

Trillingsonderzoek veld 7 Nieuw Delft

Rapportage ten behoeve van het bestemmingsplan

Gemeente Delft

14 september 2018

Project Trillingsonderzoek veld 7 Nieuw Delft
Opdrachtgever Gemeente Delft

Document Rapportage ten behoeve van het bestemmingsplan
Status Definitief
Datum 14 september 2018
Referentie 109707/18-014.111

Projectcode 109707
Projectleider ir. E.J. Vlijm
Projectdirecteur ir. F.J. Kaalberg

Auteur(s) mw ir. T.I.S. van der Woude, N. Sehwat MSc
Gecontroleerd door ir. E.J. Vlijm
Goedgekeurd door ir. E.J. Vlijm

Paraaf 

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Hoogoorddreef 15
Postbus 12205
1100 AE Amsterdam
+31 (0)20 312 55 55
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	DOEL EN AANPAK ONDERZOEK	5
2.1	Doel trillingsonderzoek bestemmingsplan velden 6 t/m 11 Nieuw Delft	5
2.2	Aanpak trillingsonderzoek op basis van metingen	5
3	UITVOERING TRILLINGSMETINGEN	6
3.1	Locatie	6
3.2	Plaatsing trillingmeters	7
3.2.1	Meetapparatuur	8
3.2.2	Meetperiode	8
4	RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN	9
4.1	Toetsingskader: SBR-richtlijn deel B Hinder voor personen in gebouwen	9
4.2	Resultaten trillingsmetingen	10
4.2.1	Maximale trillingsniveau V_{\max}	10
4.2.2	Periodiek trillingniveau V_{per}	11
4.3	Doorvertaling trillingen naar laagfrequent geluidniveau	11
4.3.1	Wijze van doorvertaling	11
4.3.2	Toetsingskader en resultaten	12
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	15
5.1	Conclusies	15
5.2	Aanbevelingen	15
	Laatste pagina	16
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Meetresultaten verwerkt conform BTS	5
II	Meetresultaten 10 hoogste signalen in tijdsdomein en frequentiedomein	16

2

DOEL EN AANPAK ONDERZOEK

2.1 Doel trillingsonderzoek bestemmingsplan velden 6 t/m 11 Nieuw Delft

De gemeente Delft is van plan om in het najaar van 2018 het bestemmingsplan voor de velden 6 t/m 11 van Nieuw Delft definitief te maken. Onderdeel van dit bestemmingsplan is de hantering van trillingen als gevolg van het treinverkeer door de tunnel. Het voorkomen van hinder hiervan is met name een belangrijk aspect.

In Nederland is door de Stichting Bouw Research (SBR) een richtlijn opgesteld gericht op toetsen van hinder door trillingen. Hierin wordt beschreven hoe trillingen kunnen worden getoetst en welke grens- en streefwaarden gehanteerd kunnen worden om hinder te voorkomen. De gemeente Delft wil inzicht krijgen welke trillingsniveaus te verwachten zijn in nieuwbouw op de verschillende velden en welke gevolgen dit heeft wanneer de SBR-richtlijn wordt toegepast. De hoofdvragen hierbij zijn:

- welke orde trillingsniveaus treden op?;
- indien trillingsreducerende maatregelen getroffen moeten worden, welke maatregelen kunnen dit zijn?

Om een beeld te krijgen welke trillingsniveaus optreden en te verwachten zijn in de toekomstige situatie, is een trillingsonderzoek uitgevoerd. In dit rapport is eerst het trillingsonderzoek beschreven en daarna zijn de resultaten gegeven. Als gevolg van het trillingsonderzoek, zijn aanbevelingen gedaan voor het bestemmingsplan en welke consequenties deze hebben.

2.2 Aanpak trillingsonderzoek op basis van metingen

De velden 6 t/m 11 liggen op en rondom de spoortunnel in Delft. De spoortunnel in Delft kent twee tunnelbuizen: de oostelijke en westelijke tunnelbuis. Op dit moment rijden er alleen treinen in de oostelijke tunnelbuis. De westelijke tunnelbuis is nog ongebruikt omdat het project viersporigheid nog niet is afgerond. Ter plaatse van Delft Zuid is er bijvoorbeeld nog geen sprake van een viersporige situatie. De ingebruikname van de westelijke tunnelbuis zal naar verwachting in 2022 plaatsvinden. Voor de toekomstige plansituatie van nieuwbouw binnen het bestemmingsplan dient daarom al rekening te worden gehouden met de viersporige situatie.

Het beste beeld van de optredende trillingsniveaus kan verkregen worden middels trillingsmetingen van de rijdende treinen door de oostelijke tunnelbuis. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de huidige en toekomstige situatie. Voor velden aan de westzijde van de tunnel is de toekomstige situatie maatgevend, terwijl de huidige situatie juist maatgevend is voor de oostelijke zijde. Voor het veld bovenop de tunnel (veld 7) zijn naar verwachting de trillingsniveaus van de huidige situatie even maatgevend als de toekomstige situatie. Er is daarom gekozen om trillingsmetingen uit te voeren bovenop de oostelijk tunnelbuis.

3

UITVOERING TRILLINGSMETINGEN

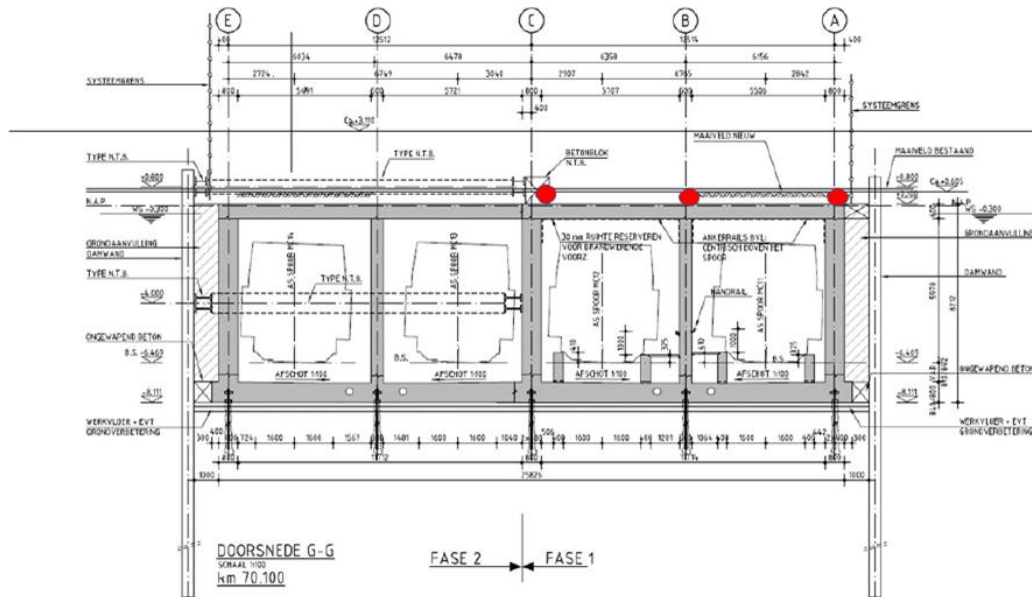
3.1 Locatie

Op veld 7 wordt het vastgoed voorzien bovenop de tunnel. Witteveen+Bos heeft daarom een drietal meetinstrumenten geplaatst bovenop de oostelijke tunnelbuis. Hierbij is op beide tunnelwanden gemeten en er wordt aan het tunneldak ter plaatse van het midden steunpunt gemeten. Alle drie de meetinstrumenten zijn op de tunnelconstructie geplaatst op de locaties waar in de toekomst het vastgoed afdraagt op de tunnel. Op deze locaties zijn tijdens de bouw van de tunnel ribben op het tunneldak aangebracht. Op deze drie ribben zijn de meters geplaatst. De locaties worden weergegeven in figuren 3.1 en 3.2.

Afbeelding 3.1 Locaties trillingmeters Witteveen+Bos



Afbeelding 3.2 Drietal locaties trillingmeters



3.2 Plaatsing trillingmeters

Om het plaatsen van de trillingmeters mogelijk te maken, is de grondlaag bovenop de tunnel ter plaatse van de ribben gedeelte weggegraven, zie afbeelding 3.3. De trillingmeters zijn bovenop de betonnen ribben geplaatst en hieraan vastgeschroefd. Dit wordt weergegeven in afbeelding 3.4. De meters zijn afdekt en vervolgens is een grondlaag teruggeplaatst. Uiteindelijk is enkel het zonnepaneel voor de stroomvoorziening zichtbaar, zie eveneens afbeelding 3.4.

Afbeelding 3.3 Veld 7 (links) bloot gegraven rib van tunneldak (rechts)



Afbeelding 3.4 Syscom trillingmeters geplaatst op ribben tunneldak (links) zonnepaneel op veld (rechts)



3.2.1 Meetapparatuur

Bij de metingen is gebruik gemaakt van Syscom MR3000TR meetsystemen. Deze systemen voeren trillingsmetingen uit conform de SBR-richtlijn. De V_{max} waarde wordt bepaald uit het gemeten trillings signaal. Daarnaast is het mogelijk om tracés¹ met een sampledichtheid van 1000 Hz op te slaan. Van alle events met een piekniveau boven een vooraf ingestelde triggerlevel zijn tracés opgeslagen.

3.2.2 Meetperiode

Er is in totaal een periode van circa 4 weken gemeten: van 5 juli 2018 tot 31 juli 2018. Tijdens deze meetperiode zijn door Movares videobeelden van alle treinpassages ter plaatse van de zuidelijke tunnelmond gemaakt. Deze videobeelden zijn beschikbaar gesteld en meegenomen in de verwerking van de meetgegevens. Eveneens zijn de gegevens van het prestatieanalyse bureau (PAB) van ProRail van de treinbewegingen over het spoor in Delft beschikbaar gesteld en meegenomen in de verwerking van de meetdata.

Aantal treinbewegingen

Uit de gegevens van het PAB volgt een overzicht van de treinbewegingen op het spoor te Delft tijdens de metingen. Onderstaande tabel geeft dit overzicht weer. Het aantal treinbewegingen zijn weergegeven van 5 t/m 31 juli 2018.

Tabel 3.1 Het aantal treinbewegingen tijdens de metingen van 5 t/m 31 juli 2018

Treintype	Totaal aantal passages beide richtingen samen
passagierstreinen	11588
goederentreinen	52

¹ Tracés betreffen nauwkeurige trillingsignalen met een hoge sample dichtheid (veel data per seconde)

4

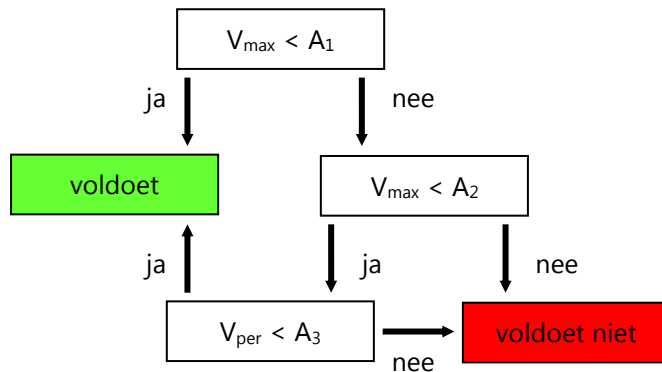
RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN

4.1 Toetsingskader: SBR-richtlijn deel B Hinder voor personen in gebouwen

De SBR-richtlijn deel B wordt als toetsingscriterium gehanteerd. De richtlijn kent een tweetal toetsingsgrootheden, namelijk V_{\max} en V_{per} . V_{\max} betreft het maximaal optredende trillingsniveau, terwijl V_{per} een periodiek gemiddelde betreft. Als te toetsen situatie wordt de situatie met toekomstige nieuwbouw gehanteerd.

Afbeelding 4.1 toont de toetsingsprocedure conform de richtlijn. In eerste instantie wordt het maximale trillingsniveau V_{\max} getoetst aan de onderste streefsnelheid A_1 . Wanneer V_{\max} een lagere waarde heeft, is er voldaan aan de richtlijn. Voor een hogere waarde wordt V_{\max} getoetst aan A_2 , de bovenste streefwaarde. Hiernaast moet het periodieke trillingsniveau V_{per} afgeleid worden. Dit geeft een waarde waarin het aantal maal van voorkomen van trillingsniveaus in rekening gebracht wordt. Alleen wanneer V_{\max} kleiner is dan A_2 en V_{per} kleiner dan A_3 , is er voldaan aan de SBR-richtlijn. De streefwaarden worden in Tabel 4.1 gegeven.

Afbeelding 4.1 Toetsing schema trillinghinder volgens SBR deel B Hinder voor personen in gebouwen [1]



Tabel 4.1. Streefwaarden (V_{\max}) voor continue trillingen, voor zowel nieuwe als bestaande situaties volgens SBR-richtlijn [1]

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
onderwijs en kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
bijeenkomst	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

4.2 Resultaten trillingsmetingen

4.2.1 Maximale trillingsniveau V_{\max}

Voor V_{\max} is per meetrichting per locatie de $V_{\max\text{SBR}}$, V_{\max} BTS en de hoogst-gemeten V_{\max} weergegeven in de onderstaande tabellen. De $V_{\max\text{SBR}}$ is de hoogste waarde bepaald conform de statistische methode van SBR B [1]. De V_{\max} BTS geeft de hoogste waarde conform de naverwerkingsmethode van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, memo Level Acoustics [2]. De laatste waarde in de kolom is de hoogst gemeten V_{\max} van alle gemeten treinpassages per locatie en per meetrichting. Tabel 4.2, Tabel 4.3 en Tabel 4.4 geven resp. de V_{\max} waarden weer van locatie 1, locatie 2 en locatie 3.

Tabel 4.2 Meetresultaten locatie meter 1

meetrichting	$V_{\max\text{SBR}}^*$	V_{\max} BTS	hoogst-gemeten V_{\max}
X	0.16	0.14	0.18
Y	0.11	0.09	0.12
Z	0.31	0.27	0.34

* $V_{\max\text{SBR}}$ is in dit geval $V_{\text{eff,max stat}}$ van de 15 hoogste niveaus conform artikel 9.6 van de SBR richtlijn deel B.

Tabel 4.3 Meetresultaten locatie meter 2

meetrichting	$V_{\max\text{SBR}}^*$	V_{\max} BTS	hoogst-gemeten V_{\max}
X	0.15	0.15	0.16
Y	0.09	0.08	0.095
Z	0.31	0.25	0.35

* $V_{\max\text{SBR}}$ is in dit geval $V_{\text{eff,max stat}}$ van de 15 hoogste niveaus conform artikel 9.6 van de SBR richtlijn deel B.

Tabel 4.4 Meetresultaten locatie meter 3

meetrichting	$V_{\max\text{SBR}}^*$	V_{\max} BTS	hoogst-gemeten V_{\max}
X	0.23	0.23	0.23
Y	0.10	0.10	0.11
Z	0.46	0.34	0.50

* $V_{\max\text{SBR}}$ is in dit geval $V_{\text{eff,max stat}}$ van de 15 hoogste niveaus conform artikel 9.6 van de SBR richtlijn deel B.

Uit de tabellen volgt dat de verticale richting de maatgevende niveaus toont voor alle drie de meters. Wordt de $V_{\max\text{SBR}}$ getoetst, dan blijken meters 1 en 2 beide een niveau van 0,31 te tonen. Meter 3 wijkt af met een niveau van 0,46. Uit bijlage I blijkt dat er twee treinpassages voor meter 3 uitspringen welke niet in de andere sets terugkomen en de hogere waarde van 0,46 tot gevolg hebben. Er is enige twijfel of dit door toedoen van een treinpassage is of dat er sprake is van een stoorbron. Er is echter geen goede grond gevonden om de passages te verwijderen uit de dataset. De gemeten signalen traden op ten tijde van treinpassages en lijken ook op treinpassages (zie bijlage II).

4.2.2 Periodiek trillingniveau V_{per}

De trillingsterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) hoeft alleen bepaald te worden voor de richting met de grootste waarde V_{maxSBR} , bepaald in sectie 4.2.1. Voor de volledigheid is V_{per} per locatie en per meetrichting weergegeven in Tabel 4.5. V_{per} is alleen berekend voor de dagperiode. In Delft rijden overdag verreweg de meeste treinen waardoor de dagperiode maatgevend is [1].

Tabel 4.5 Meetresultaten (alleen dagperiode weergegeven)

meetrichting	meter 1	meter 2	meter 3
X	0.005	0.006	0.015
Y	0	0	0
Z	0.04	0.035	0.022

De streefwaarde A3 voor V_{per} bedraagt 0,05 (zie tabel 4.1). Uit tabel 4.5 volgt dat de metingen geen overschrijdingen tonen.

Toetsingswaarden op vloer binnenin gebouw

De gemeten waarden ter plaatse van de ribben worden als toetsniveaus binnenin het gebouw gehanteerd omdat wordt aangenomen dat:

- trillingen vanuit de ribben zonder verlies zich voortplanten in het gebouw;
- er geen opslinging in het gebouw optreedt.

Het eerste uitgangspunt is enigszins conservatief. Eventueel verlies hangt sterk van het gebouwwontwerp af en resulteert in mogelijk iets lagere niveaus op vloerniveau. Het tweede uitgangspunt dient te worden gewaarborgd door in het ontwerp van het gebouw rekening te houden met het vermijden van opslinging.

4.3 Doorvertaling trillingen naar laagfrequent geluidniveau

4.3.1 Wijze van doorvertaling

De trillingniveaus die optreden in een gebouw kunnen resulteren in laagfrequent geluid. Een gebruikelijke methode beschreven in [3] is om het trillingsniveau om te rekenen naar geluidsdrumniveau in dB. Dit gaat om de afgestraalde trillingsniveaus van vloeren dan wel wanden. De volgende formule wordt daarvoor gebruikt:

$$L_p \approx L_v - 27dB \text{ [dB]} \quad (4.1)$$

L_p is het geluidsdrumniveau in decibels. L_v is gedefinieerd als:

$$L_v = 20 \times \log_{10}\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) \text{ [dB]} \quad (4.2)$$

waar L_v het trillingsniveau in decibel is, " v " is de rms trillingsnelheid in m/s, en " v_{ref} " is de referentie trillingsnelheid in m/s¹. Deze methode [3] komt overeen met de FTA richtlijn [4] om de geluidniveaus op de grond te bepalen.

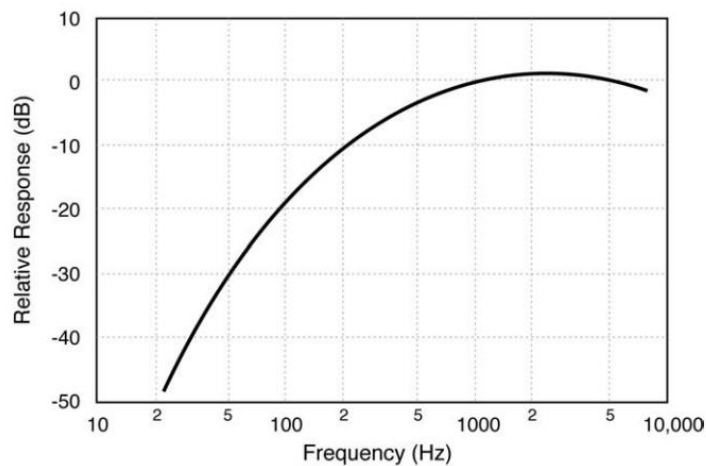
¹ Voor de bepaling van de V_{rms} zijn treinpassages aangehouden conform methodiek van de Ruiter. Per treinpassage is de maximale V_{rms} gehanteerd in de bepaling van het geluidsniveau L_p .

In de doorvertaling naar laagfrequente geluidsniveaus binnenin het gebouw is aangenomen dat:

- trillingen vanuit de ribben zonder verlies zich voortplanten in het gebouw;
- er geen opslingering in het gebouw optreedt.

De laagfrequente geluidsdrukkniveaus in vergelijking (4.1) zijn niet A-gewogen. Een A-gewogen geluidsdrukkniveau betreft het geluidsdrukkniveau waarbij een A-weging in het frequentiedomein is toegepast. Afbeelding 4.2 geeft de A-wegingscurve weer. De curve in afbeelding 4.2 toont de decibels van verzwakking of versterking bij elke frequentie over het bereik van het menselijk [4].

Afbeelding 4.2 A-gewogen curve : de curve laat zien dat geluidsdrukkniveaus opgenomen bij 50 Hz moeten worden versterkt met 30 dB om waargenomen te worden als een geluid bij 1000 Hz voor het menselijke oor



4.3.2 Toetsingskader en resultaten

Voor het toetsen van laagfrequent geluid blijkt nog geen standaard methodiek en richtlijn aanwezig te zijn. Echter voor railinfrastructuur is door Gemeentewerken Rotterdam een methodiek opgesteld die door ProRail toegepast wordt in spoorprojecten waar sprake is van een tunnel. Deze methodiek (methodiek van 'de Ruiter') geeft grenswaarden per octaafband en een grenswaarde voor het A-gewogen geluidsdrukkniveau. De grenswaarden worden weergegeven in Tabel 4.6. De vertaalde resultaten van de meting zijn weergegeven in Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Grenswaarden laagfrequent geluid volgens methode de Ruiter

Meetrichting	Woningen	Kantoren
10 - 250 Hz dBA*	35 dBA	40 dBA
16 Hz	80 dB	85 dB
31,5 Hz	68 dB	73 dB
63 Hz	55 dB	60 dB
125 Hz	45 dB	50 dB

* De A betekent dat het een A-gewogen niveau betreft

Tabel 4.7 Meetresultaten vertaald naar laagfrequent geluidniveau (verticale richting, maximum niveau van de 100 passages met hoogste trillingsniveau)

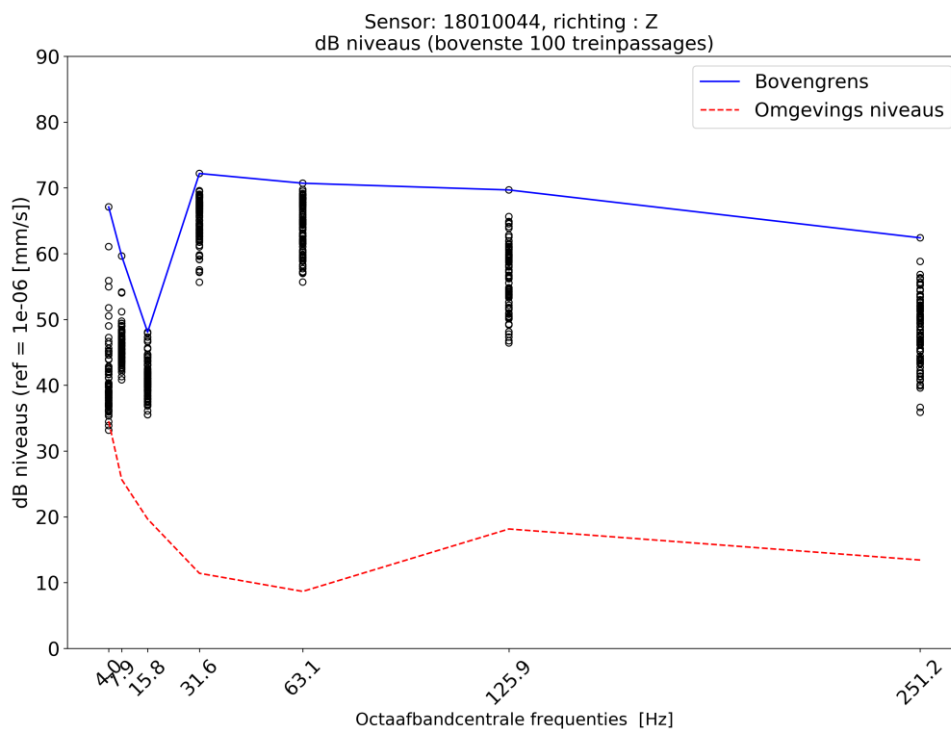
Meetrichting	Meter 1	Meter 2	Meter 3	Maatgevende overschrijding*
10 - 250 Hz dBA	61	59	63	28
16 Hz	48	46	52	-
31,5 Hz	72	74	69	6
63 Hz	71	70	69	16
125 Hz	70	67	71	26

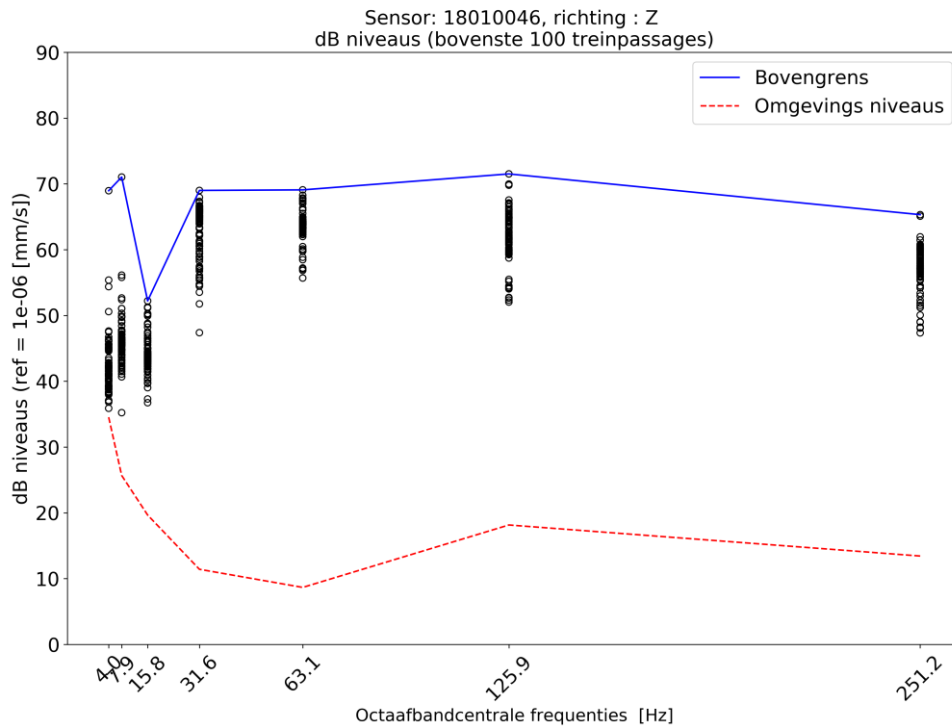
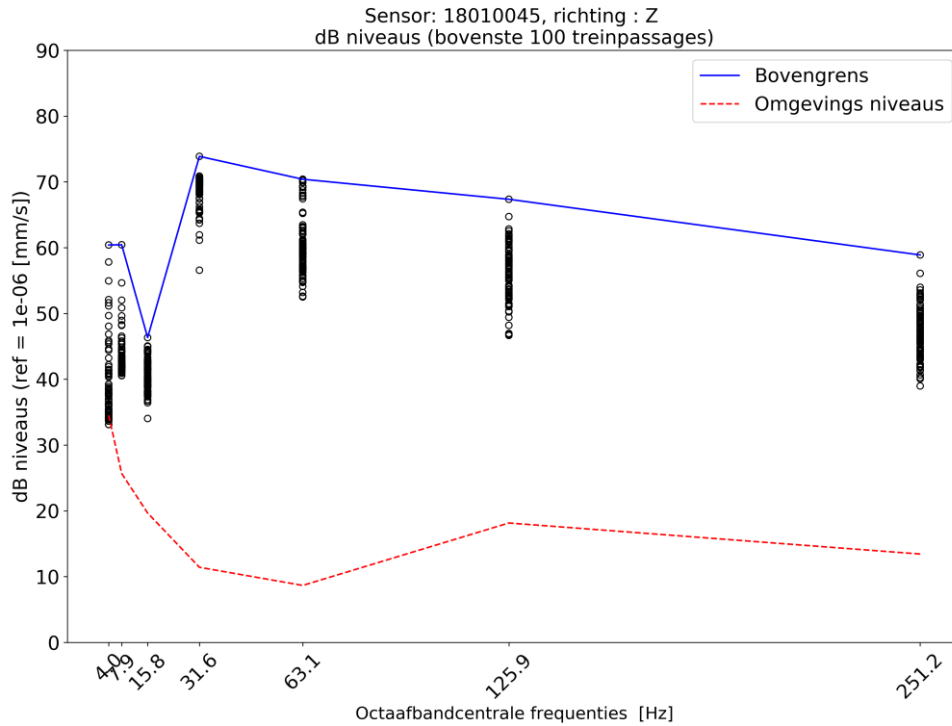
* voor woningen

De resultaten weergegeven in tabel 4.7 worden grafisch weergegeven in afbeelding 4.3 met de bovengrens curve. Uit de figuur volgt de spreiding in verwachte niveaus van de 100 passages met de hoogste trillingsniveaus.

Uit de resultaten blijkt dat overschrijdingen van verschillende octaafbanden te verwachten zijn wanneer de gemeten trillingssignalen op de ribben zonder afzwakking zich kunnen voortplanten in het gebouw wat er bovenop wordt gebouwd. Hierbij zijn de 63Hz en 125 Hz octaafbanden maatgevend met het oog op de mate van overschrijding. De overschrijdingen bedragen 16 en 26 dB ingeval van woningen.

Afbeelding 4.3 Laagfrequent geluidniveau per octaafband voor 100 passages met hoogste trillingsniveaus voor alle drie de meters in de Z richting





REFERENTIES

- 1 Rotterdam, S. B. (2006). SBR-Richtlijn-Trillingen: meet-en beoordelingsrichtlijnen. Deel B: Hinder voor personen in gebouwen.
- 2 Koopman, A. (2014). Memo Level Acoustics & Vibration (LA.131001a M04).
- 3 Thompson, D. (2009). Railway Noise and Vibration, Mechanisms, Modelling and Means of Control. Elsevier Oxford, UK. ISBN: 978-0-08-045147-3.
- 4 Hanson, C. E., Towers, D. A., & Meister, L. D. (2006). Transit noise and vibration impact assessment (No. FTA-VA-90-1003-06).

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Uit het trillingonderzoek blijkt het volgende:

- op alle drie de meetpunten liggen de $V_{\max\text{SBR}}$ niveaus boven de A1 en ook A2-streefwaarde voor woningen van de SBR. De hoogste waarde bedraagt $V_{\max\text{SBR}} = 0,46$, de andere twee meetpunten tonen eenzelfde waarde van $V_{\max\text{SBR}} = 0,31$ waarbij telkens de verticale richting maatgevend is. De streefwaarde van A2 bedraagt 0,2;
- de waarde van 0,46 wordt gedomineerd door 2 treinpassages die niet terugkomen in de andere twee sets. Er is enige twijfel of de hoge niveaus volgen door toedoen van een treinpassage is of dat er sprake is van een stoorbron. Er is echter geen goede grond gevonden om de passages te verwijderen uit de dataset. De gemeten signalen traden op ten tijde van treinpassages en lijken ook op treinpassages (zie bijlage II)
- de waarde van V_{per} ligt op alle drie de locaties onder de streefwaarde A3 van 0,05 voor woningen;
- wanneer de trillingsniveaus worden vertaald naar laagfrequente geluidsniveaus (waarbij aangenomen wordt dat de gemeten trillingssignalen zich zonder afzwakking voortplanten in het gebouw) en getoetst aan methode de Ruiters dan blijkt de 125 Hz band maatgevend: er wordt een overschrijding van 26 dB gevonden van de grenswaarde. Voor de andere banden neemt de overschrijding af naarmate de frequentie afneemt;
- de trillingsniveaus en laagfrequente geluidsniveaus overschrijden de streefwaarde van de SBR-richtlijn en de grenswaarden van de methode de Ruiters respectievelijk;
- indien aan de richtlijnen dient te worden voldaan dient een mitigerende maatregel te worden toegepast. Voor de vastgoedontwikkeling bovenop de tunnel lijkt het afveren van het gebouw een adequate en voor de hand liggende maatregel. Deze maatregel is naar verwachting effectief in het frequentiedomein waarin de dominante frequenties optreden.¹
- in de toetsing is aangenomen dat er geen verlies is van trillingsniveaus wanneer trillingen vanuit de ribben op het tunneldak zich voortplanten in het toekomstige gebouw wat steunt op deze ribben. Ook wordt aangenomen dat er geen opslingering plaatsvindt. Dit eerste resulteert in een enigszins conservatieve prognose. Dat er geen opslingering plaatsvindt, dient te worden gewaarborgd in het ontwerp.

5.2 Aanbevelingen

De gemeten trillingsniveaus ter plaatse van het tunneldak liggen boven de streefwaarde van de SBR-richtlijn en resulteren in laagfrequente geluidsniveaus boven de grenswaarden van methode De Ruiters. De niveaus binnenin toekomstig vastgoed bovenop de tunnel kunnen echter naar verwachting effectief worden gereduceerd doormiddel van het afveren van de gebouwconstructie zodat wel aan de beide kaders wordt voldaan.

¹ Uit literatuur van fabrikanten van afveeroplossingen blijkt dat het invoegverlies als gevolg van het toepassen van veren toeneemt met frequentie. Voor de in dit onderzoek maatgevende 125 Hz band voor laagfrequent geluid, zijn invoegverliezen van 40 tot 50 dB mogelijk afhankelijk van het type oplossing dat wordt gekozen. Ook voor trillingsniveaus is een dergelijke oplossing effectief (uit bijlage II volgt dominante frequenties veelal rond 40-50 Hz optreden).

Het afveren van een gebouw, dat direct bovenop een spoortunnel wordt geplaatst, is een gebruikelijke oplossing. Er zijn meerdere fabrikanten in Nederland die dergelijke producten kunnen leveren. In het ontwerp van het gebouw dient er rekening mee te worden gehouden.

Van belang is dat bij het ontwerp van het gebouw opslinging voorkomen dient te worden. Hier dient in het ontwerp rekening mee te worden gehouden.

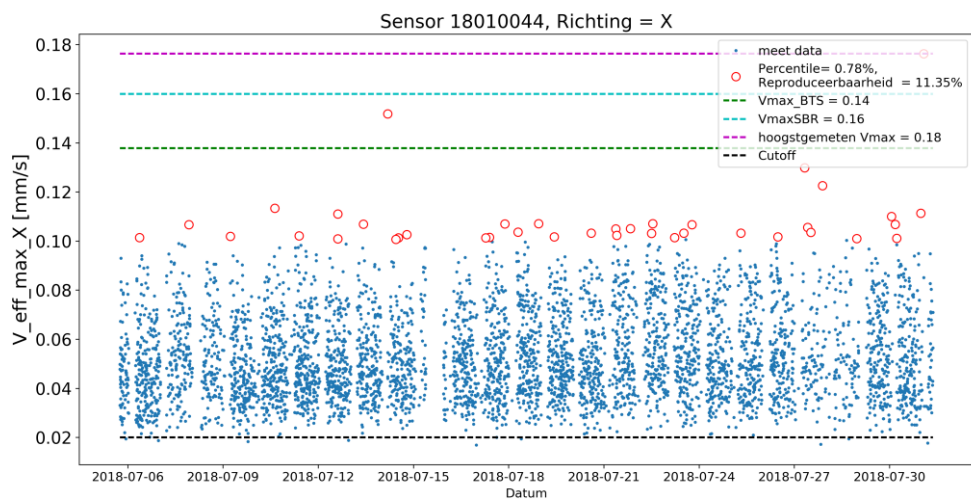
Bijlage(n)

I

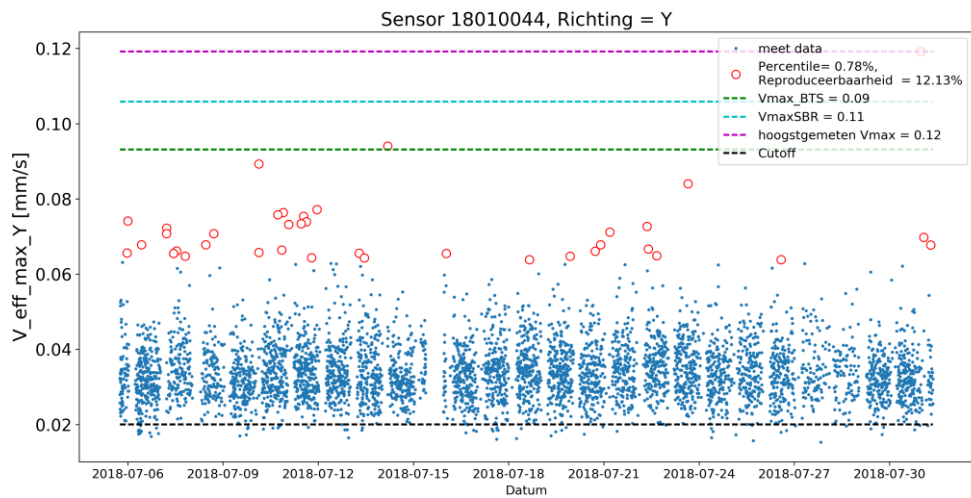
BIJLAGE: MEETRESULTATEN VERWERKT CONFORM BTS

Meter 1 (18010044) :

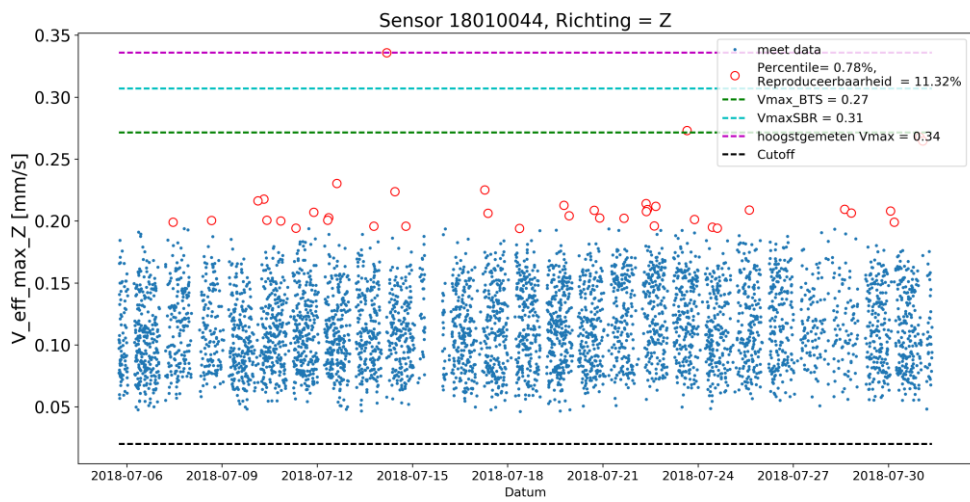
Afbeelding I.1 Meetresultaat meter 1 conform BTS in de X-richting



Afbeelding I.2 Meetresultaat meter 1 conform BTS in de Y-richting

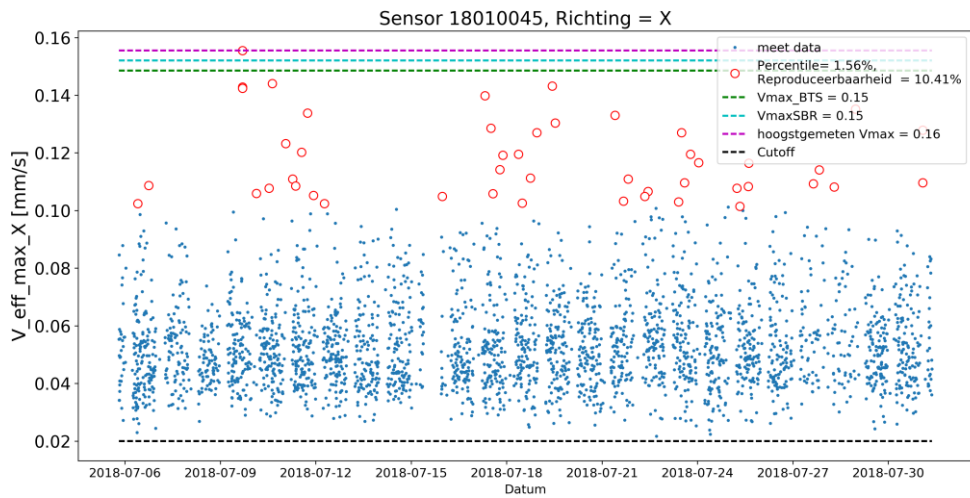


Afbeelding I.3 Meetresultaat meter 1 conform BTS in de Z-richting

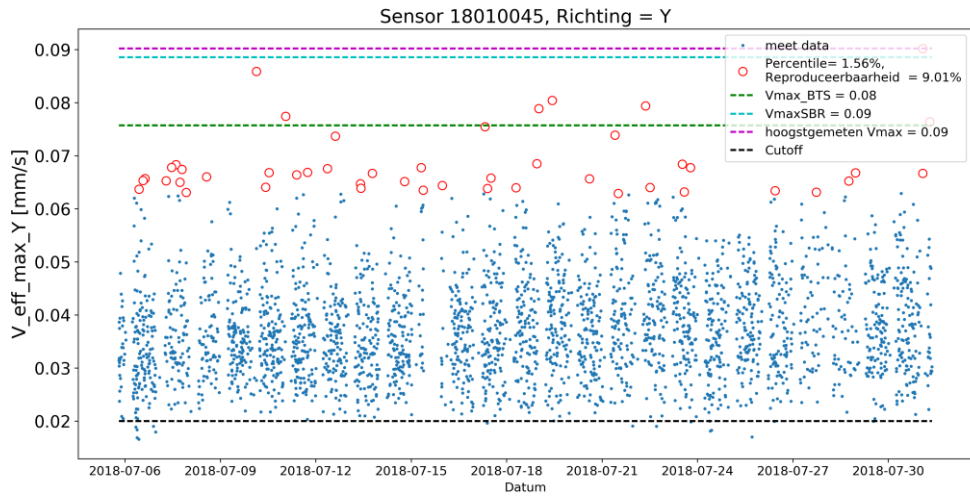


Meter 2 (18010045):

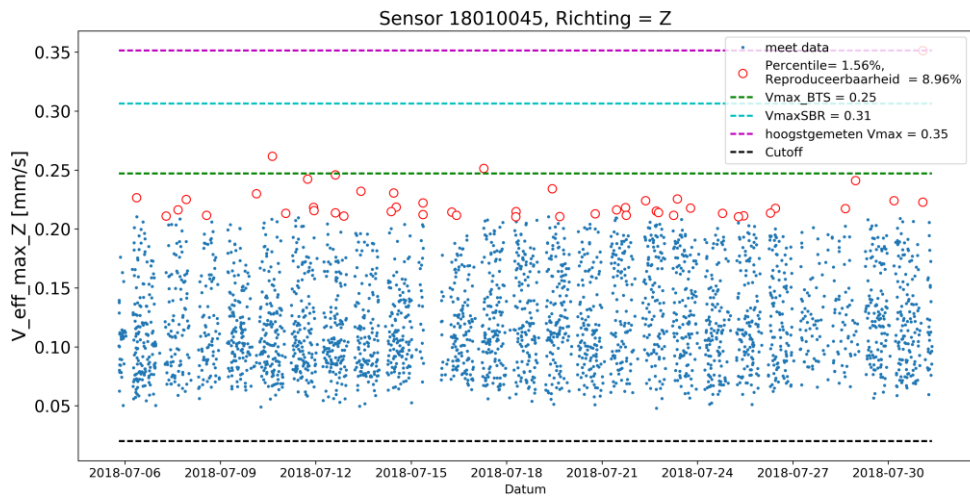
Afbeelding I.4 Meetresultaat meter 2 conform BTS in de X-richting



Afbeelding I.5 Meetresultaat meter 2 conform BTS in de Y-richting

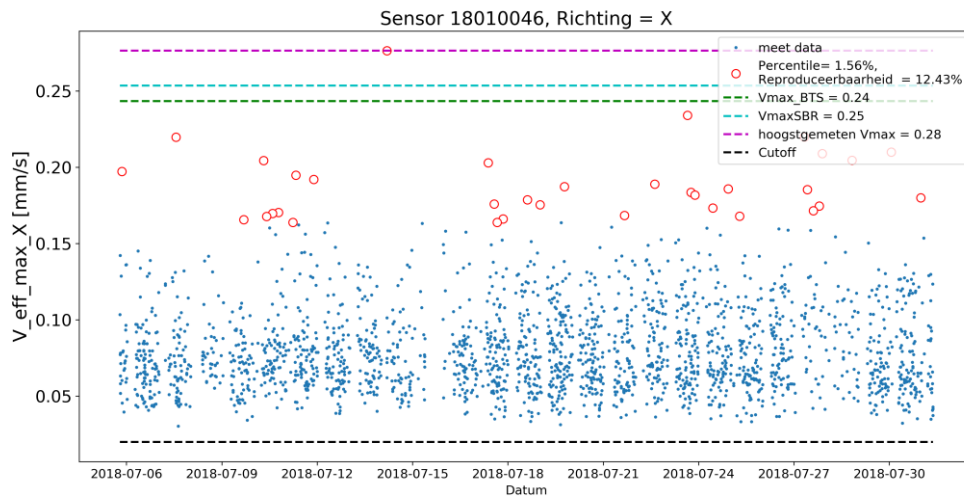


Afbeelding I.6 Meetresultaat meter 2 conform BTS in de Z-richting

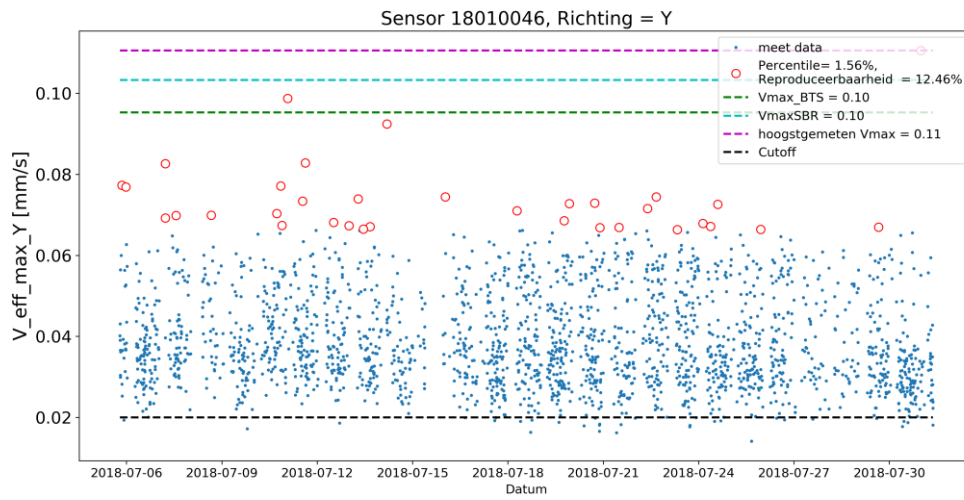


Meter 3 (18010046):

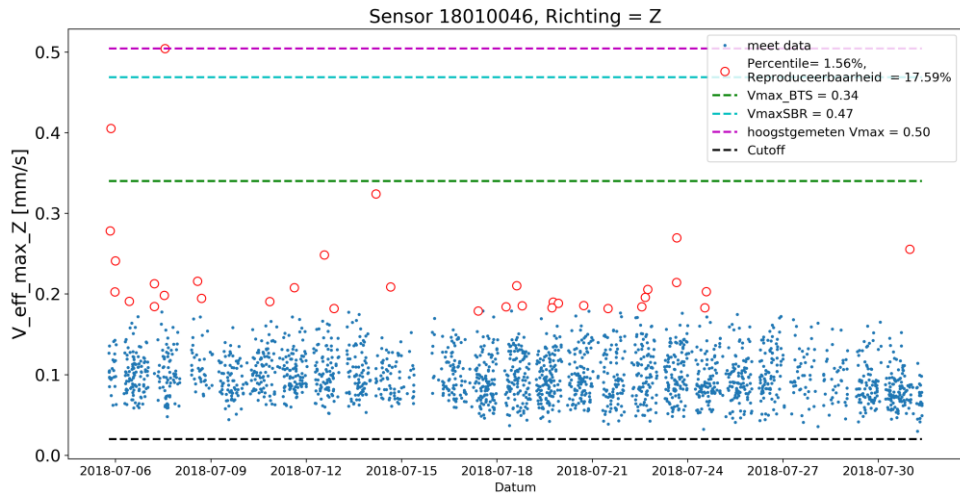
Afbeelding I.7 Meetresultaat meter 3 conform BTS in de X-richting



Afbeelding I.8 Meetresultaat meter 3 conform BTS in de Y-richting



Afbeelding I.9 Meetresultaat meter 3 conform BTS in de Z-richting

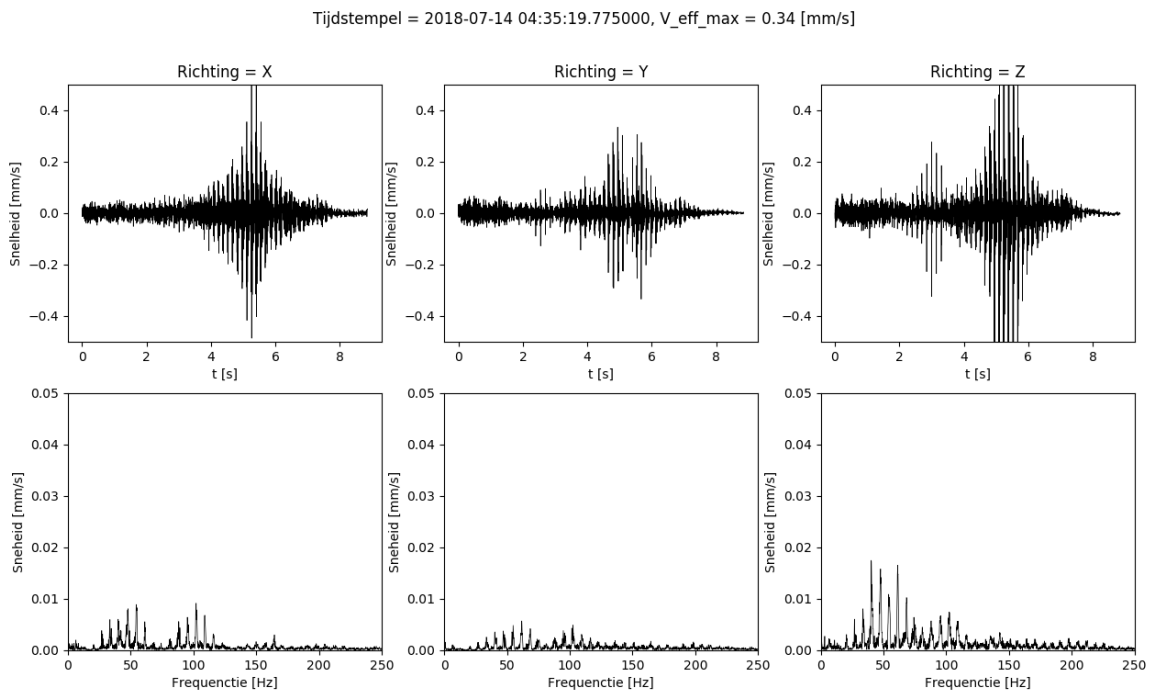


II

BIJLAGE: MEETRESULTATEN 10 HOOGSTE SIGNALEN IN TIJDSDOMEIN EN FREQUENTIEDOMEIN

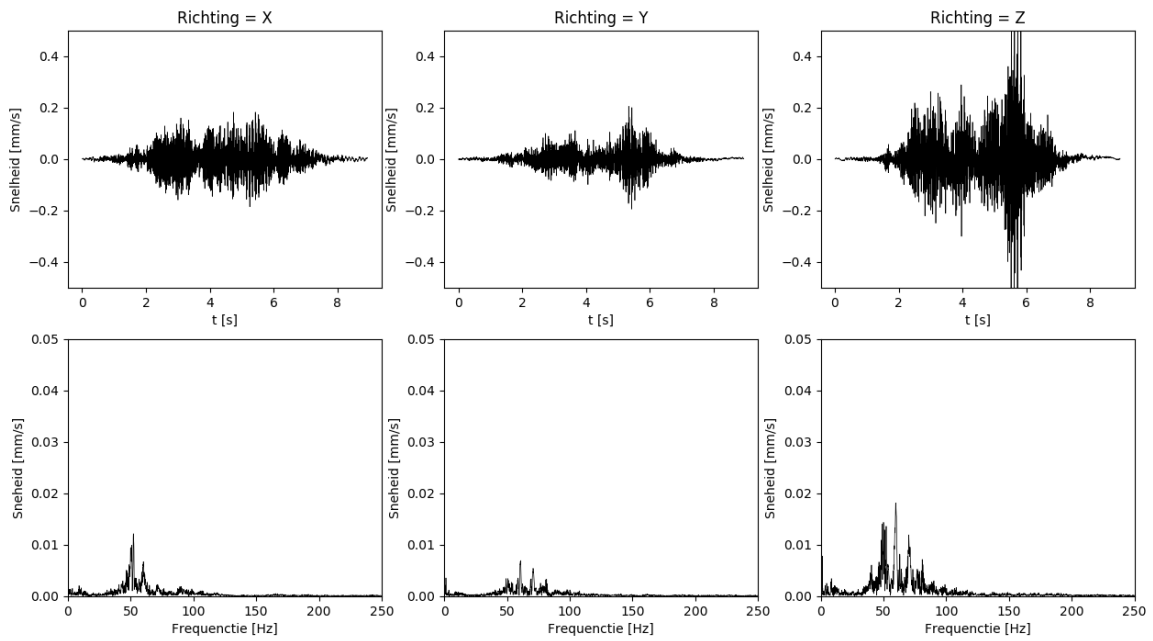
Meter 1 (18010044, Top tien hoogste signalen in de Z-richting):

Afbeelding II.1 Top 1 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting



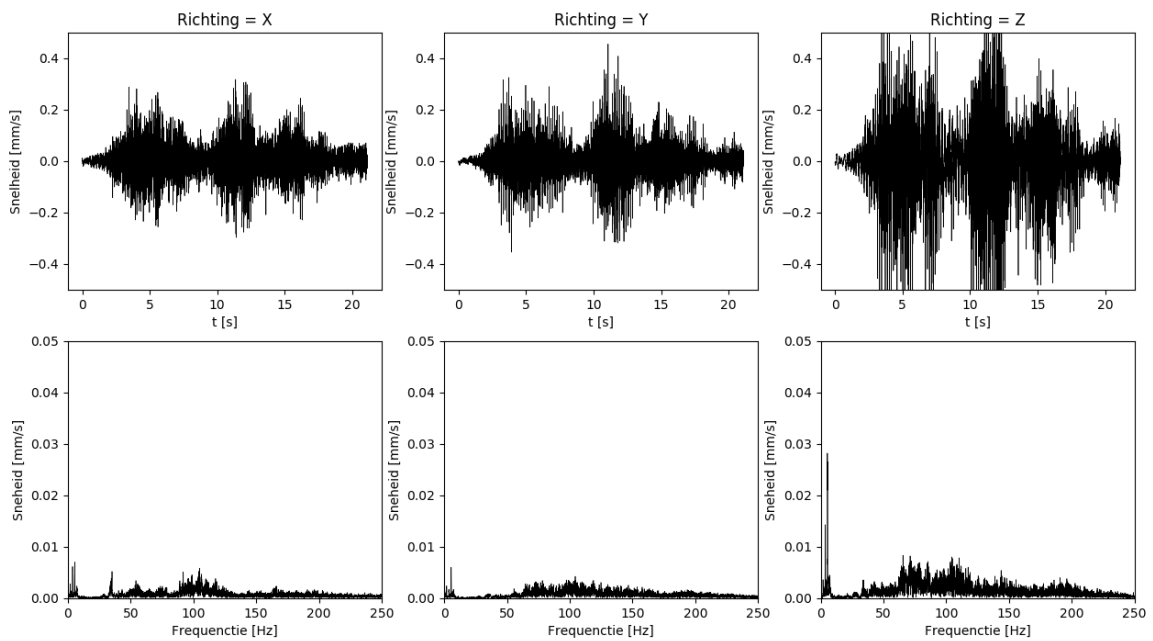
Afbeelding II.2 Top 2 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-23 15:33:18.878000, $V_{eff_max} = 0.27$ [mm/s]



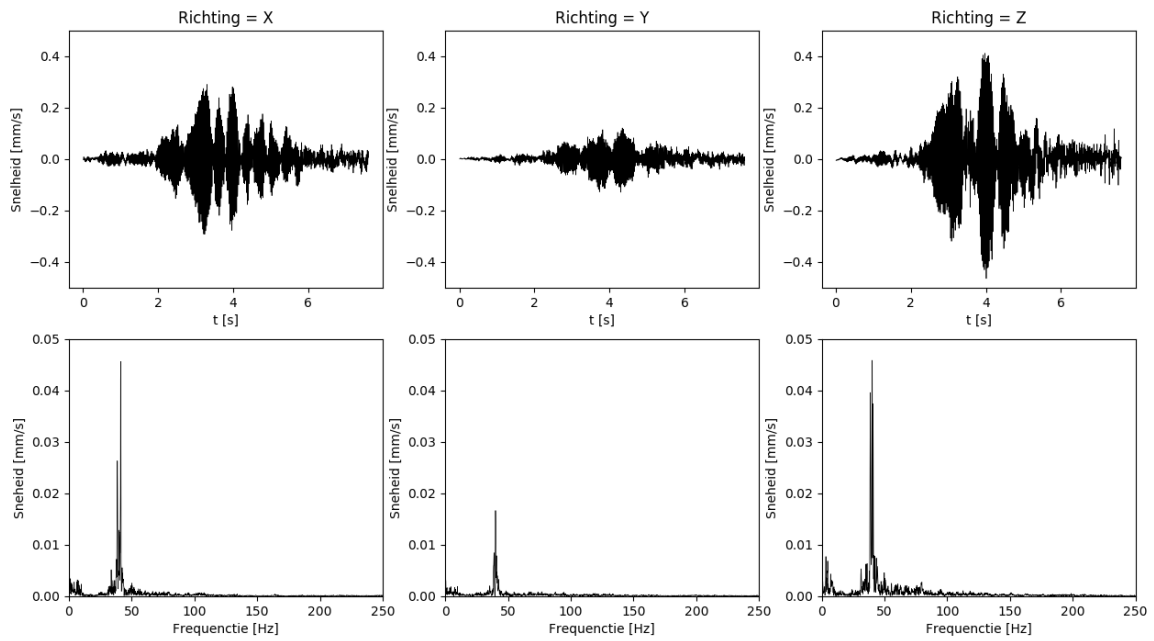
Afbeelding II.3 Top 3 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-30 23:43:49.456000, $V_{eff_max} = 0.27$ [mm/s]



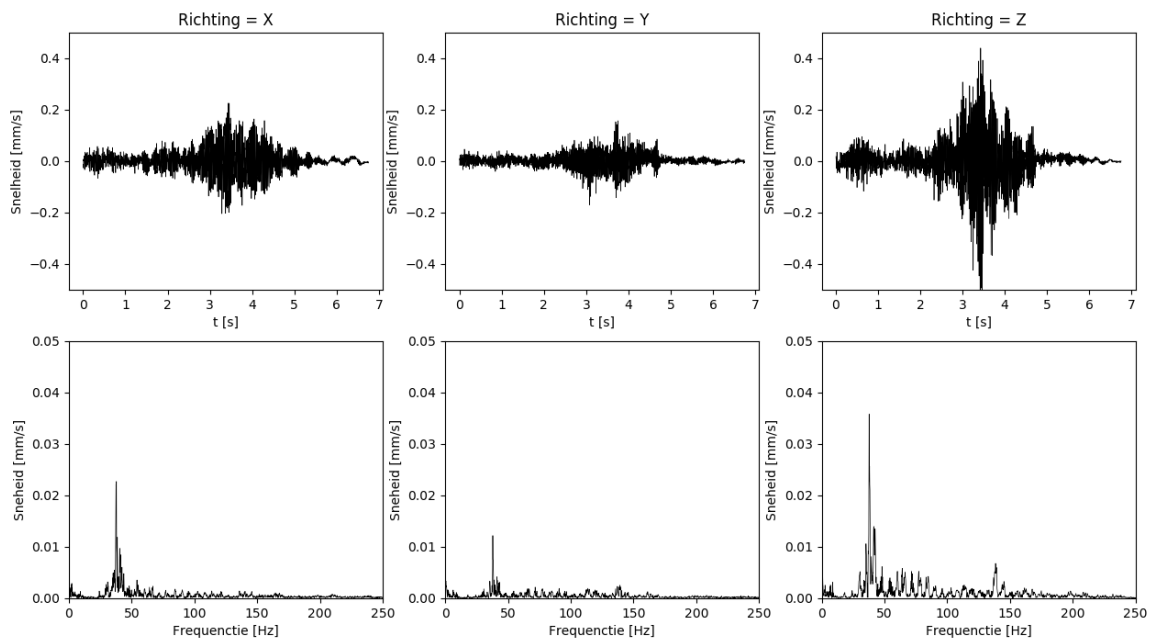
Afbeelding II.4 Top 4 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-31 01:58:00.970000, V_eff_max = 0.26 [mm/s]



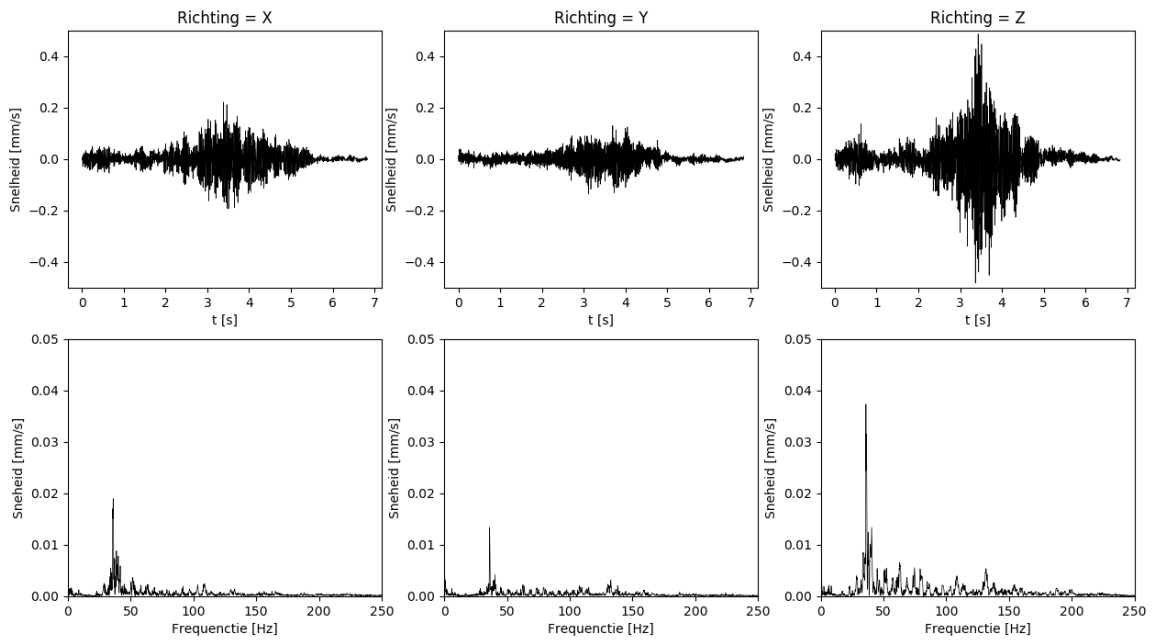
Afbeelding II.5 Top 5 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-12 14:47:38.151000, V_eff_max = 0.23 [mm/s]



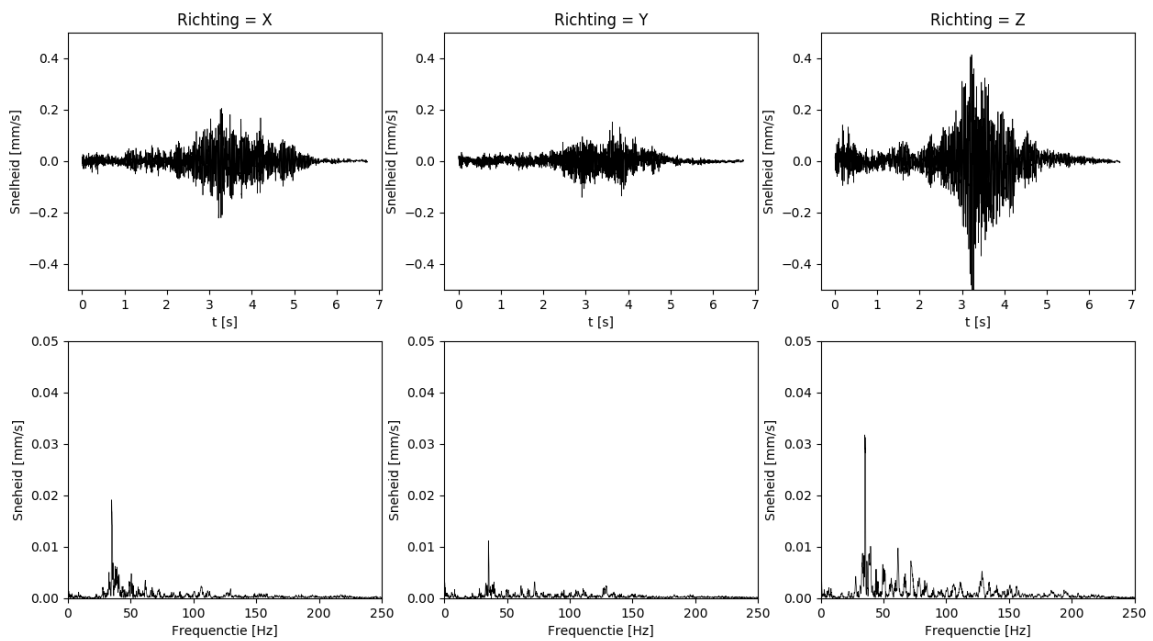
Afbeelding II.6 Top 6 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-17 06:46:20.244000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]



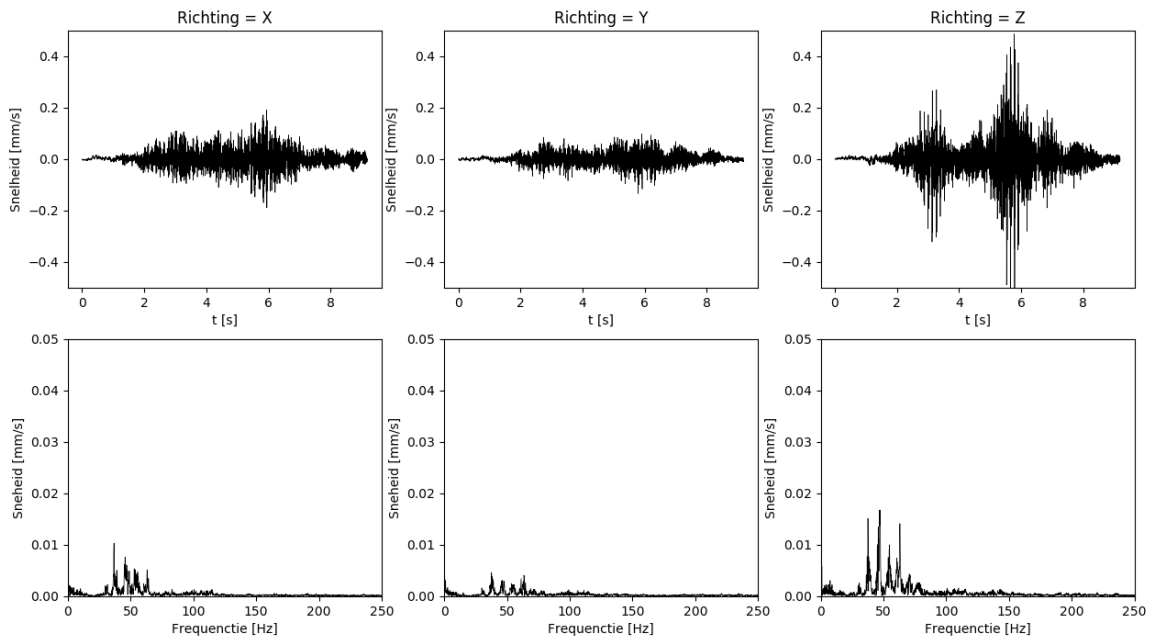
Afbeelding II.7 Top 7 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-14 10:47:55.778000, $V_{eff_max} = 0.22$ [mm/s]



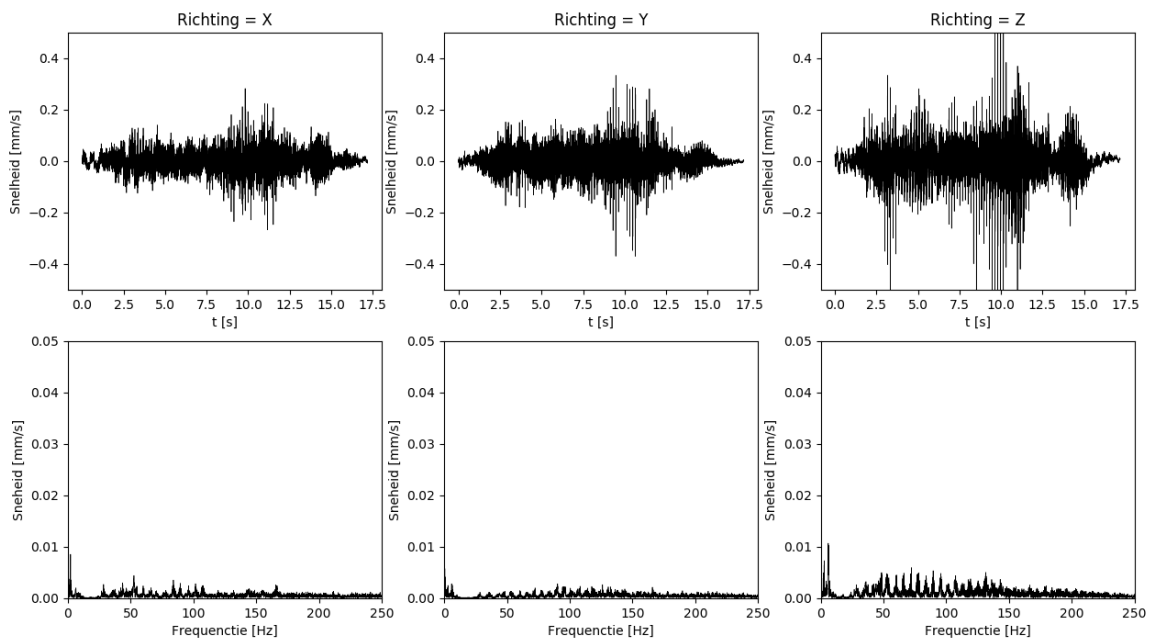
Afbeelding II.8 Top 8 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-10 07:33:35.697000, $V_{eff_max} = 0.22$ [mm/s]



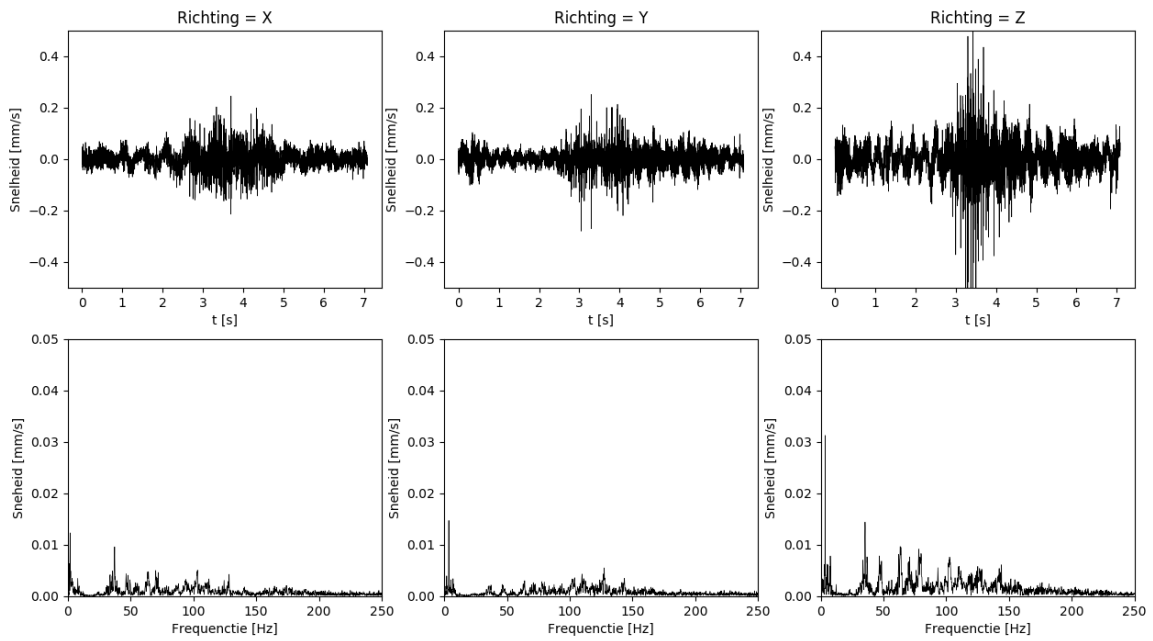
Afbeelding II.9 Top 9 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-10 03:11:49.605000, $V_{eff_max} = 0.22$ [mm/s]



Afbeelding II.10 Top 10 hoogste signaal van meter 1 in Z-richting

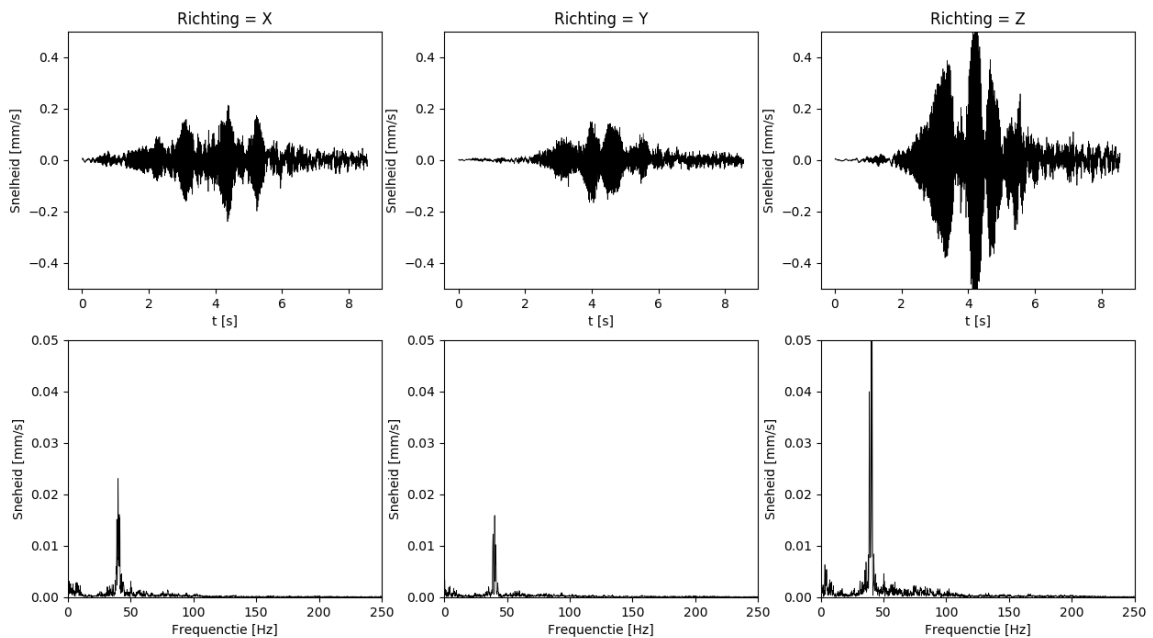
Tijdstempel = 2018-07-22 08:44:38.802000, $V_{eff_max} = 0.21$ [mm/s]



Meter 2 (18010045, Top tien hoogste signalen in de Z-richting):

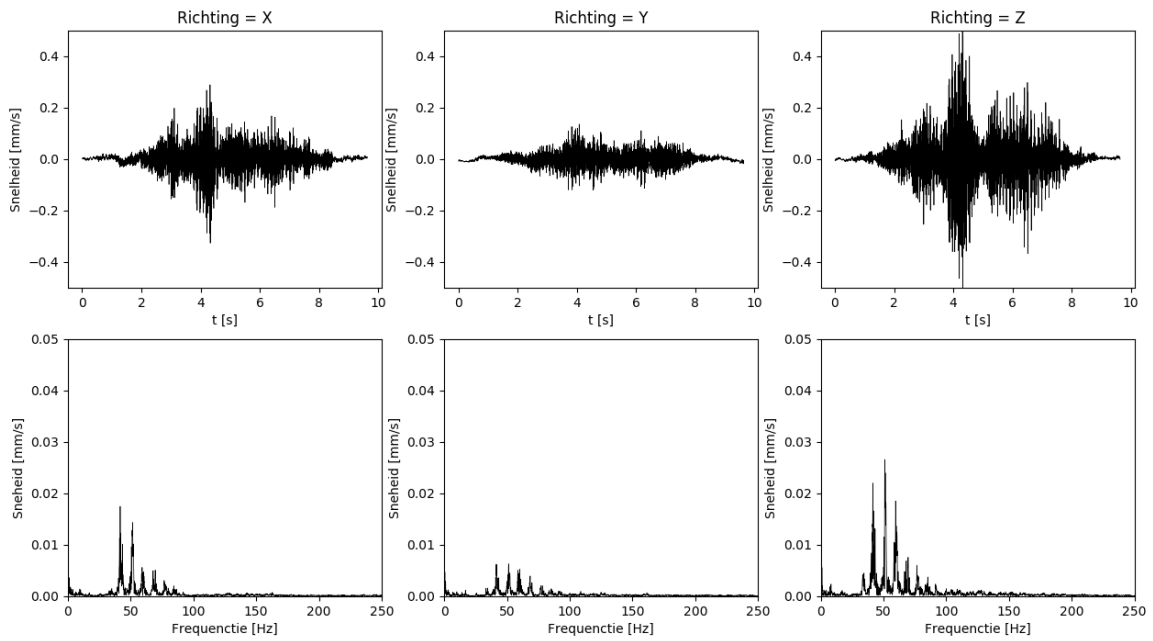
Afbeelding II.1 Top 1 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-31 01:57:59.446000, $V_{eff_max} = 0.35$ [mm/s]



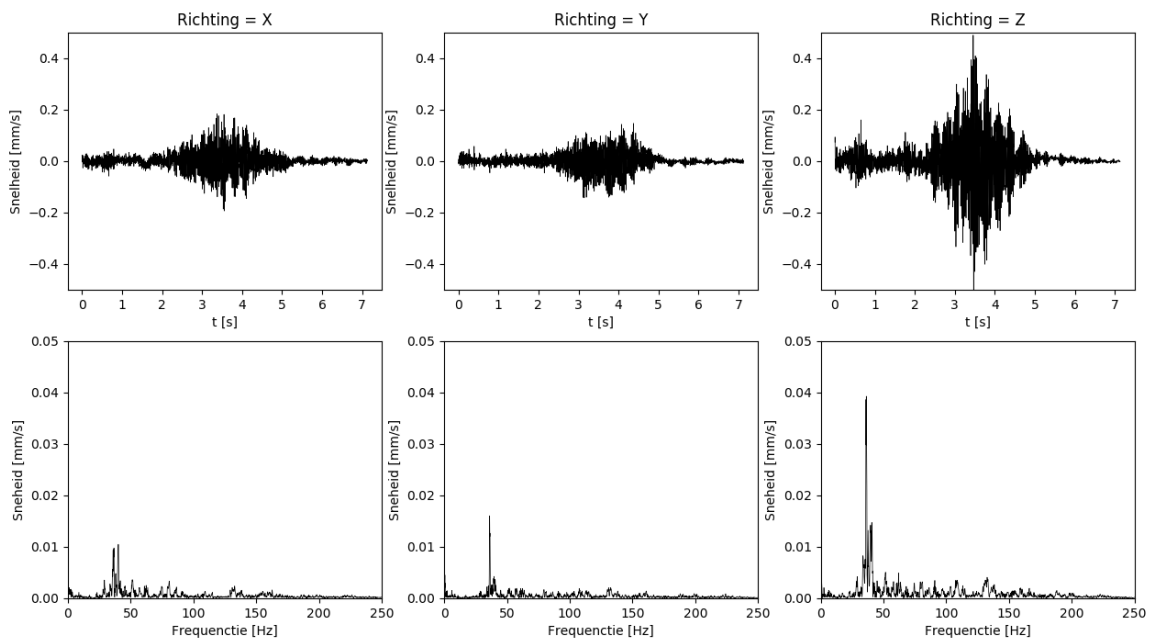
Afbeelding II.2 Top 2 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-10 15:10:07.915000, $V_{eff_max} = 0.26$ [mm/s]



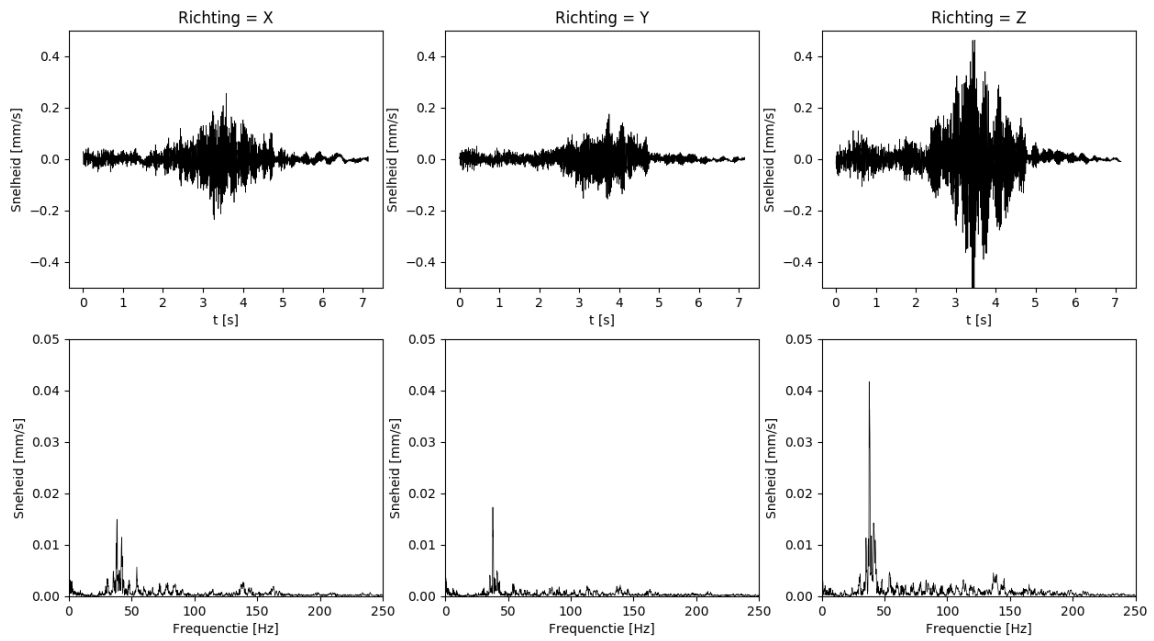
Afbeelding II.3 Top 3 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-17 06:46:19.866000, $V_{eff_max} = 0.25$ [mm/s]



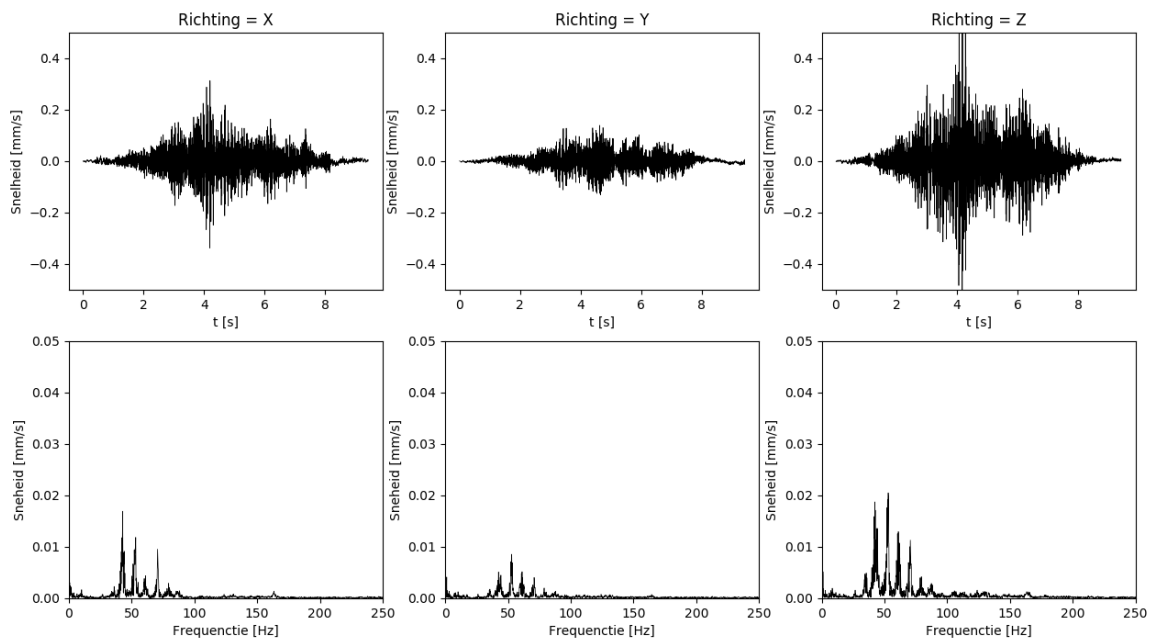
Afbeelding II.4 Top 4 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-12 14:47:37.796000, $V_{eff_max} = 0.25$ [mm/s]



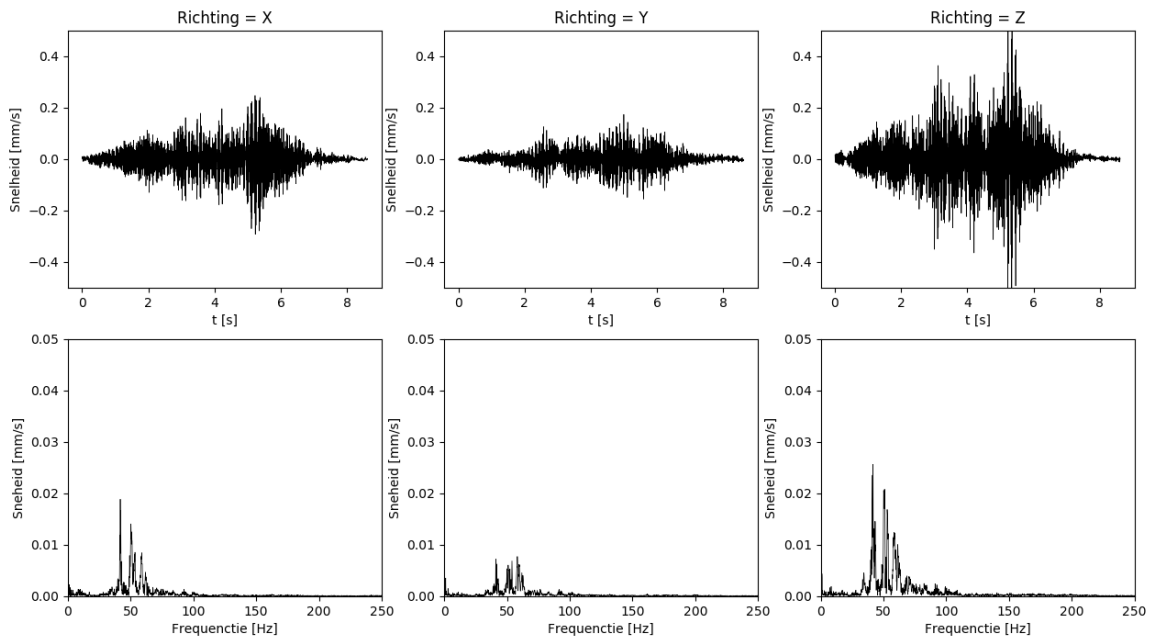
Afbeelding II.5 Top 5 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-11 17:39:52.677000, $V_{eff_max} = 0.24$ [mm/s]



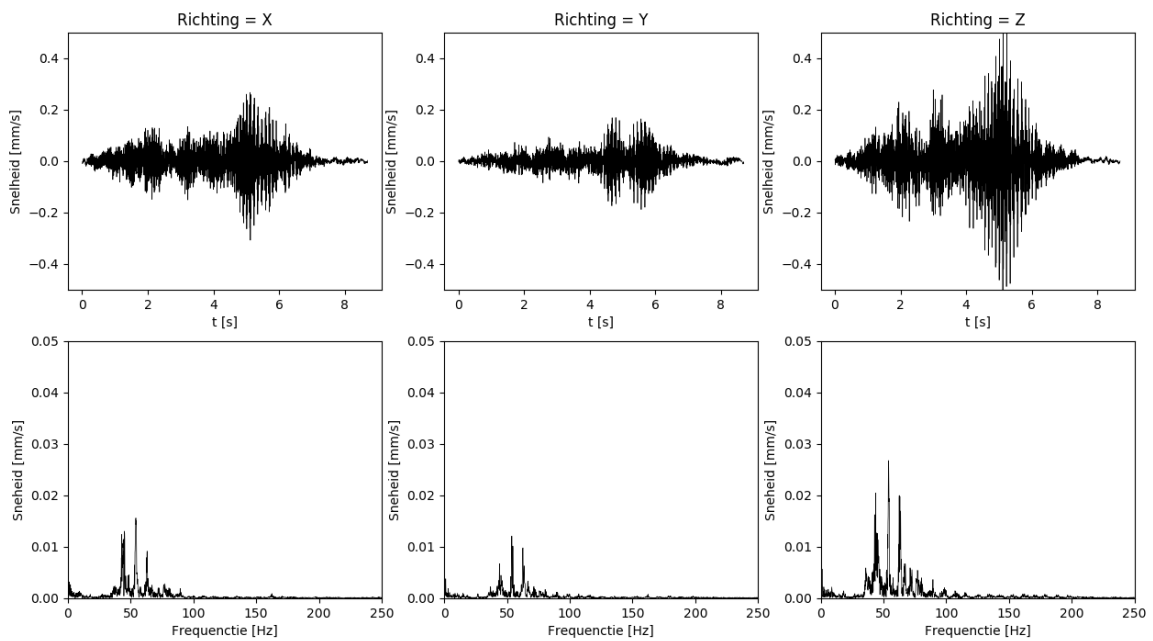
Afbeelding II.6 Top 6 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-28 23:10:46.554000, $V_{eff_max} = 0.24$ [mm/s]



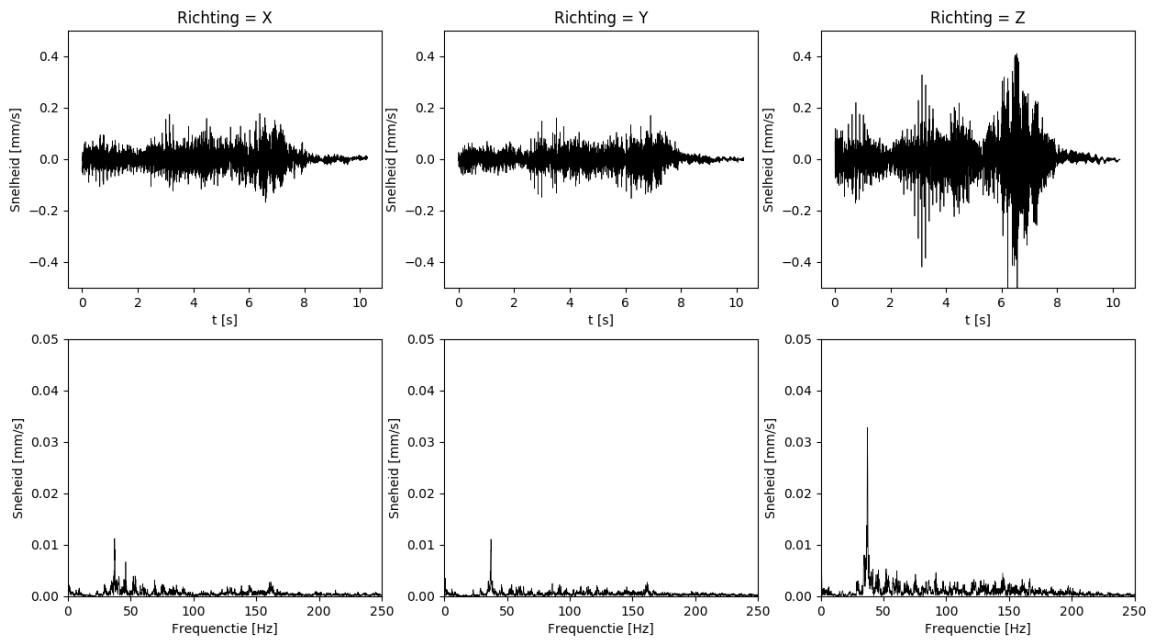
Afbeelding II.7 Top 7 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-19 10:24:39.762000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]



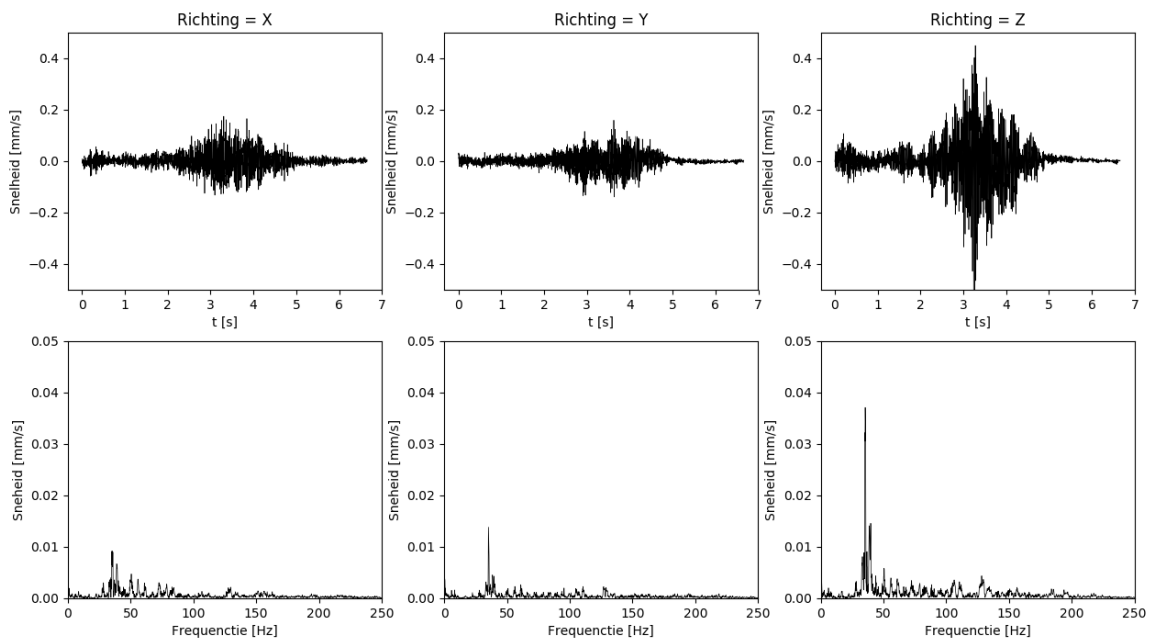
Afbeelding II.8 Top 8 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-13 10:05:13.268000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]



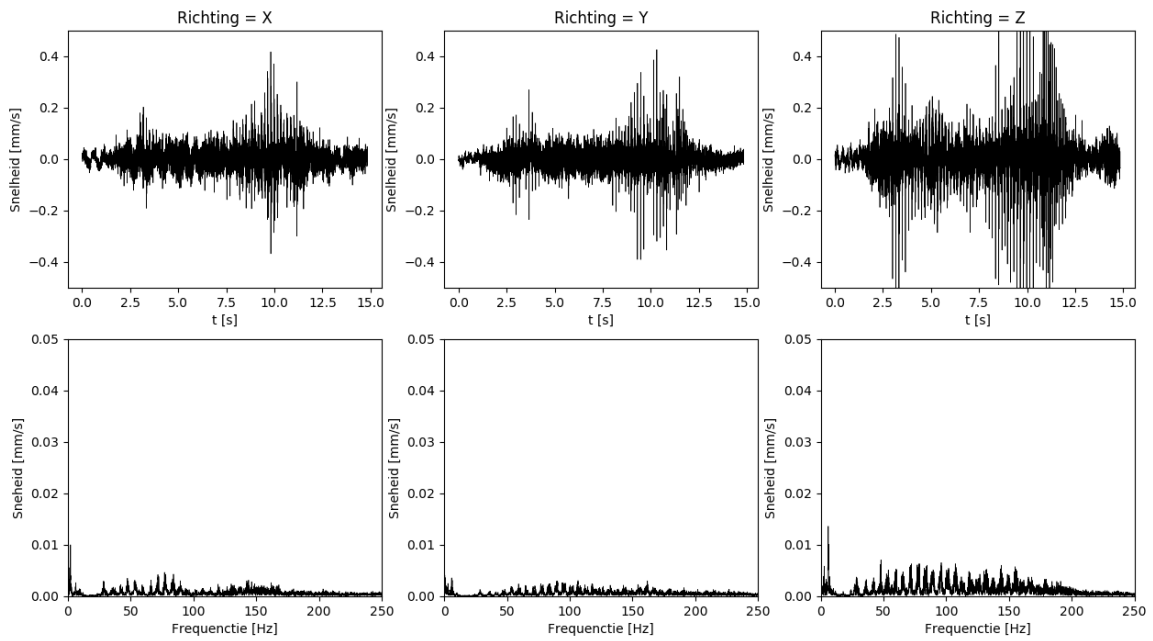
Afbeelding II.9 Top 9 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-14 10:47:54.003000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]



Afbeelding II.10 Top 10 hoogste signaal van meter 2 in Z-richting

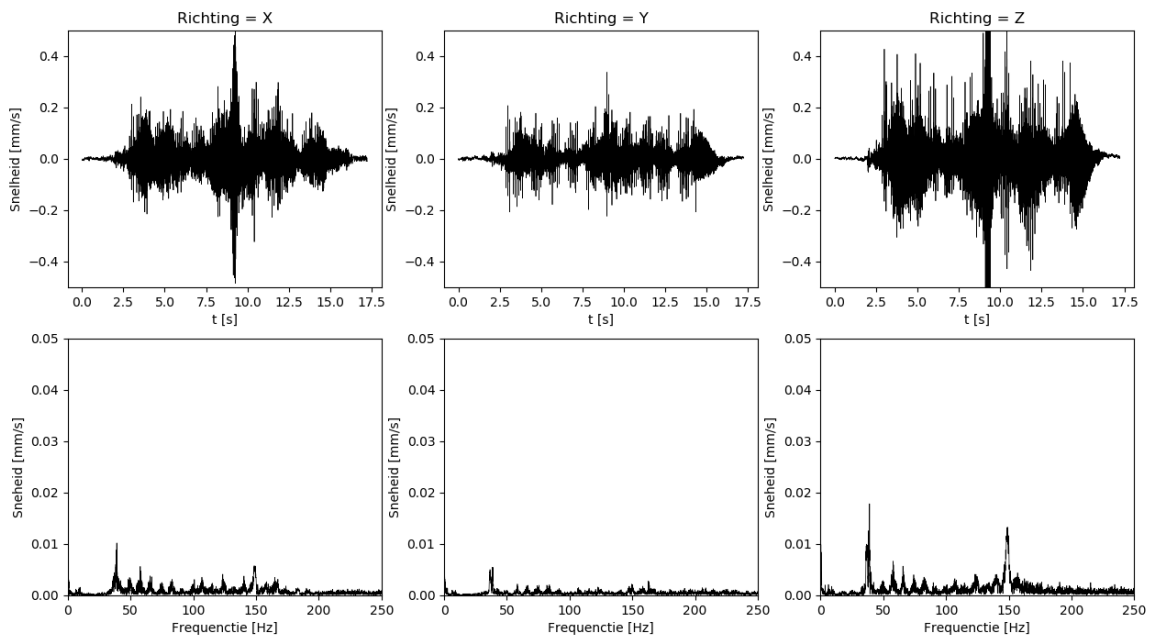
Tijdstempel = 2018-07-10 03:11:49.112000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]



Meter 3 (18010046, Top tien hoogste signalen in de Z-richting):

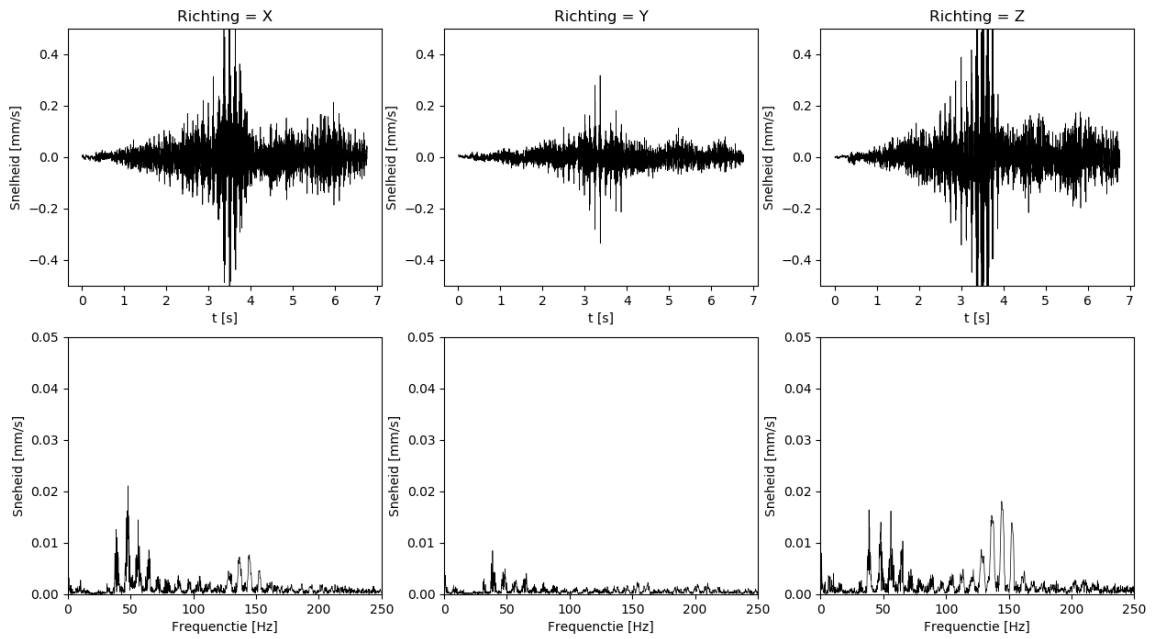
Afbeelding II.1 Top 1 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-07 13:27:13.949000, $V_{eff_max} = 0.50$ [mm/s]



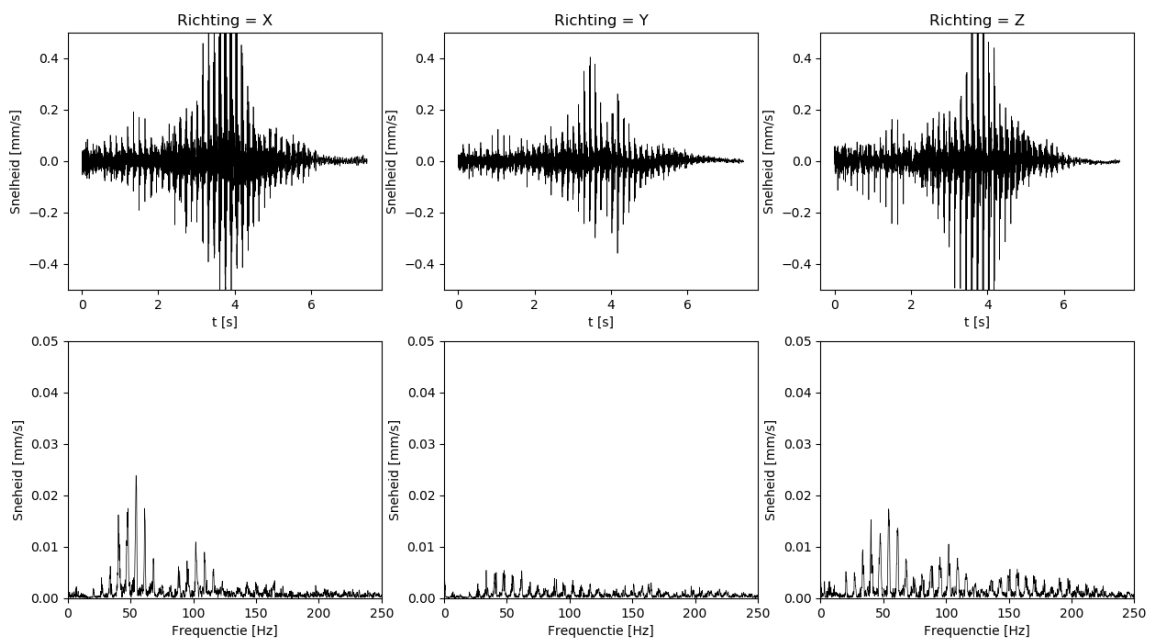
Afbeelding II.2 Top 2 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-05 20:33:16.545000, $V_{eff_max} = 0.41$ [mm/s]



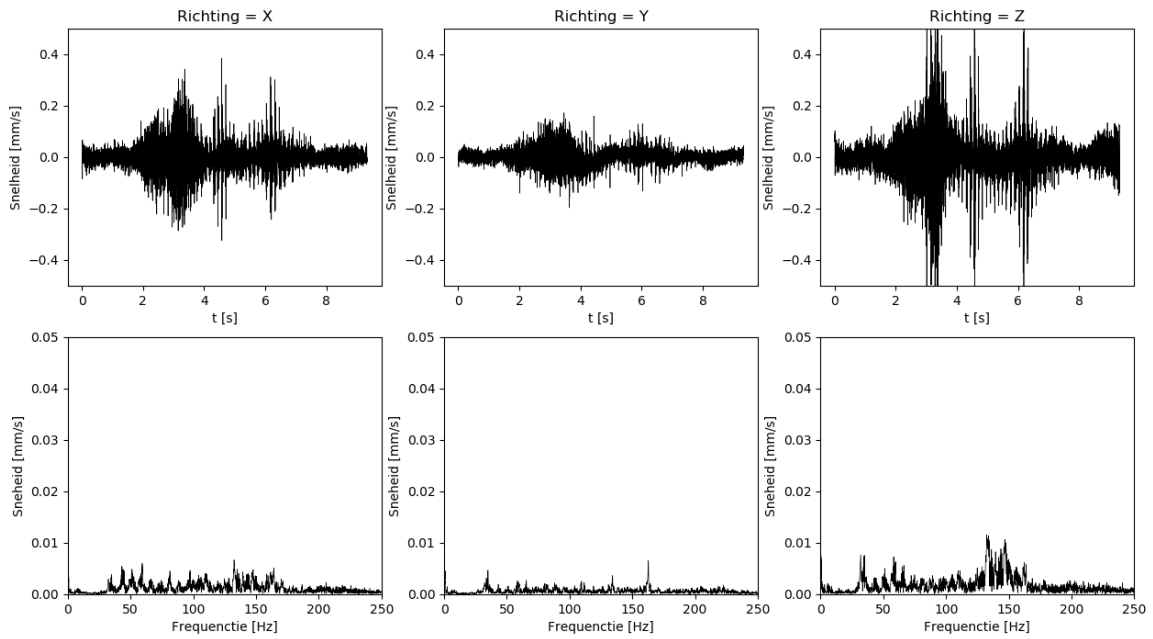
Afbeelding II.3 Top 3 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-14 04:35:19.893000, $V_{eff_max} = 0.32$ [mm/s]



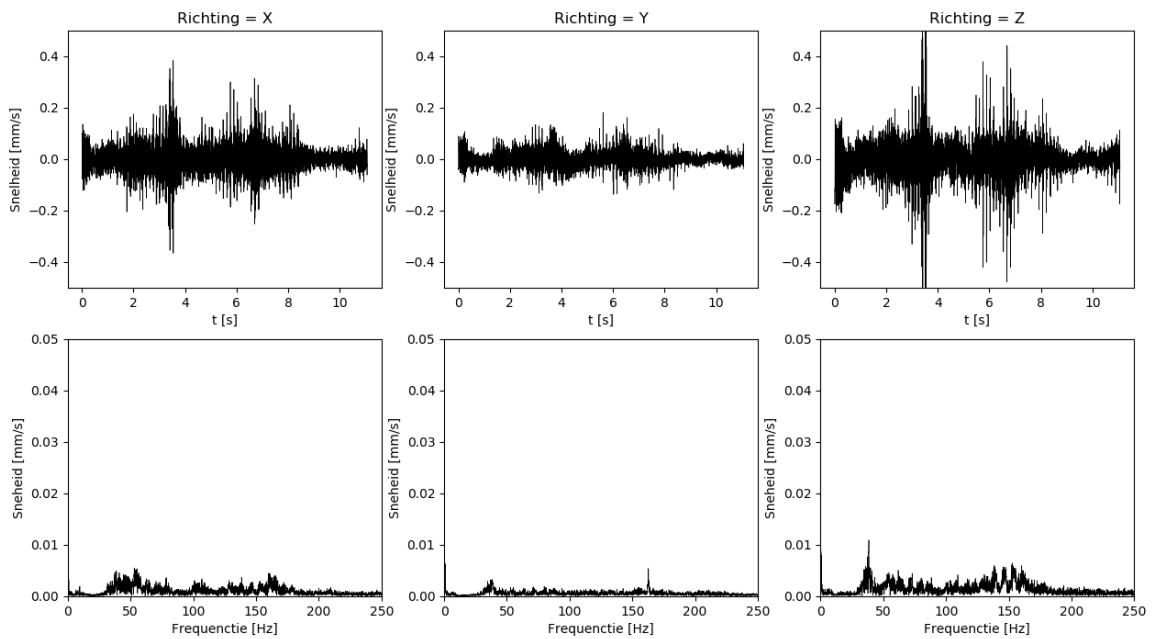
Afbeelding II.4 Top 4 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-05 19:58:50.002000, $V_{eff_max} = 0.28$ [mm/s]



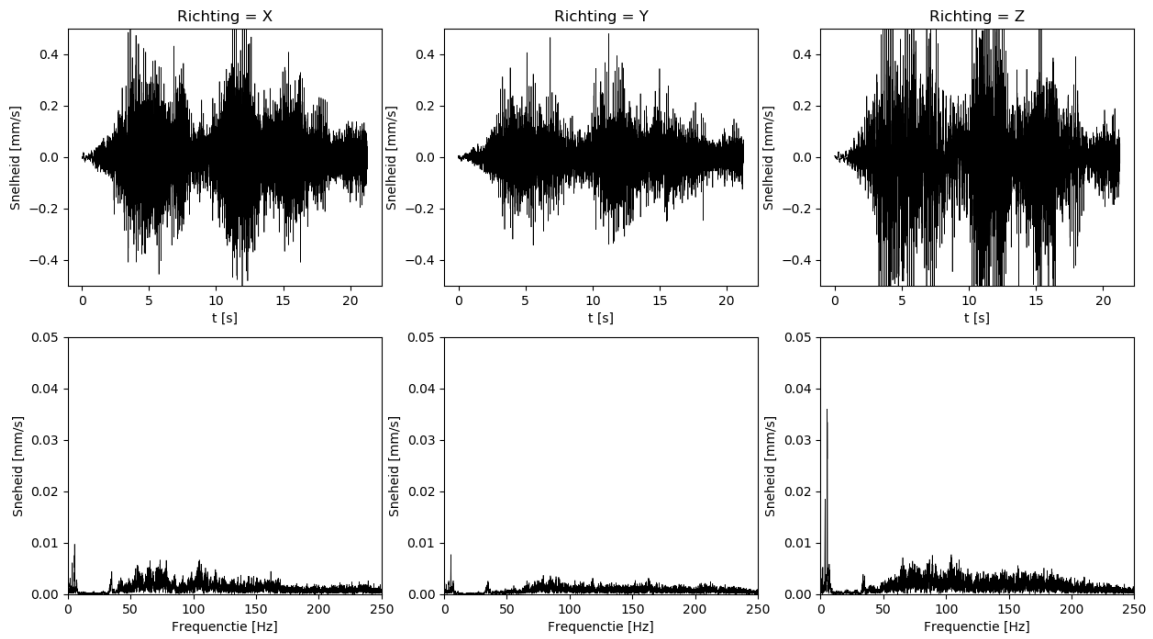
Afbeelding II.5 Top 5 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-23 15:46:42.525000, $V_{eff_max} = 0.27$ [mm/s]



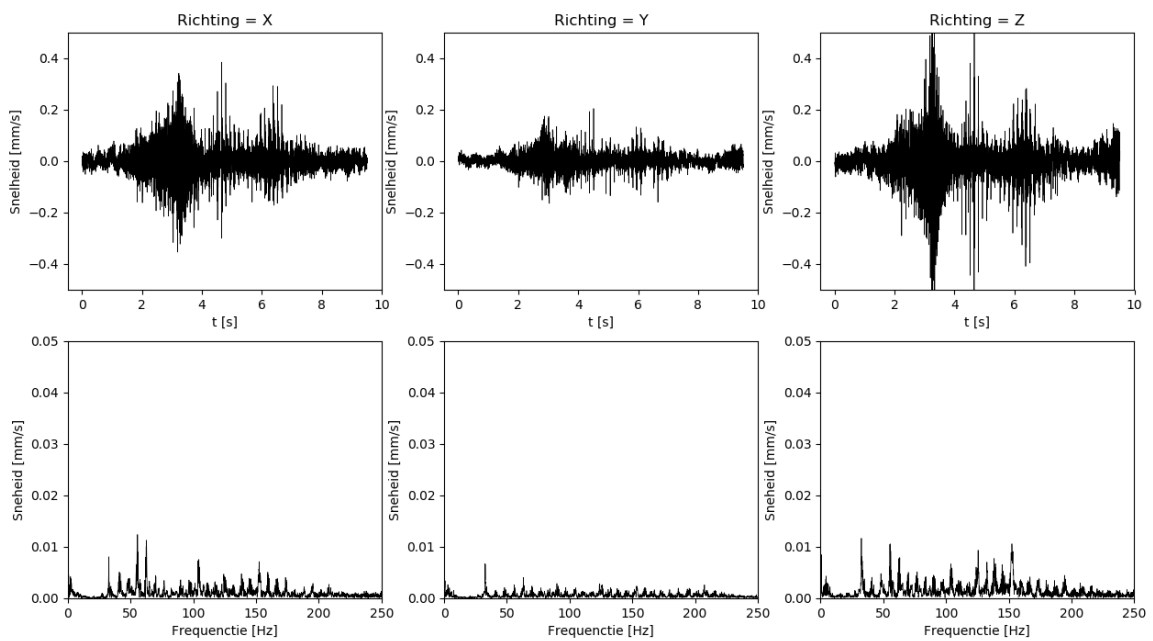
Afbeelding II.6 Top 6 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-30 23:43:48.502000, $V_{eff_max} = 0.26$ [mm/s]



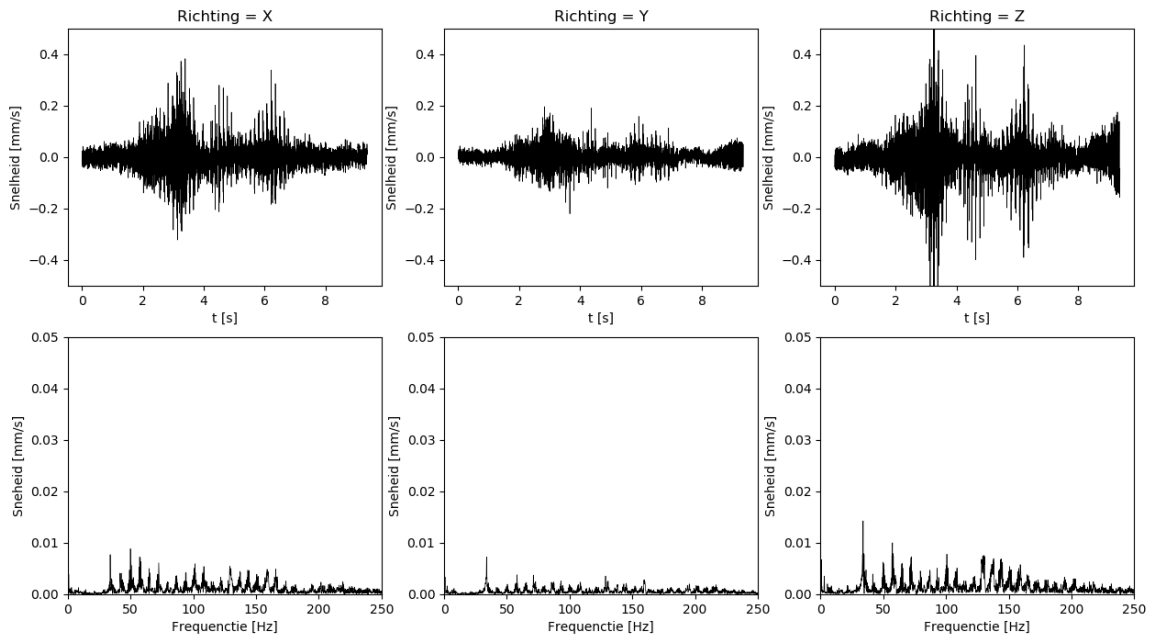
Afbeelding II.7 Top 7 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-12 13:47:15.164000, $V_{eff_max} = 0.25$ [mm/s]



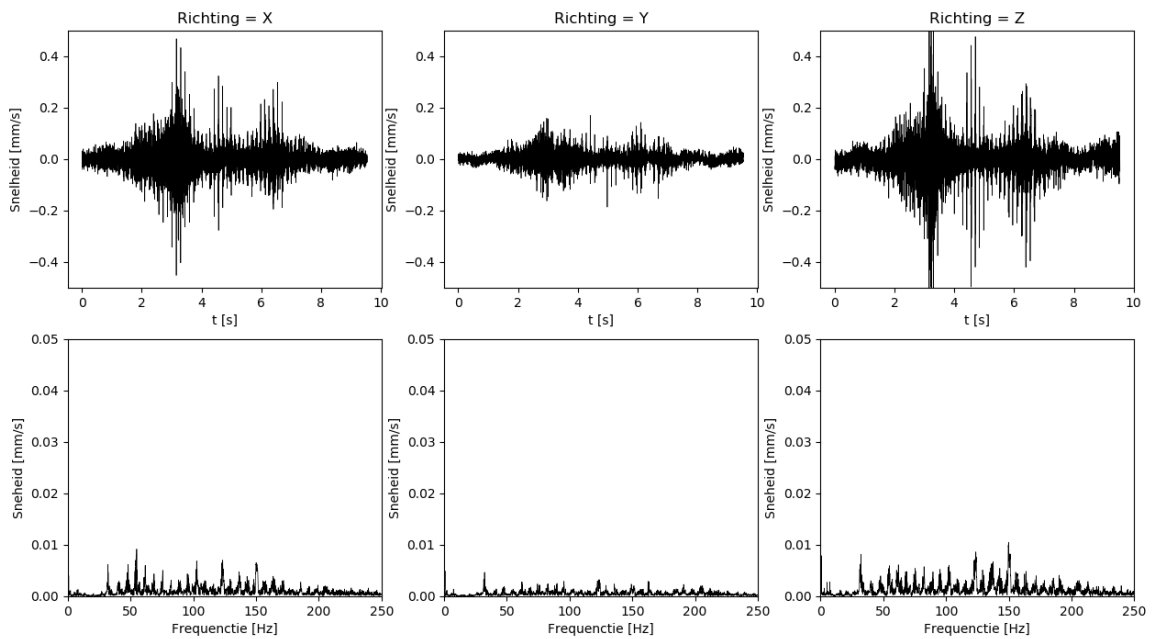
Afbeelding II.8 Top 8 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-05 23:56:54.876000, $V_{eff_max} = 0.24$ [mm/s]



Afbeelding II.9 Top 9 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-08 13:57:15.500000, $V_{eff_max} = 0.22$ [mm/s]



Afbeelding II.10 Top 10 hoogste signaal van meter 3 in Z-richting

Tijdstempel = 2018-07-23 15:33:17.123000, $V_{eff_max} = 0.23$ [mm/s]

