EN BEREKENING

### 4.1. Situatie

De gemeente Neder-Betuwe wil mogelijke trillingshinder, ten gevolge van treinverkeer voor personeel van de nieuw kantoren voorkomen; de gemeente Neder-Betuwe wil ook weten – aan de hand van trillingsresultaten – of er kans op storing aan trillingsgevoelige apparatuur is. In figuur 1 is de nieuwe situatie weergegeven.



Figuur 1: overzicht van de toekomstige situatie (concept tekening).

De exacte afstand tussen de nieuwe gebouwen en het spoor is in deze fase nog niet bekend.

### 4.2. Trillingsmetingen

Trillingsmetingen zijn uitgevoerd op twee posities aan de grens van de bedrijfskavel 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. 19 meter (meetpositie 1) en van ca. 29 meter (meetpositie 2).

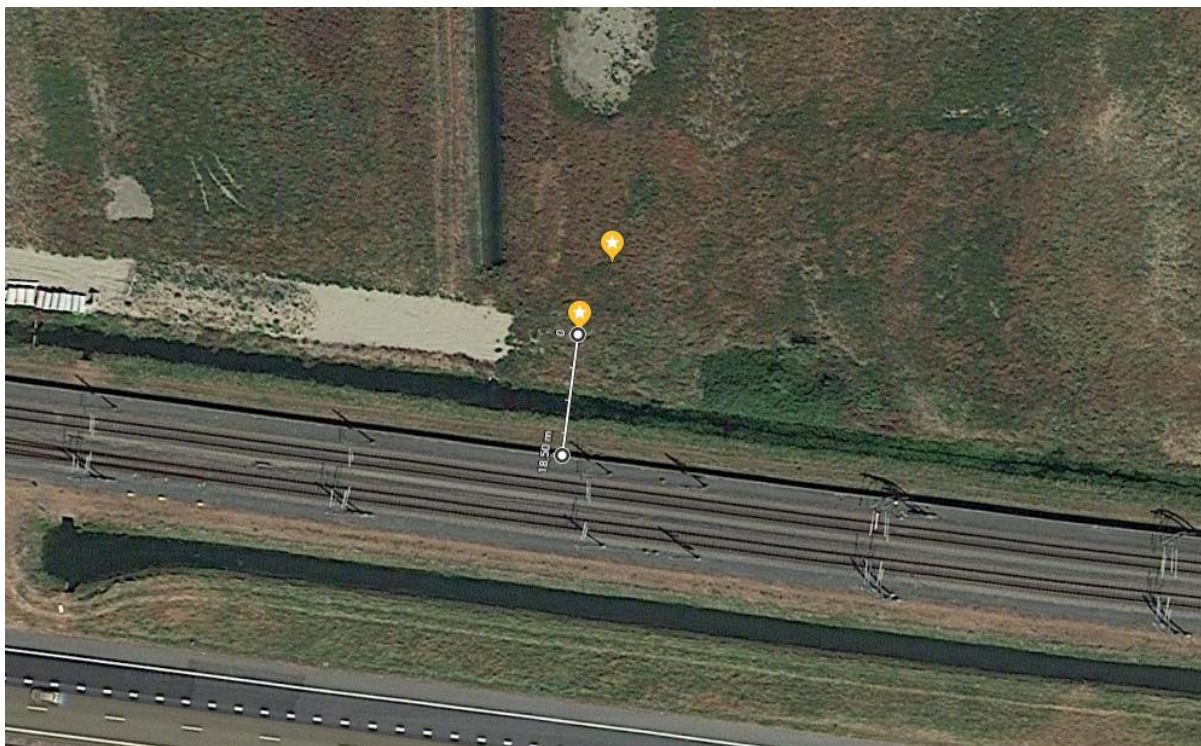
Op basis van de meetresultaten zijn de trillingsniveaus met hulp van de empirische formule van Barkan op de volgende posities berekend:

- positie 3: op een afstand van 60 meter van het spoor, met betrekking tot hinder en storing aan apparatuur;
- positie 4: op een afstand van 120 meter van het spoor, met betrekking tot storing aan apparatuur.

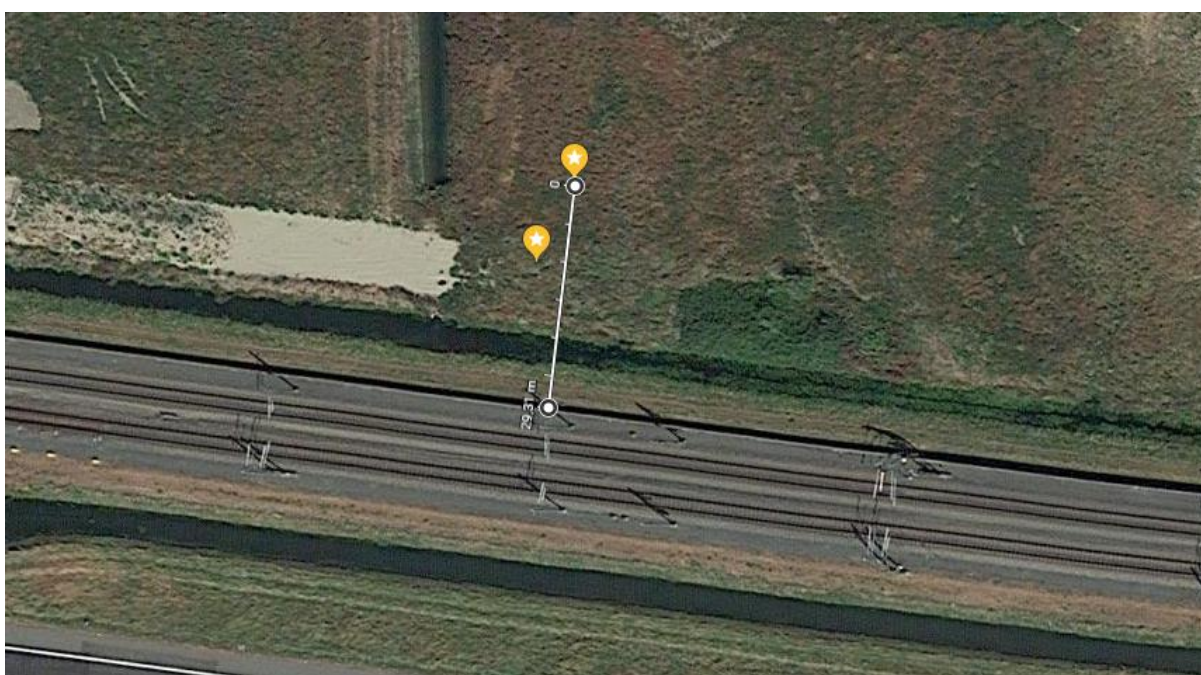
De resultaten van het onderzoek dienen een indicatief antwoord te geven op de vraag of er kans op hinder en op storing aan apparatuur is in de kantoorruimten op verschillende afstanden van het spoor.

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.

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 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. 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.

In figuur 6 is een foto van de twee meetposities en de spoorbaan weergegeven.



Figuur 6: foto van de twee meetposities en van de spoorbaan (opgenomen op meetpositie 2).

De onbemande metingen zijn uitgevoerd van maandag 4 november 2019 in de ochtend t/m de middag van zondag 10 november 2019. Op de meetlocaties zijn in drie richtingen (één verticaal en twee horizontaal) de optredende trillingen geregistreerd. De x-richting loopt evenwijdig met de lengte-as van het bouwplan die parallel aan de spoorbaan ligt.

Bij de metingen is gebruik gemaakt van de in tabel 4 vermelde meetapparatuur. Deze meetapparatuur voldoet aan de specificaties uit de SBR richtlijn.

Tabel 4: gebruikte meetapparatuur.

| Omschrijving         | Merk     | Type        |
|----------------------|----------|-------------|
| Trillingsanalyzer    | Profound | Vibra SBR + |
| 3-D trillingsopnemer | Profound | Vibra SBR + |

### 4.3 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 van ca. 4 t/m 10 Hz in de x-, y- en 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 licht 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 |
| <u>Zwaar gebouw (Utiliteitsbouw)</u> | -6               | <u>-6</u> | -7 | -9 | -14 |

Het funderingsysteem is in de onderwerpelijke situatie nog niet bekend. In de berekeningen wordt uitgegaan van een 'zwaar gebouw (utiliteitsgebouw)'. Bij de dominante frequenties van 4-10 Hz is de verzwakking ca. 6 dB; dit is een verzwakkingfactor van 2.

Voor onderwerpelijke situatie is een verzwakkingfactor van 2 in de x-, y- en 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 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 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 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<br>(3 – 5 Hz)       | 10               | 8 | 7  | 5  | 4  |
| Kleine overspanning<br>(12 Hz – 16 Hz) | 4                | 8 | 10 | 7  | 5  |

In het onderwerpelijke geval is er tussen ca. 4 Hz en 10 Hz een versterking van ca. 8 dB; dit is een versterkingsfactor van ca. 2,5.

Cumulatie overdrachtsprognose:

Voor de trillingsoverdracht van bodem naar gebouw in de x-, y- en z-richting is gerekend met een verzwakking van 6 dB. Dit is een verzwakkingsfactor van ca. 2 op de gemeten trillingsresultaten (trillingssnelheid). Voor de opslingering in het vloerveld in de x-, y- en z-richting is gerekend met een versterking van ca. 8 dB. Dit is een versterkingsfactor van ca. 2,5 op de gemeten trillingsresultaten (trillingssnelheid).

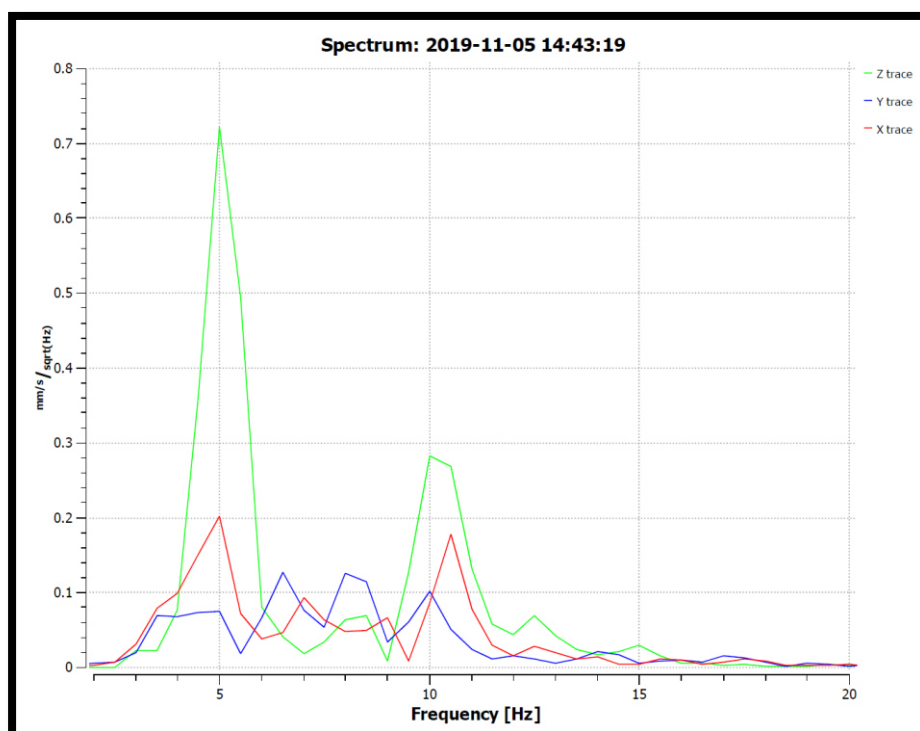
De cumulatieve overdrachtsfactor in de x-, y- en z-richting bedraagt derhalve:  $2,5/2 = 1,25$ .

## 5. RESULTATEN HINDER EN PROGNOSE

### 5.1. Meetresultaten

Gedurende de meetweek hebben stoortrillingen plaatsgevonden vermoedelijk met betrekking tot het gebruik van een rupskraan; door een analyse van de gemeten snelheidwaarden, traces en spectra zijn deze resultaten geïdentificeerd en geëlimineerd (zie omcirkelde waarden in bijlage 1). Stoortrillingen ten gevolge van de installatie en de-installatie van de instrumenten zijn ook geëlimineerd.

In figuur 7 is het spectrum van de hoogste trilling vanwege railverkeer gegeven, gemeten op meetpositie 1.



Figuur 7: spectrum van de hoogst gemeten trilling vanwege railverkeer, de gemeten snelheidwaarde wordt bepaald in het tijdsdomein.

In tabel 7 en 8 zijn de meetresultaten als maximale effectieve trillingssnelheid,  $V_{\text{eff,max}}$ , samengevat voor de dag- en avondperiode en voor de nachtperiode. Zie ook bijlage 1. In tabellen 7 en 8 zijn de hoogste meetwaarden opgenomen.

Tabel 7: meetpositie 1, meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

| Periode                 | Meetpositie 1, hoogst optredende meetwaarden van $V_{\text{eff,max}}$ [-] |                                        |                                         |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                         | Z - Richting<br>verticaal<br>Channel 1                                    | X-Richting<br>horizontaal<br>Channel 2 | Y- Richting<br>horizontaal<br>Channel 3 |
| Dag- en<br>avondperiode | 0,68                                                                      | 0,65                                   | 0,48                                    |
| Nachtperiode            | 0,57                                                                      | 0,49                                   | 0,38                                    |

Tabel 8: meetpositie 2, meetresultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

| Periode                 | Meetpositie 2, hoogst optredende meetwaarden van $V_{eff,max}$ [-] |                                        |                                          |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                         | Z - Richting<br>verticaal<br>Channel 1                             | X-Richting<br>horizontaal<br>Channel 2 | Y - Richting<br>horizontaal<br>Channel 3 |
| Dag- en<br>avondperiode | 0,68                                                               | 0,41                                   | 0,46                                     |
| Nachtperiode            | 0,50                                                               | 0,37                                   | 0,38                                     |

## 5.2. Gecorrigeerde resultaten

In tabellen 9 en 10 zijn de hoogste gemeten waarden middels de cumulatieve overdrachtfuncties van bodem naar gebouw en van gebouw naar vloer berekend.

Tabel 9: meetpositie 1, gecorrigeerde resultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

| Periode                 | Meetpositie 1, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-] |                                        |                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                         | Z - Richting<br>verticaal<br>Channel 1                         | X-Richting<br>horizontaal<br>Channel 2 | Y - Richting<br>horizontaal<br>Channel 3 |
| Dag- en<br>avondperiode | $0,68 * 1,25 = 0,85$                                           | $0,65 * 1,25 = 0,81$                   | $0,48 * 1,25 = 0,60$                     |
| Nachtperiode            | $0,57 * 1,25 = 0,71$                                           | $0,49 * 1,25 = 0,61$                   | $0,38 * 1,25 = 0,48$                     |

Tabel 10: meetpositie 2, gecorrigeerde resultaten hinder; dag-, avond- en nachtperiode.

| Periode                 | Meetpositie 2, hoogst optredende waarden van $V_{eff,max}$ [-] |                                        |                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                         | Z - Richting<br>verticaal<br>Channel 1                         | X-Richting<br>horizontaal<br>Channel 2 | Y - Richting<br>horizontaal<br>Channel 3 |
| Dag- en<br>avondperiode | $0,68 * 1,25 = 0,85$                                           | $0,41 * 1,25 = 0,51$                   | $0,46 * 1,25 = 0,58$                     |
| Nachtperiode            | $0,50 * 1,25 = 0,63$                                           | $0,37 * 1,25 = 0,46$                   | $0,38 * 1,25 = 0,48$                     |

## 5.3. Toetsing trillingsmissie; prognose

De hoogste gecorrigeerde waarden voor de dag- en avondperiode voor  $V_{eff,max}$  zijn opgenomen in tabel 11. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 11 gegeven.

Tabel 11: toetsing voor hinder; dag- en avondperiode.

| Meetpositie | $V_{eff,max}$ [-] | $A_1^*$ [-] | Toetsing            | $A_2^*$ [-] | Toetsing            |
|-------------|-------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| 1           | 0,85 (z-richting) | 0,15        | <u>Voldoet niet</u> | 0,60        | <u>Voldoet niet</u> |
| 2           | 0,85 (z-richting) | 0,15        | <u>Voldoet niet</u> | 0,60        | <u>Voldoet niet</u> |

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

De hoogste waarden voor de nachtperiode voor de  $V_{eff,max}$  zijn opgenomen in tabel 12. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 12 gegeven.

Tabel 12: toetsing voor hinder; nachtperiode.

| Meetpositie | $V_{eff,max}$ [-] | $A_1^*$ [-] | Toetsing            | $A_2^*$ [-] | Toetsing            |
|-------------|-------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| 1           | 0,71 (z-richting) | 0,15        | <u>Voldoet niet</u> | 0,60        | <u>Voldoet niet</u> |
| 2           | 0,63 (z-richting) | 0,15        | <u>Voldoet niet</u> | 0,60        | <u>Voldoet niet</u> |

\* waarden uit de SBR richtlijn (nachtperiode)

Toetsing trillingsimmissie, hinder

Uit tabel 11 en 12 blijkt dat de onderste streefwaarde ( $A_1$ ) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op meetposities 1 en 2 gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. De bovenste streefwaarde ( $A_2$ ) wordt overschreden. Bepaling van de  $V_{per}$  is niet noodzakelijk.

**5.4. Berekening resultaten**

Op basis van de meetresultaten is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan bepaald en dus zijn de trillingsniveaus op de vloeren van de panden op 60 meter (positie 3) afstand van het spoor berekend. Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de 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;
- $\alpha$  materiaaldemping in de bodem (1/m);
- $n$   $n = 1$  tot  $2$  voor P- en S-golven;  
 $n = 0.5$  voor R-golven.

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%).

Voor de prognoseberekening is de materiaaldemping -  $\alpha$  in de formule - gekozen op  $\alpha = 0,02$  [1/m].

In de formule is als ' $V_{R0}$ ' de hoogste gemeten effectieve waarde op meetpositie 2 in de dag- en avondperiode ingevoerd. De gemeten waarden - en dus de berekend waarden - gedurende de nachtperiode liggen onder. De volledige berekeningen zijn in bijlage 2A te vinden.

De hoogste berekend waarde voor de dag- en avondperiode voor  $V_{eff,max}$  zijn opgenomen in tabel 13. De toetsing voor hinder is eveneens in tabel 13 gegeven.

Tabel 13: positie 3, berekend resultaten hinder; dag- en avondperiode.

| Positie | $V_{eff,max}$ [-] | $A_1^*$ [-] | Toetsing     | $A_2^*$ [-] | Toetsing |
|---------|-------------------|-------------|--------------|-------------|----------|
| 3       | 0,32 (z-richting) | 0,15        | Voldoet niet | 0,60        | Voldoet  |

Uit tabel 13 blijkt dat de onderste streefwaarde ( $A_1$ ) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op positie 3 gedurende de dag- en avondperiode. De bovenste streefwaarde ( $A_2$ ) niet wordt overschreden. Bepaling van de  $V_{per}$  is noodzakelijk.

De hoogste berekend waarden voor  $V_{per}$  zijn opgenomen in tabel 14 voor de dag- en avondperiode. De toetsing voor hinder voor de dag-, avondperiode is gegeven in tabel 14.

Tabel 14: positie 3, toetsing voor hinder ( $V_{per}$ ); dag-, avondperiode.

| Positie | $V_{per}$ [-]     | $A_3^*$ [-] | Toetsing       |
|---------|-------------------|-------------|----------------|
| 3       | 0,05 (z-richting) | 0,07        | <u>Voldoet</u> |

Toetsing trillingsimmissie, hinder

Uit tabel 13 blijkt dat de onderste streefwaarde ( $A_1$ ) uit de SBR richtlijn B wordt overschreden op positie 3 (gedurende de dag- en avondperiode. De bovenste streefwaarde ( $A_2$ ) niet wordt overschreden. Uit tabel 14 blijkt dat de gemiddeld streefwaarde ( $A_3$ ) uit de SBR richtlijn B niet wordt overschreden op positie 3 gedurende de dag- en avondperiode.

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B wordt voldaan op positie 3 (ca. 60 meter afstand) gedurende de dag-, avond- en nachtperiode.

**5.5. Bespreking van de resultaten, hinder**Prognose berekeningen, afstand van ca. 29 meter

Uit de worst-case prognose-berekeningen blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B niet 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 het spoor van 29 meter trillingshinder zal 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 weinig trillingshinder zal optreden vanwege railverkeer.

Indien zich bedrijven op een afstand van minder dan 60 meter van het spoor willen vestigen – en men wil hinder voor gebruikers uitsluiten – dan is aanvullend onderzoek nodig. In een dergelijk geval zijn de mogelijk te treffen maatregelen in hoofdlijn beschreven in hoofdstuk zeven.

## 6. RESULTATEN STORING AAN APPARATUUR

### 6.1. Meet-en berekeningsresultaten

De toelaatbare trillingssterkte volgens de SBR-C Richtlijn zijn in RMS-waarden per tertsbanden te toetsen. Door een analyse van de gemeten spectra blijkt dat de overgedracht energie van de hoogste gemeten trillingen ligt in de tertsbanden tussen 4 tot 10 Hz. Voor de SBR-C toetsing worden in de berekeningen – als worst-case scenario - de hoogste gemeten RMS-waarden uit de 8 Hz terstband gebruikt. Deze trillingsniveaus worden met de overdrachtfactor van 1,25 gecorrigeerd.

Aan de hand de meetresultaten en op basis van de formules van Barkan zijn de optredende trillingsniveaus op posities 3 (afstand 60 meter) en 4 (afstand 120 meter) berekend. Voor de volledige berekeningen zie bijlage 2B en 2C.

In tabel 15 zijn de meet en- berekeningsresultaten in RMS-waarden  $V_{RMS}$ , samengevat voor de meetposities 1 t/m 4.

Tabel 15: meet- en berekening resultaten, storing aan apparatuur.

| Posities | Hoogste optredende waarden van $V_{RMS}$<br>[mm/s] |
|----------|----------------------------------------------------|
| 1        | $0,72 * 1,25 = 0,90$                               |
| 2        | $0,72 * 1,25 = 0,90$                               |
| 3        | $0,27 * 1,25 = 0,33$                               |
| 4        | $0,057 * 1,25 = 0,07$                              |

### 6.2. Toetsing trillingsmissie, storing aan apparatuur; prognose

Uit de worst-case scenario prognose-resultaten in tabel 15 blijkt dat aan de toelaatbare trillingsniveaus - volgens BBN criteria - uit SBR-C niet wordt voldaan op posities 1, 2 en 3.

Uit tabel 15 blijkt dat aan de toelaatbare trillingsniveaus alleen wordt voldaan met betrekking tot apparatuur van type 'microscopen met een vergroting tot 100 x' op een afstand van 120 meter uit het spoor.

Uit de worst-case scenario prognose-resultaten blijkt dat aanvullend onderzoek – namelijk verdere trillingsmetingen op verschillende afstanden van het spoor – nodig zijn. Mogelijk te treffen maatregelen worden behandeld in hoofdstuk 7.

## **7. MOGELIJKE MAATREGELEN**

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

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

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

2. Mogelijke maatregelen in de bodem zijn als volgt:

- een optie is de plaatsing een trillingsscherm van enige afmetingen (dikte en diepte) tussen de spoorweg en de gebouwen, nabij de gebouwen 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 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 de plaatsing of een trillingsisolatie laag (verloren bekisting van PUR) rond en beneden de nieuwe fundering.

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

## 8. CONCLUSIE

1. Uit de resultaten van het voorliggend indicatief onderzoek inzake hinder aan personen kan het volgende worden geconcludeerd:

- Op een afstand van minder dan ca. 29 [m] van het spoor:

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn B gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Het is de verwachting dat in de toekomstige nieuwbouw matige hinder tot hinder zal optreden vanwege railverkeer. Zonder aanvullend onderzoek dienen er maatregelen te worden genomen (zie hoofdstuk 7) voor een overzicht van de mogelijkheden om trillingshinder in de nieuwe kantoorgebouwen te voorkomen.

- Op een afstand van minimaal ca. 60 [m] van het spoor:

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.

Indien zich bedrijven op een afstand van minder dan 60 meter van het spoor willen vestigen – en men wil hinder voor gebruikers uitsluiten – dan is aanvullend onderzoek nodig. In een dergelijk geval zijn de mogelijk te treffen maatregelen in hoofdstuk zeven.

2. Uit de resultaten van het voorliggend indicatief onderzoek inzake storing aan apparatuur kan het volgende worden geconcludeerd:

- Op een afstand van minder dan ca. 60 [m] van het spoor:

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan de toelaatbare trillingsniveaus uit de SBR-richtlijn C - volgens de BBN criteria.

- Op een afstand van ca. 120 [m] van het spoor:

Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de toelaatbare trillingsniveaus uit de SBR-richtlijn C betreffende het gebruikt van 'microscopen met een vergroting tot 100 x' wordt voldaan. Uit de worst-case prognose berekeningen blijkt dat aan de toelaatbare trillingsniveaus uit de SBR-richtlijn C betreffende het gebruikt van apparatuur van type 'Class A' t/m 'Class E' niet wordt voldaan.

Indien zich bedrijven met trillingsgevoelige apparatuur binnen het plangebied willen vestigen dan adviseren wij om een nader uitgebreid onderzoek uit te voeren. Aanvullend onderzoek is ook noodzakelijk om het dempende effect van de mogelijke maatregelen te berekenen.

**AV-CONSULTING B.V.**

*Raadgevende ingenieurs*

## BIJLAGE 1: MEETRESULTATEN

1A-B-C:  $V_{eff,max}$  ;  $V_{per}$  meetweek meetpositie 1

1D: Frequentie meetpositie 1

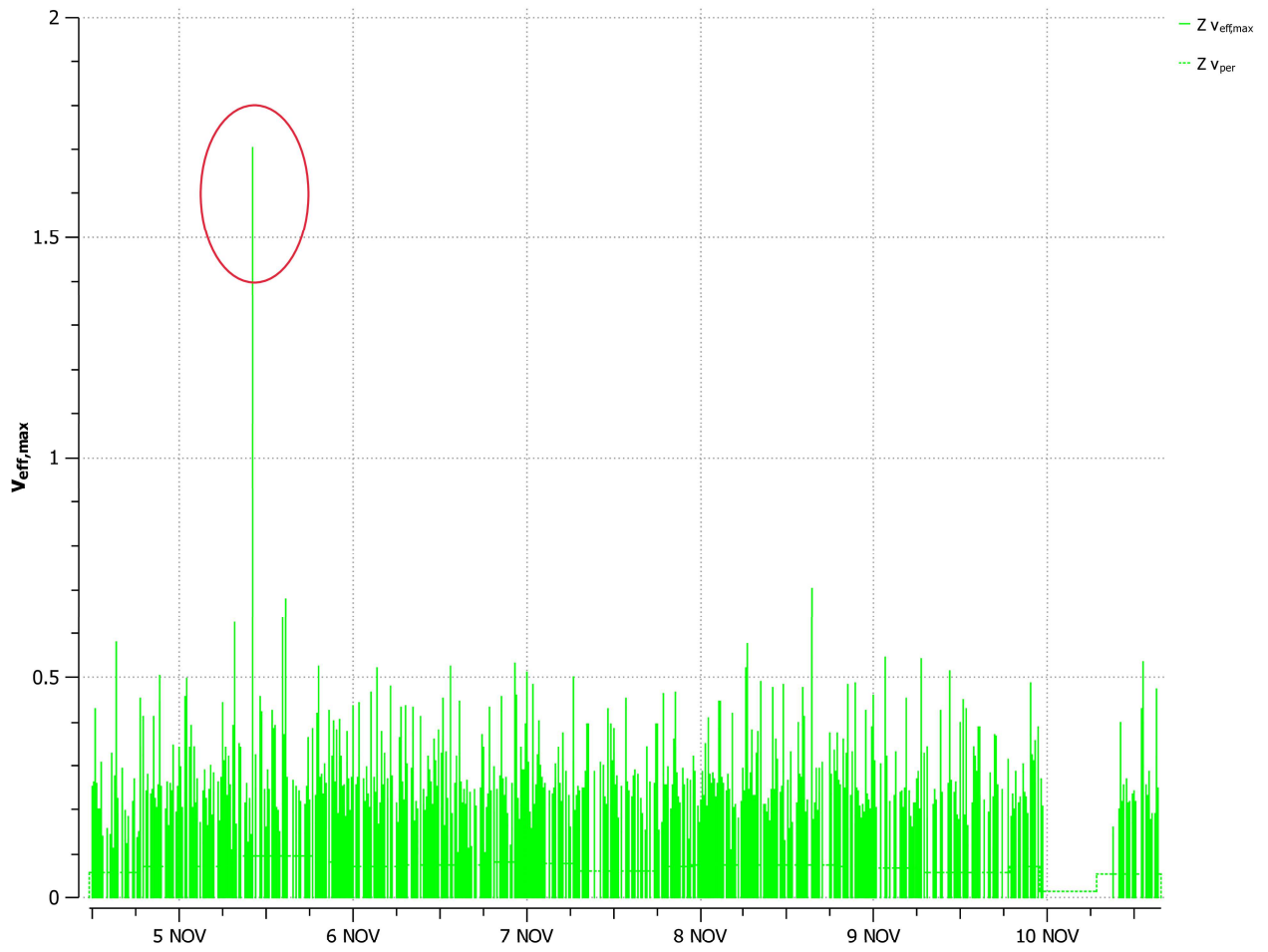
1E: Trace van hoogste relevante trillingsniveau meetpositie 1

1F: Spectrum van hoogste relevante trillingsniveaumeetpositie 1

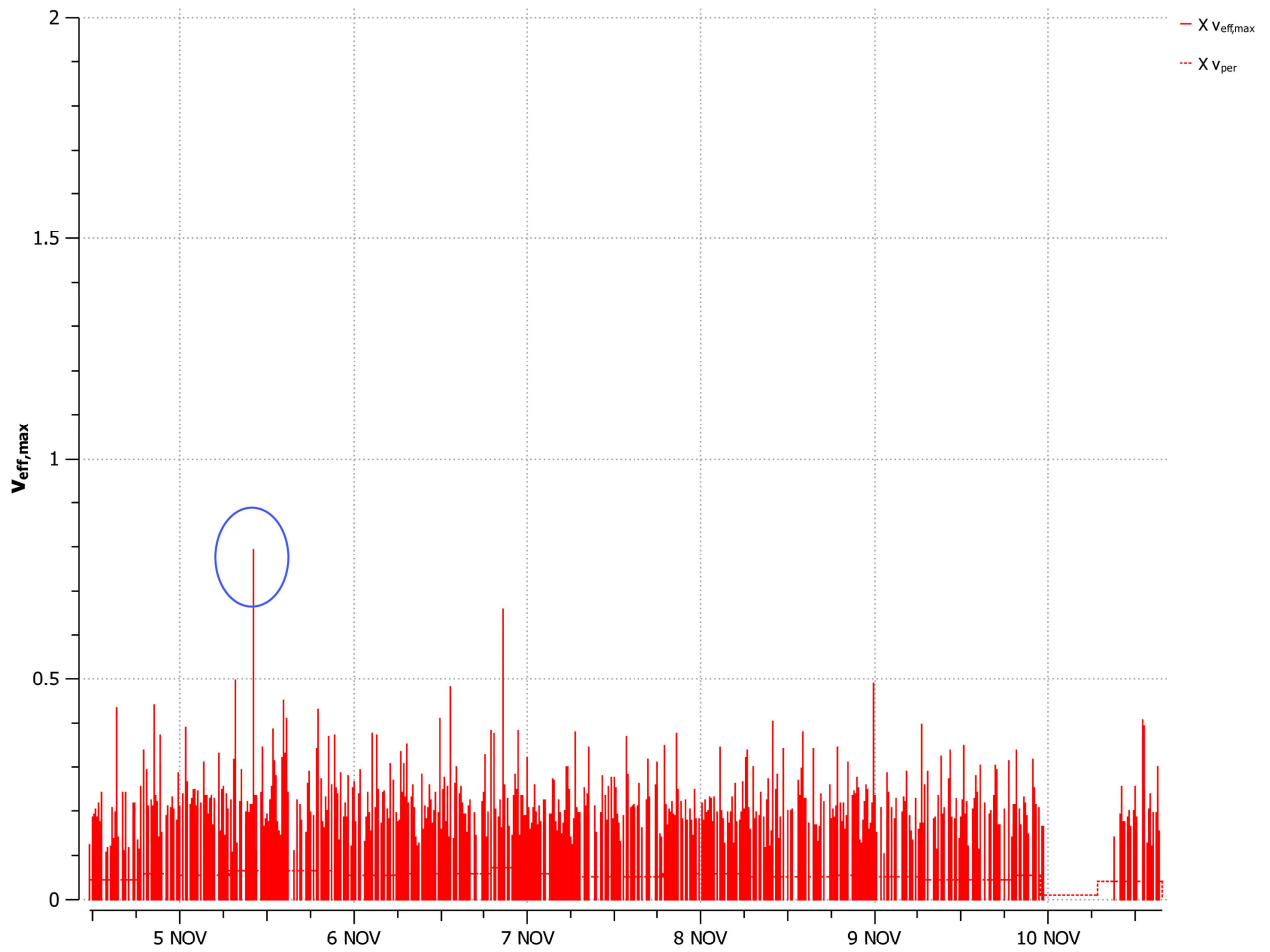
1G-H-I:  $V_{eff,max}$  ;  $V_{per}$  meetweek meetpositie 2

1J: Frequentie meetpositie 2

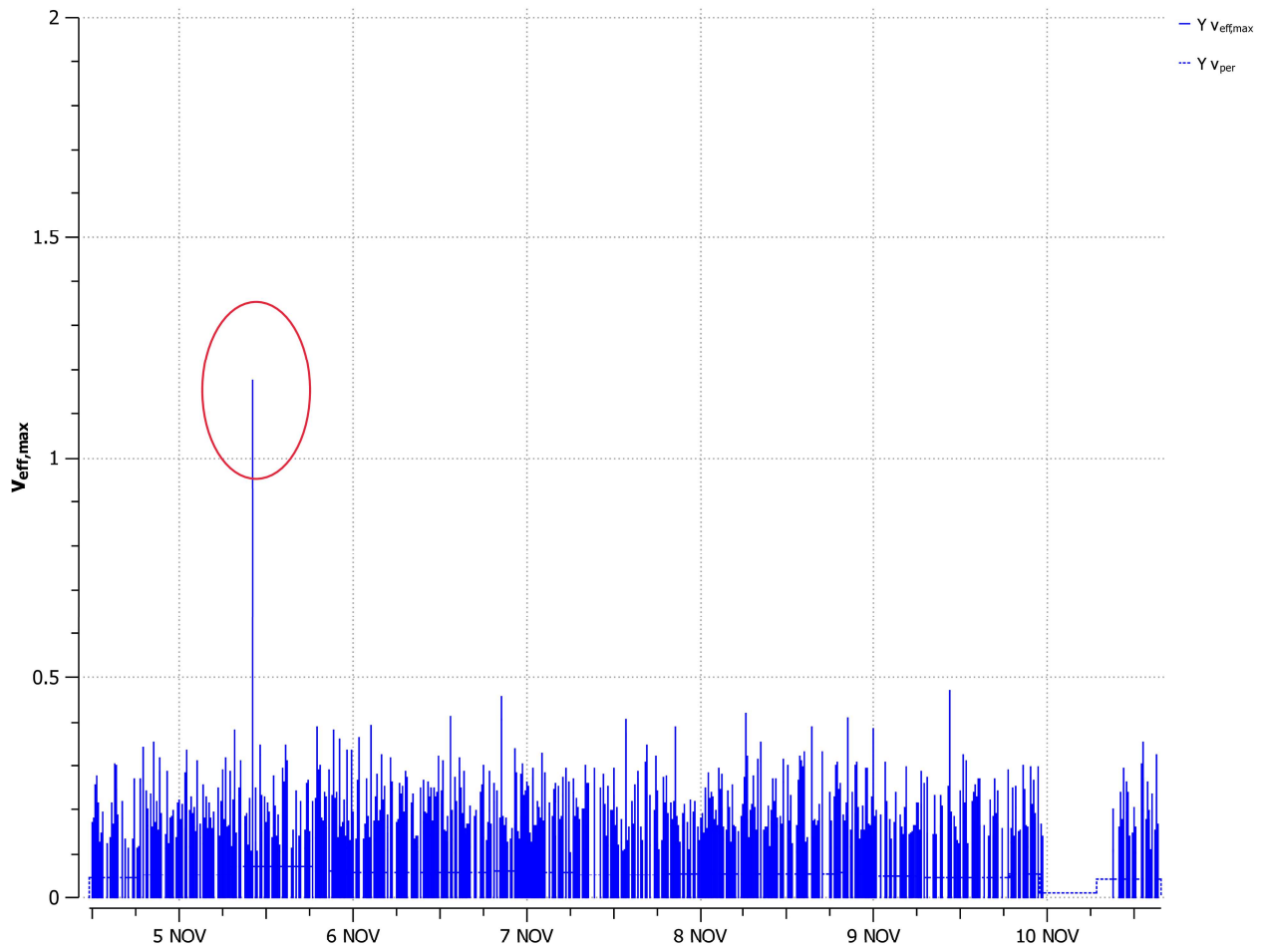
# VIB00215 19 m 2019-11-04



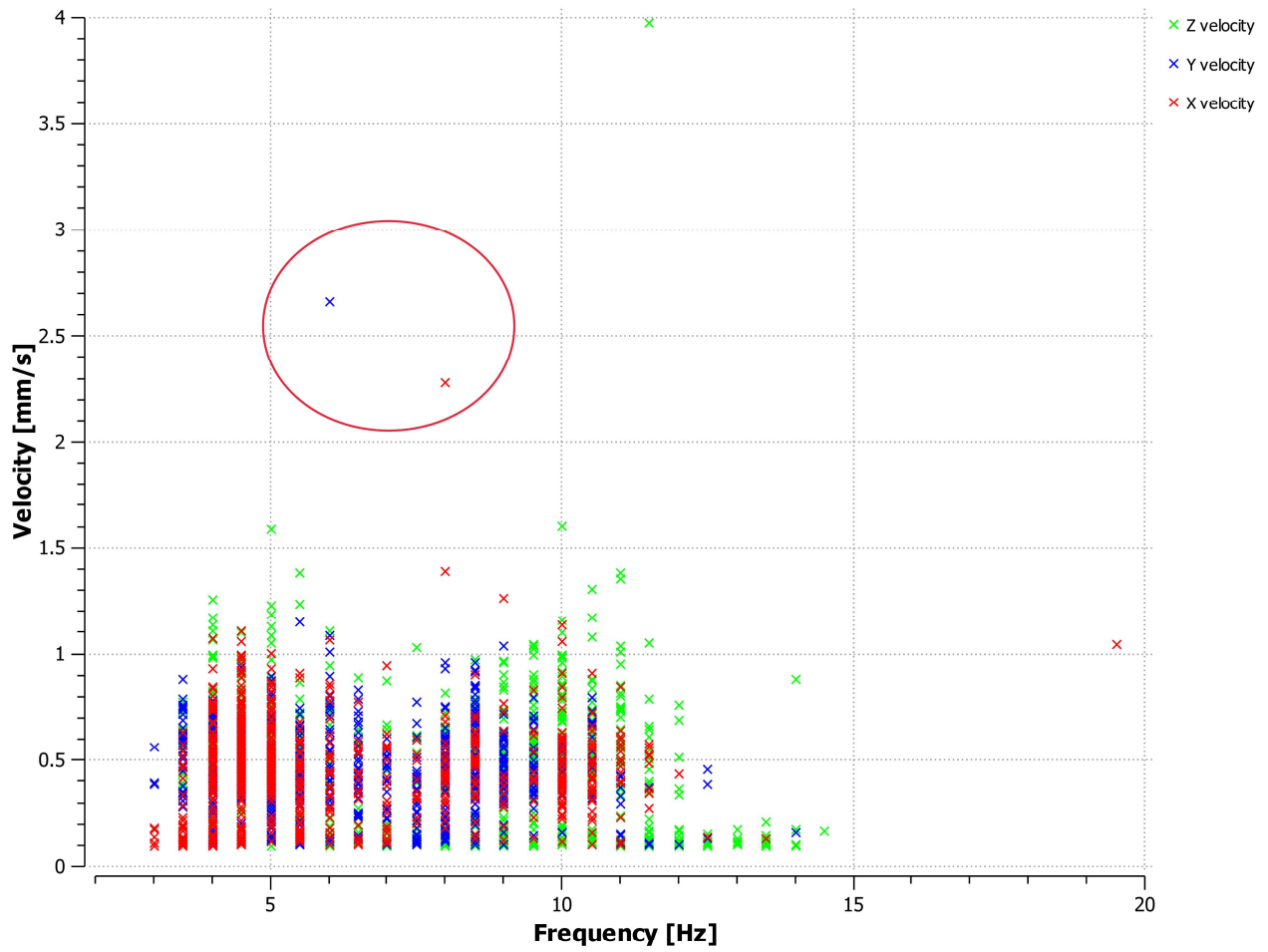
# VIB00215 19 m 2019-11-04



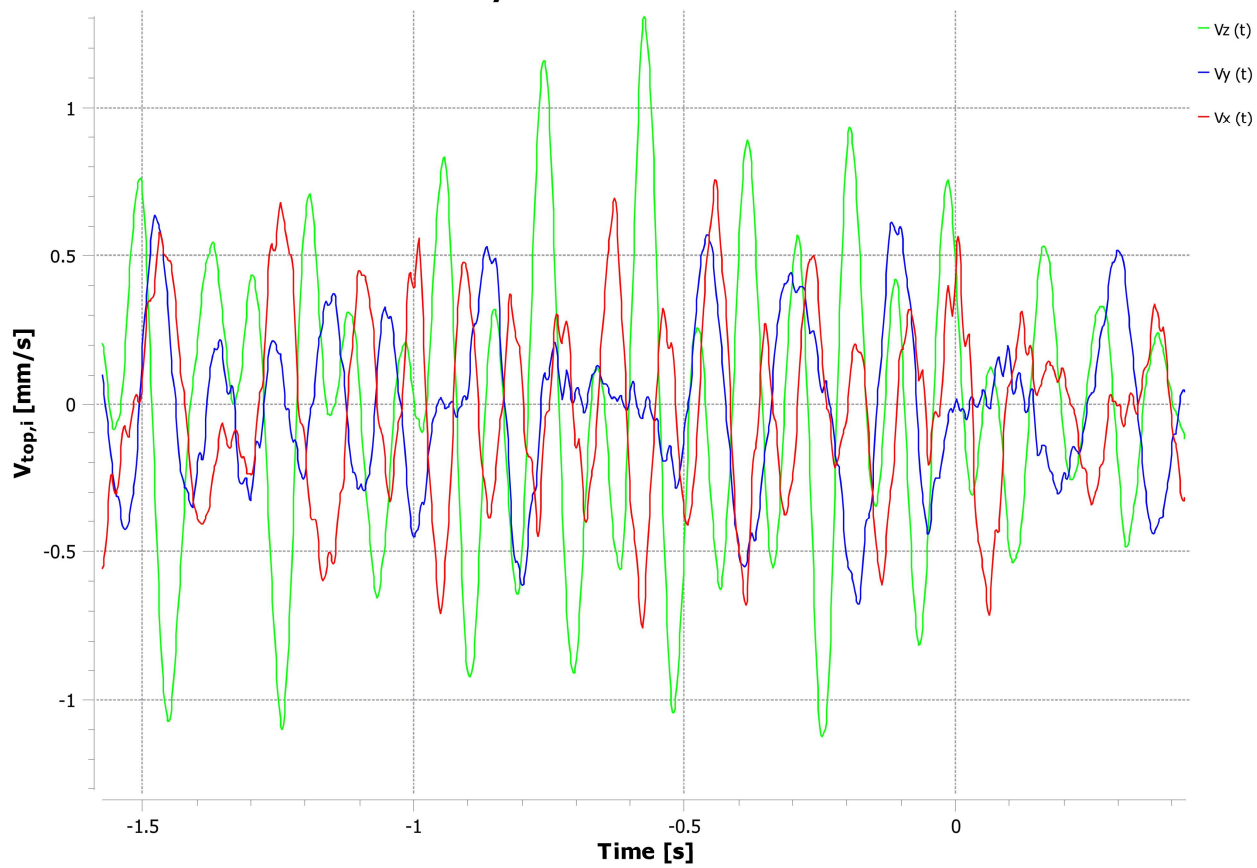
# VIB00215 19 m 2019-11-04



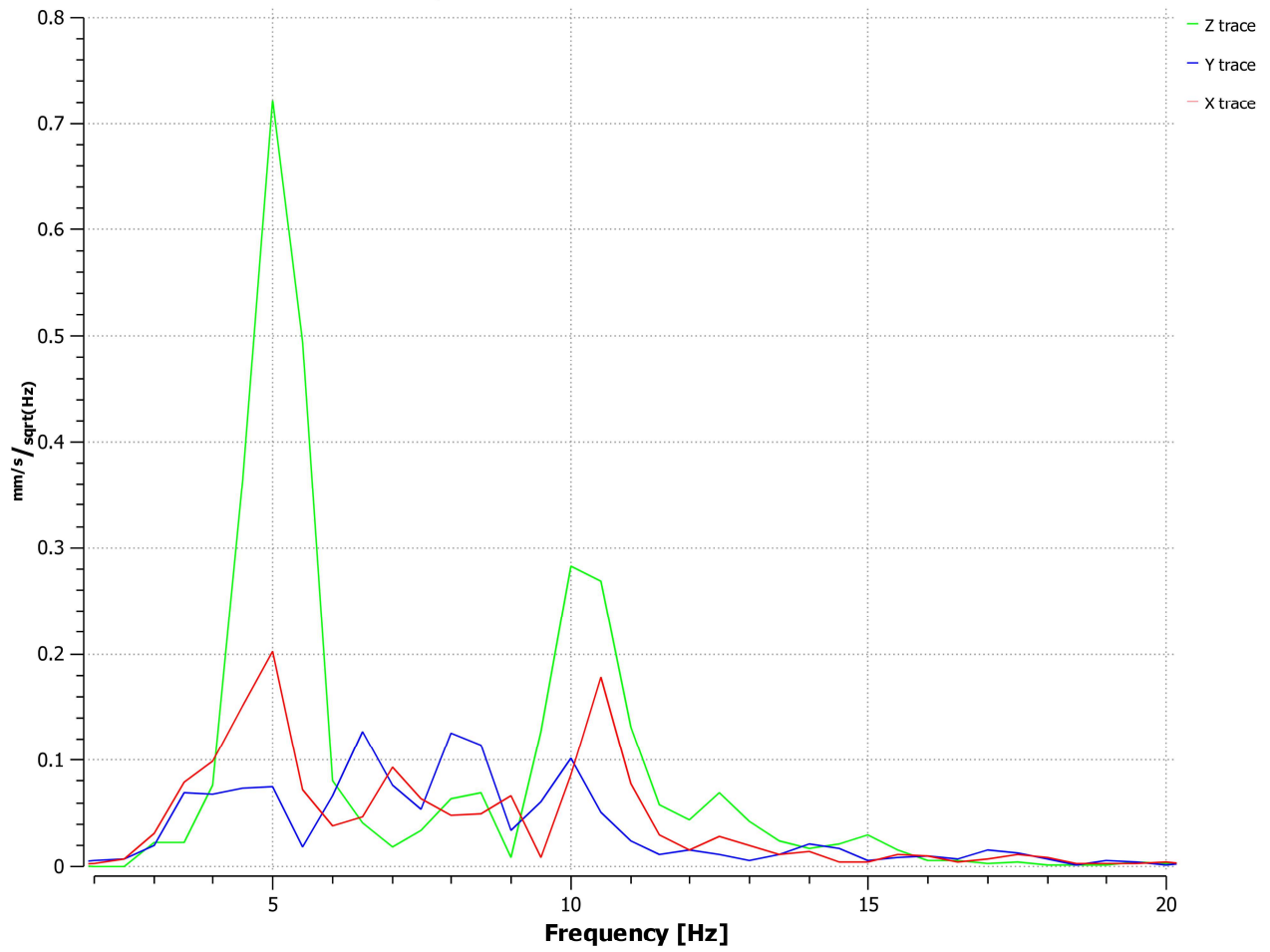
VIB00215 19 m 2019-11-04



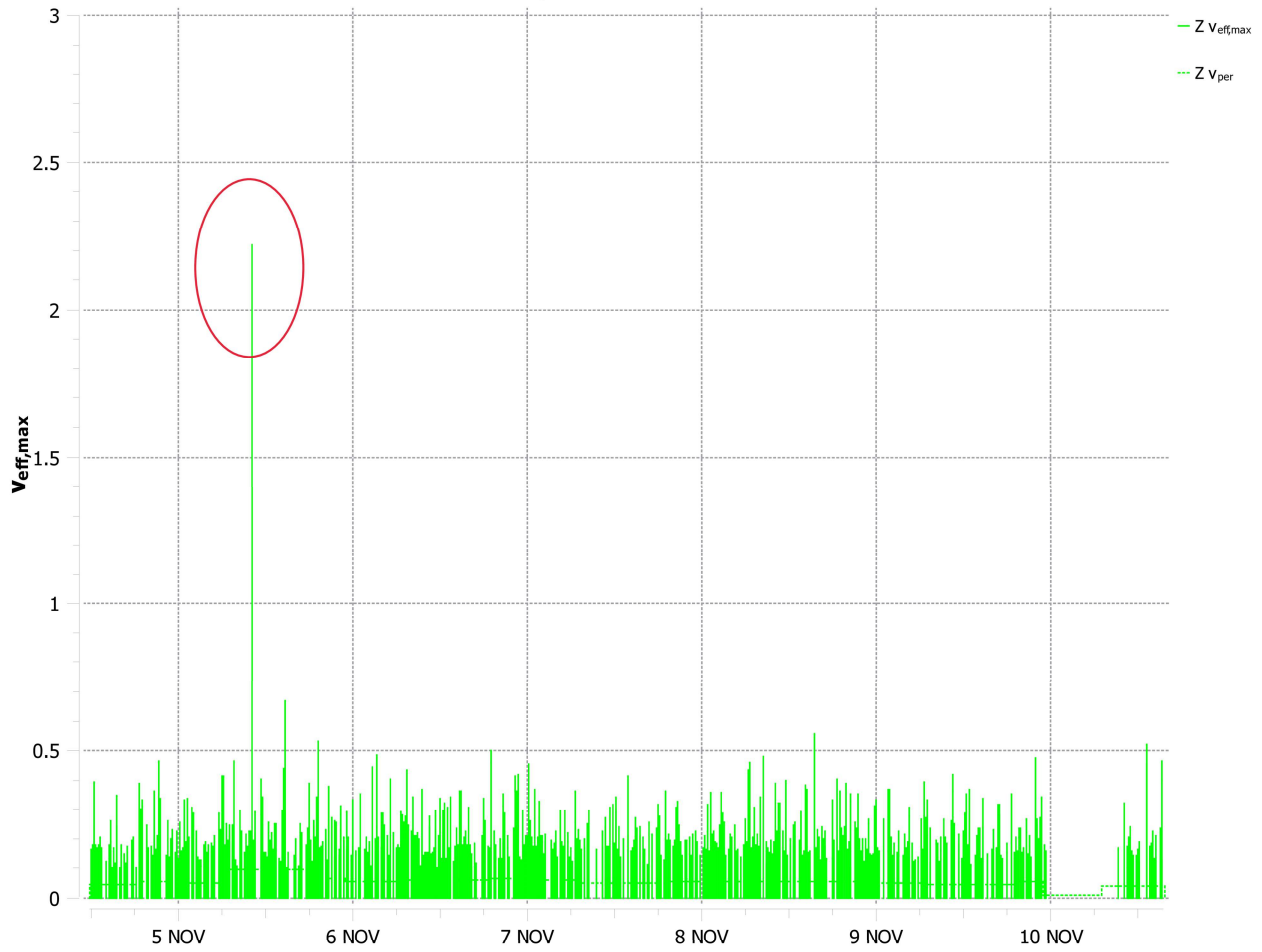
Velocity Trace: 2019-11-05 14:43:23



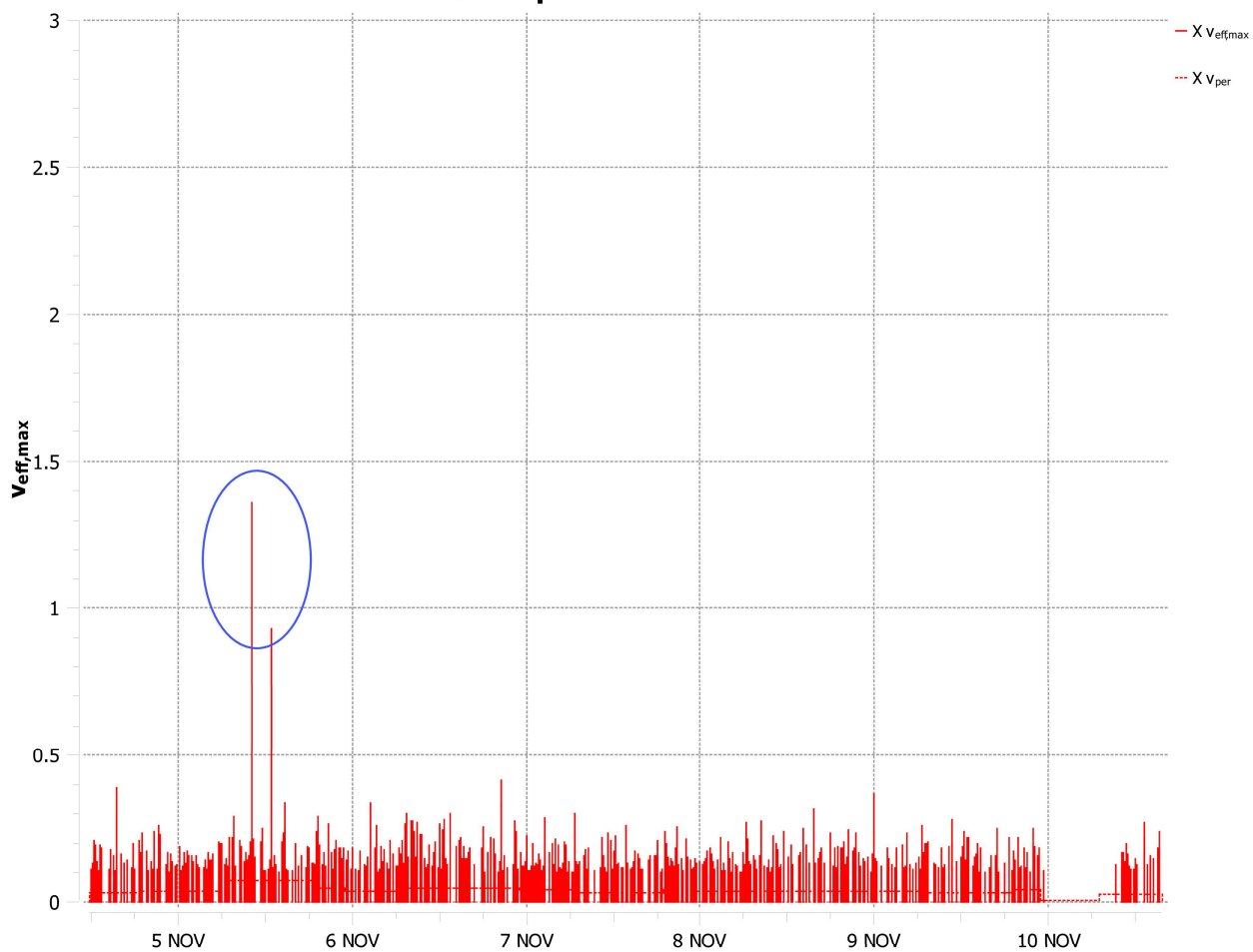
# Spectrum: 2019-11-05 14:43:19



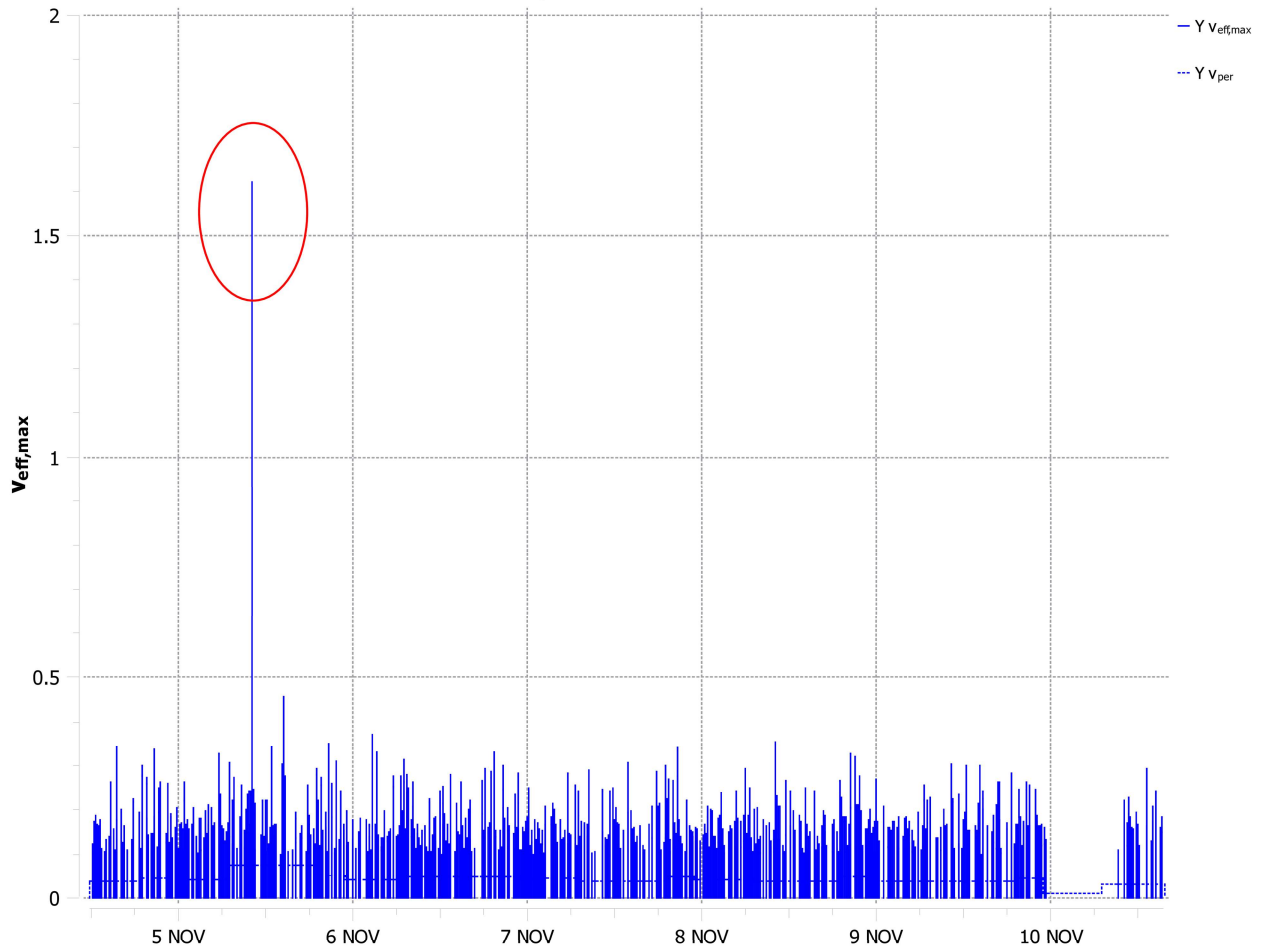
# VIBRA00030 Opheusden 30 m 2019-11-04



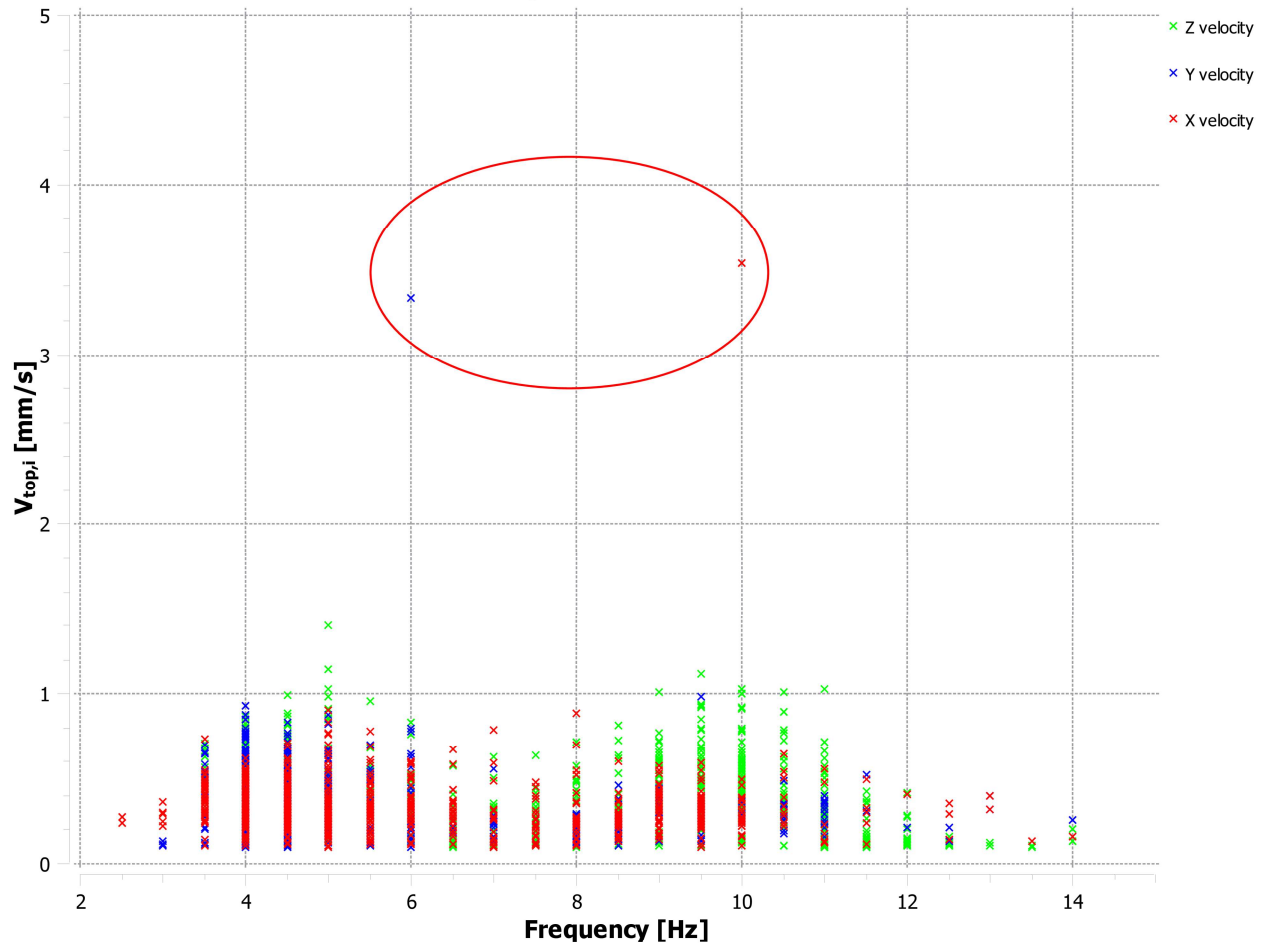
# VIBRA00030 Opheusden 30 m 2019-11-04



# VIBRA00030 Opheusden 30 m 2019-11-04



# VIBRA00030 Opheusden 30 m 2019-11-04



## BIJLAGE 2: BEREKENINGBLADEN

2A: Berekening trillingsniveaus op positie 3, hinder

2B: Berekening trillingsniveaus op positie 3, storing

2C: Berekening trillingsniveaus op positie 4, storing

## 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;  
 $\alpha$  materiaaldemping in de bodem (1/m);  
n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;  
n = 0.5 voor R-golven.

## Berekening formule van Barkan

Kantoorgebouw op 60 m afstand van het spoor

|                              | V0 [-] | R0 [m] | R (afstand) | n [-] | $\alpha$ [1/m] |
|------------------------------|--------|--------|-------------|-------|----------------|
| $V_{\max, \text{eff}, \max}$ | 0,68   | 29     | 60          | 0,5   | 0,02           |
| $V_{\text{per}}$             | 0,10   | 29     | 60          | 0,5   | 0,02           |

|                              | Prognose resultaat<br>(op de vloer) [-] |
|------------------------------|-----------------------------------------|
| $V_{\max, \text{eff}, \max}$ | 0,318                                   |
| $V_{\text{per}}$             | 0,047                                   |

|                              | Resultaat [-] | Frequentie [HZ] |
|------------------------------|---------------|-----------------|
| $V_{\max, \text{eff}, \max}$ | 0,25          | 8               |
| $V_{\text{per}}$             | 0,04          | -               |

## 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;  
 $\alpha$  materiaaldemping in de bodem (1/m);  
n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;  
n = 0.5 voor R-golven.

## Berekening formule van Barkan

Kantoorgebouw op 60 m afstand van het spoor, positie 3

|      | $V_0$ [mm/s] | $R_0$ [m] | R (afstand) | n [-] | $\alpha$ [1/m] |
|------|--------------|-----------|-------------|-------|----------------|
| Vrms | 0,72         | 29        | 60          | 0,5   | 0,02           |

|      | Resultaat [mm/s] | Frequentie [HZ] |
|------|------------------|-----------------|
| Vrms | 0,269            | 8               |

|      | Prognose resultaat<br>(op de vloer) [mm/s] |
|------|--------------------------------------------|
| Vrms | 0,337                                      |

## 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;
- $\alpha$  materiaaldemping in de bodem (1/m);
- n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;  
n = 0.5 voor R-golven.

## Berekening formule van Barkan

Kantoorgebouw op 100 m afstand van het spoor

|      | $V_0$ [mm/s] | $R_0$ [m] | R (afstand) | n [-] | $\alpha$ [1/m] |
|------|--------------|-----------|-------------|-------|----------------|
| Vrms | 0,72         | 29        | 120         | 0,5   | 0,02           |

|      | Resultaat [mm/s] | Frequentie [HZ] |
|------|------------------|-----------------|
| Vrms | 0,057            | 8               |

|      | Prognose resultaat<br>(op de vloer) [mm/s] |
|------|--------------------------------------------|
| Vrms | 0,072                                      |

## BIJLAGE 3: TEKENINGEN



LEGENDA

- Plangebied
- Enkelbestemmingen
- B

Bedrijf
- V

Verkeer
- WA

Water
- Dubbelbestemmingen
- WR-A1

Waarde - Archeologie 1
- WR-A2

Waarde - Archeologie 2
- WS-WL

Waterstaat - Waterlopen
- Gebiedsaanduidingen
- geluidzone - spoor
- overige zone - Parkeren uitgesloten
- Bouwvlakken
- bouwvlak
- Maatvoeringen
- 70%

maximum bebouwingspercentage (%)
- 10

maximum bouwhoogte (m)

Overig

ondergrond\_BGT\_27 juni 2019

|                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| bestemmingsplan:<br><b>Opheusden, ABC-bedrijfskavels zuidzijde</b>                                                                                                                                                                                                |                                              |
| verbeelding                                                                                                                                                                                                                                                       | identificatiecode:<br>NL.IMRO.1740.0000-con1 |
| datum ondergr:                                                                                                                                                                                                                                                    | 27 juni 2019                                 |
| bladnummer:                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                                            |
| planstatus:                                                                                                                                                                                                                                                       | concept                                      |
| projectnummer:                                                                                                                                                                                                                                                    | 16.30.27                                     |
| getekend:                                                                                                                                                                                                                                                         | buro SRO                                     |
| schaal:                                                                                                                                                                                                                                                           | 1:1000                                       |
| datum:                                                                                                                                                                                                                                                            | 20 augustus 2019                             |
| formaat:                                                                                                                                                                                                                                                          | A3                                           |
| <div> Gemeente Neder-Betuwe</div> <div>Burg. Lodderstraat 20<br/>Postbus 20<br/>4043 ZG<br/>Opheusden<br/>tel. 0488-449900<br/>fax. 0488-449999<br/>www.nederbetuwe.nl</div> |                                              |

## BIJLAGE 4: 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 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

5.1 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<sup>2</sup>
- f frequentie, in Hz
- f<sub>e</sub> eigenfrequentie, in Hz
- g zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- 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<sub>1</sub> streefwaarde voor de trillingssterkte V<sub>max</sub>, dimensieloos
- A<sub>2</sub> maximale waarde voor de trillingssterkte V<sub>max</sub>, dimensieloos
- A<sub>3</sub> streefwaarde voor de trillingssterkte V<sub>per</sub>, dimensieloos
- f frequentie, in Hz
- f\* frequentie in Hz, waarvoor φ(f) = 0
- f<sub>max</sub> grensfrequentie van het laagdoorlaatfilter, in Hz
- f<sub>min</sub> grensfrequentie van het hoogdoorlaatfilter, in Hz
- f<sub>o</sub> kantelfrequentie van het wegingsfilter, f<sub>o</sub> = 5,6 Hz
- H<sub>a(f)</sub> wegingfunctie trillingsversnelling, s<sup>2</sup>/m
- H<sub>v(f)</sub> wegingfunctie trillingssnelheid, s/mm
- i variabele die het interval van 30 seconden aangeeft waarin v<sub>eff,max,30,i</sub> 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<sub>b</sub> totale tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is in een beoordelingsperiode, in s
- T<sub>m</sub> tijdsduur van de meting, in s
- T<sub>0</sub> tijdsduur van de beoordelingsperiode, in s
- τ tijdconstante, in s
- V<sub>max</sub> grootste waarde van v<sub>eff,max</sub> in de beschouwde ruimte, dimensieloos
- V<sub>per</sub> trillingssterkte over de beoordelingsperiode behorende bij de ruimte, dimensieloos en bepaald op basis van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima v<sub>eff,max,30,i</sub>. Deze waarde dient uitsluitend te worden bepaald voor het meetpunt en de meetrichting waarin de grootste waarde V<sub>max</sub> voor de ruimte volgens 9.7 is bepaald.
- v(t) momentane waarde van de gewogen trillingsgrootheid, dimensieloos
- v<sub>eff</sub>(t) voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid, dimensieloos
- v<sub>eff,max</sub> de grootste waarde van v<sub>eff</sub>(t) over de meetduur, dimensieloos
- v<sub>eff,max,30,i</sub> de grootste waarde van v<sub>eff</sub>(t) in een tijdsinterval van 30 seconden, dimensieloos
- v<sub>eff,max,stat</sub> de statistisch bepaalde grootste waarde van v<sub>eff</sub>(t) over de meetduur, dimensieloos
- v<sub>o</sub> referentiewaarde van de wegingfunctie, v<sub>o</sub> = 1,0 mm/s
- v<sub>per,meet</sub> de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van v<sub>eff,max,30,i</sub> over de meetperiode
- φ(f) maximale referentie fase-frequentie karakteristiek voor het meetsysteem, in graden
- φ<sub>m</sub>(f) de fase-frequentiekarakteristiek van het meetsysteem, in graden