

Gatwickstraat 11
1043 GL AMSTERDAM

T +31 (0)88-5152505
E info@cauberghuygen.nl
www.cauberghuygen.nl

K.v.K 58792562
IBAN NL71 RABO 0112 075584

Trillingsonderzoek Bredius locatie Amsterdam; trillingen railverkeer

Datum 16 juni 2020
Referentie 00985-51876-03

Referentie 00985-51876-03
Rapporttitel Trillingsonderzoek Bredius locatie Amsterdam;
trillingen railverkeer

Datum 16 juni 2020

Opdrachtgever Gemeente Amsterdam
Stadsdeel West
Postbus 2602
1000 CP AMSTERDAM
Contactpersoon Mevrouw C. Bos

Behandeld door J. Kerkhofs
C.J. Ostendorf
Cauberg Huygen B.V.
Gatwickstraat 11
1043 GL AMSTERDAM
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitgangspunten	4
2.1	Opzet onderzoek	4
2.2	Toetsingskader	4
2.3	Beschrijving situatie	5
2.4	Bestemmingsplan	7
3	Trillingsmetingen	8
3.1	Algemeen	8
3.2	Meetposities algemeen	8
3.3	Meetposities bemande metingen	9
3.4	Meetparameters	9
3.5	Treinen	10
4	Meetresultaten weekmetingen	11
4.1	Meetpunt ZT45 dicht bij spoor	11
4.1.1	Verloop $V_{effmax,30,i}$	11
4.1.2	Tijdsignalen en frequentiespectra	11
4.1.3	Samenvattend	15
4.2	Meetresultaten ZT46 straatzijde	15
4.2.1	Verloop $V_{effmax,30,i}$	15
4.2.2	Samenvatting meetpunt ZT46	16
5	Resultaat bemande meting golflengte	17
5.1	Inleiding	17
5.2	Resultaat voortplantingssnelheid	17
5.3	Resultaat golflengte	17
5.4	Advies	18
6	Conclusie en advies	20

Bijlagen

Bijlage I

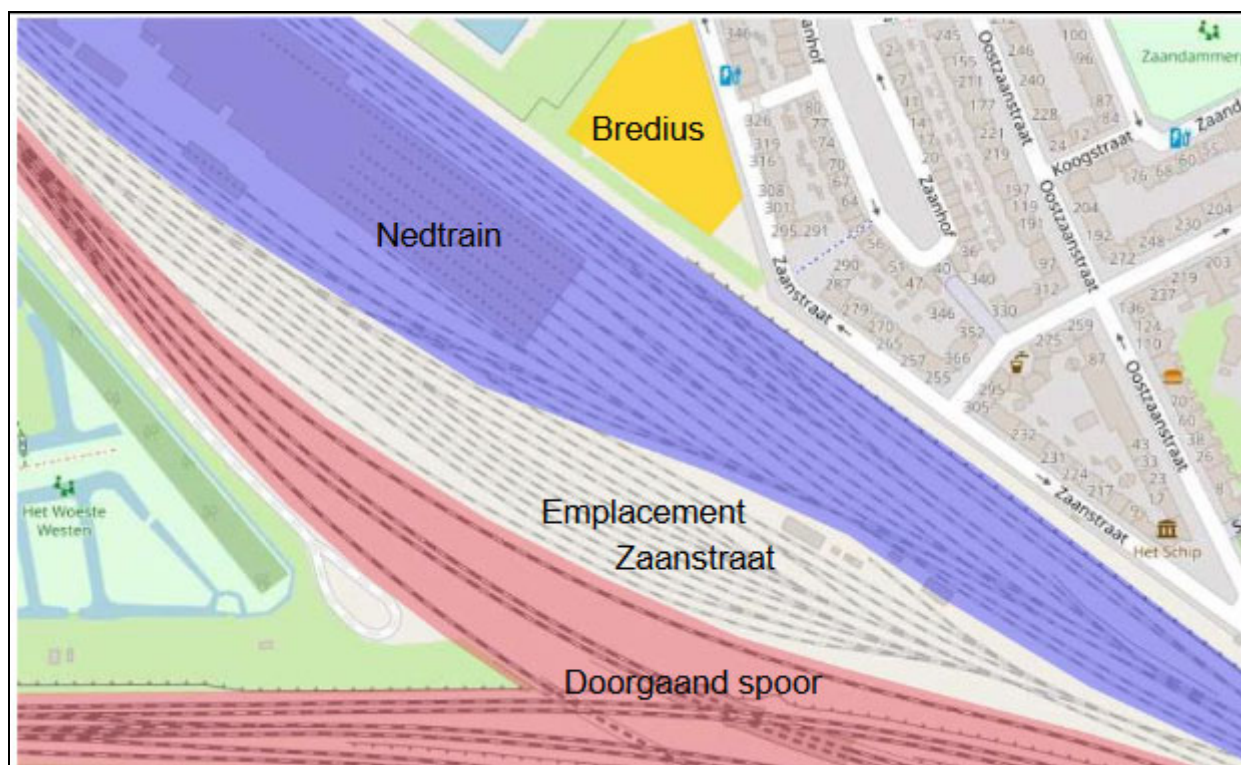
Bijlage I-1	Meetresultaten meetpunt ZT45
Bijlage I-2	Getalsmatige weergave frequentiespectra ZT45

Bijlage II

Bijlage II-1	Meetresultaten meetpunt ZT46
--------------	------------------------------

1 Inleiding

In opdracht van de gemeente Amsterdam is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het projectgebied Bredius aan de Zaanstraat in Amsterdam. Binnen het projectgebied is woningbouw voorzien. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het projectgebied (gele kleur).



Figuur 1.1: Situering projectlocatie Bredius

Het projectgebied ligt op relatief korte afstand het terrein van Nedtrain en een emplacement. Aanleiding tot het onderzoek zijn de optredende trillingen vanwege railverkeer. De resultaten van het trillingsonderzoek moeten gebruikt kunnen worden bij de uitvraag van de tender voor de realisatie van het Bredius project zodat de in te schrijven marktpartijen alle relevante informatie over trillingen kunnen vinden. Het gaat hierbij om:

- De optredende trillingssterkte van de treinpassages op verschillende locaties op het bouwplan.
- De bijbehorende frequentiespectra.
- De golflengte van de dominante trillingen.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en een eerste beoordeling van de gemeten trillingssterkte is gebruik gemaakt van SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel B "Trillingen; hinder voor personen in gebouwen (SBR-B). SBR-B geeft streefwaarden voor de trillingssterkte in de woning ter voorkoming van hinder voor personen. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd ter beoordeling van de trillingen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten en geeft advies over het ontwerp van de gebouwen vanuit het oogpunt van trillingen.

2 Uitgangspunten

2.1 Opzet onderzoek

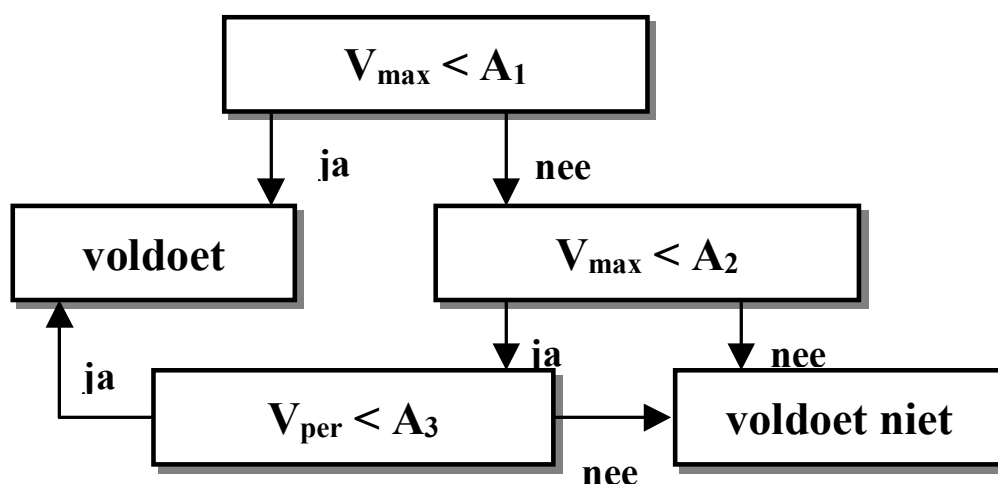
Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 7 november 2019. De onbemande metingen zijn uitgevoerd van 6 tot en met 15 november over een periode van 9 dagen. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Er is gemeten op maaiveld ter plaatse van de toekomstige bebouwing. Op basis van de meetresultaten is de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ bepaald (bemande en onbemande metingen), zijn de bijbehorende trillingsfrequenties bepaald (bemande en onbemande metingen) en is de golflengte van de dominante trilling bepaald (alleen bemande metingen).

In dit onderzoek is geen prognose van de trillingssterkte voor de nieuwbouw is opgesteld. De gegevens uit het onderzoek kunnen hiervoor door de projectontwikkelaar of ontwerper van de gebouwen gebruikt worden.

2.2 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in een woning is SBR richtlijn B uit 2006 van toepassing. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van navolgend schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan A_1 en A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan A_3 . De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen.

De functie van het bouwwerk is wonen. De trillingen zijn afkomstig van railverkeer en worden daarom geclassificeerd als herhaald voorkomend. De trillingen komen zowel in de dag- (07.00-19.00 uur), avond- (19.00-23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00-07.00 uur) voor.

De voorliggende situatie betreft een nieuwe situatie want er is sprake van nieuw te bouwen woningen. In tabel 2.1 zijn de streefwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} voor een nieuwe situatie conform SBR richtlijn B opgenomen.

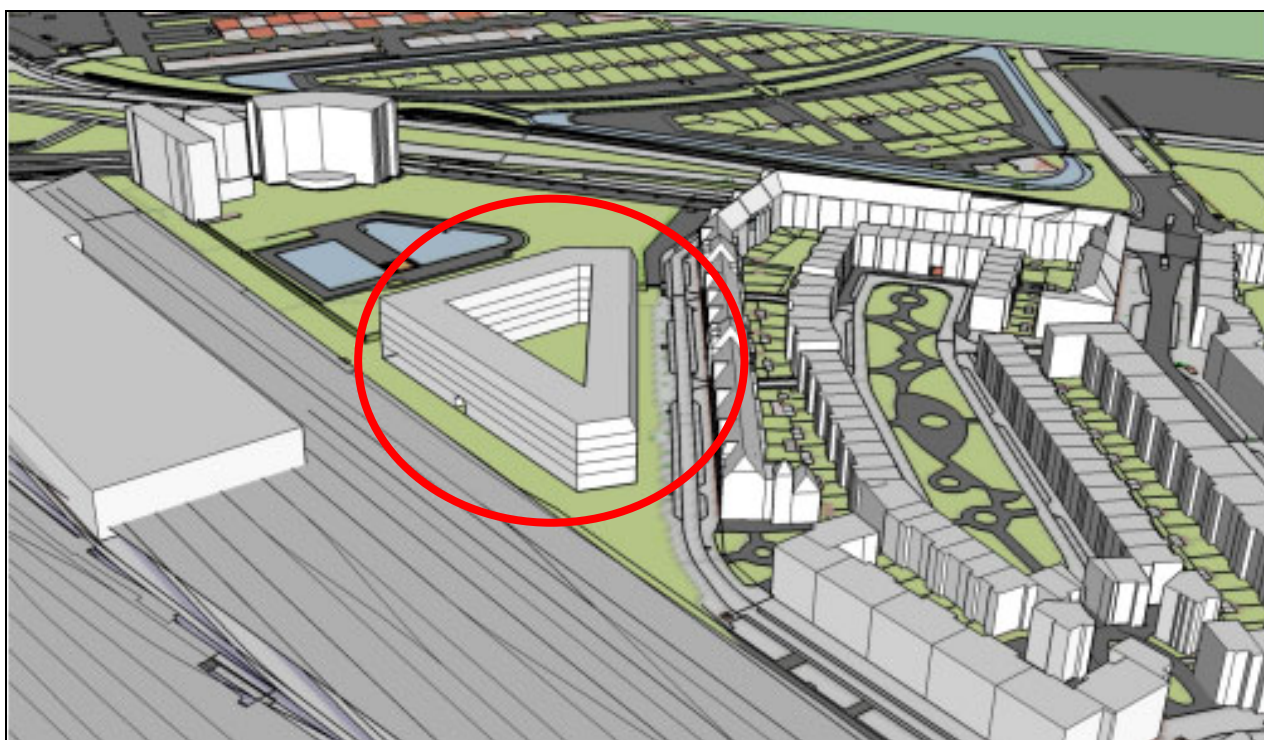
Tabel 2.1: Streefwaarden nieuwe situatie hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode maatgevend is voor de beoordeling van de trillingen. De streefwaarde A₂ (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het strengst en bedraagt 0,2. De voelbaarheidsgrens voor trillingen ligt rond de streefwaarde A₁ van 0,1.

2.3 Beschrijving situatie

Het projectgebied ligt op circa 22 meter afstand van het dichtstbij zijnde spoor. Binnen het projectgebied is een meerlaags appartementengebouw voorzien. Figuur 2.1 geeft een impressie van de nieuwbouw.



Figuur 2.1: Impressie ontwikkeling gebouw Bredius

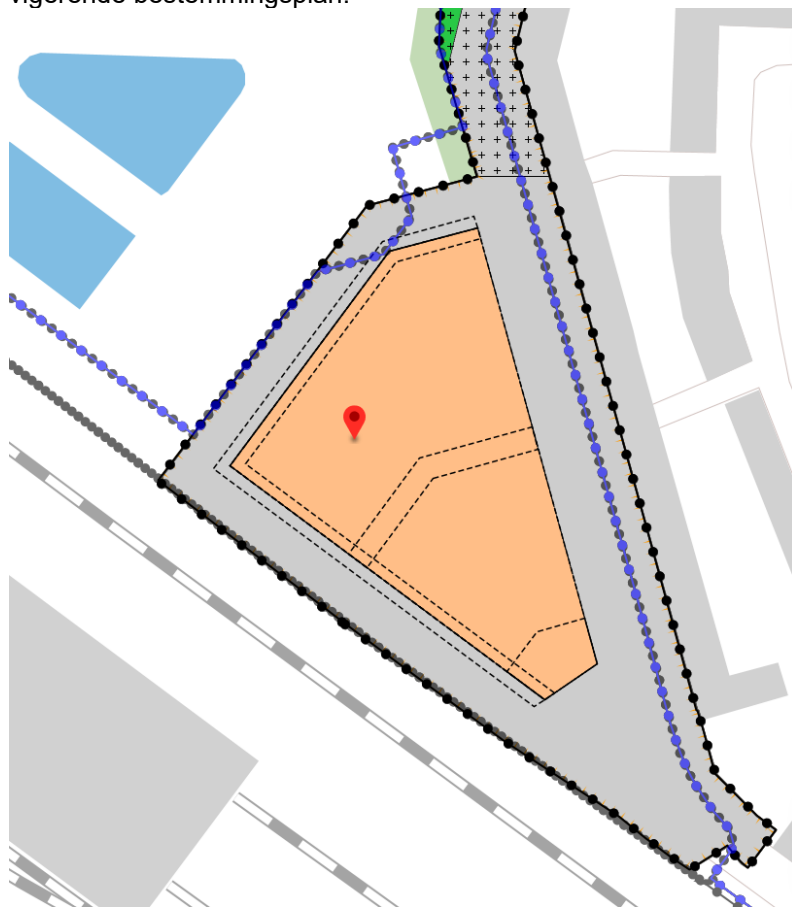
Het spoor ligt iets verhoogd ten opzichte van het maaiveld binnen het projectgebied. De locatie is ten tijde van het onderzoek dicht begroeid en bevat (verwilderde) volkstuinjes en openbaar gebied. Figuur 2.2 geeft het zicht op het spoor vanuit het projectgebied.



Figuur 2.2: Situatie bouwplan ten tijde onderzoek met zicht op het spoor

2.4 Bestemmingsplan

De projectlocatie maakt deel uit van het bestemmingsplan Bredius dat is vastgesteld op 18 september 2019. De bestemmingen binnen het gebied zijn gemengd met onder andere wonen, bedrijven aan huis, maatschappelijke voorzieningen, culturele voorzieningen en horeca. Figuur 2.3 toont een afbeelding van het vigerende bestemmingsplan.



Figuur 2.3: Uitsnede plankaart bestemmingsplan t Hout voor de projectlocatie Voorstadhalte (bron Ruimtelijkeplannen.nl)

In de toelichting bij het bestemmingsplan is een paragraaf over trillingen opgenomen (5.7). Hierin staat een aanbeveling: *“Aanbevolen wordt ervoor te zorgen dat het gebouw zodanig wordt ontworpen dat het zich 'gemiddeld' of beter dan 'gemiddeld' gedraagt op het aspect trillingen en dat daarmee wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties”.*

In de bestemmingsregels zijn geen voorwaardelijke verplichtingen opgenomen met betrekking tot trillingen.

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

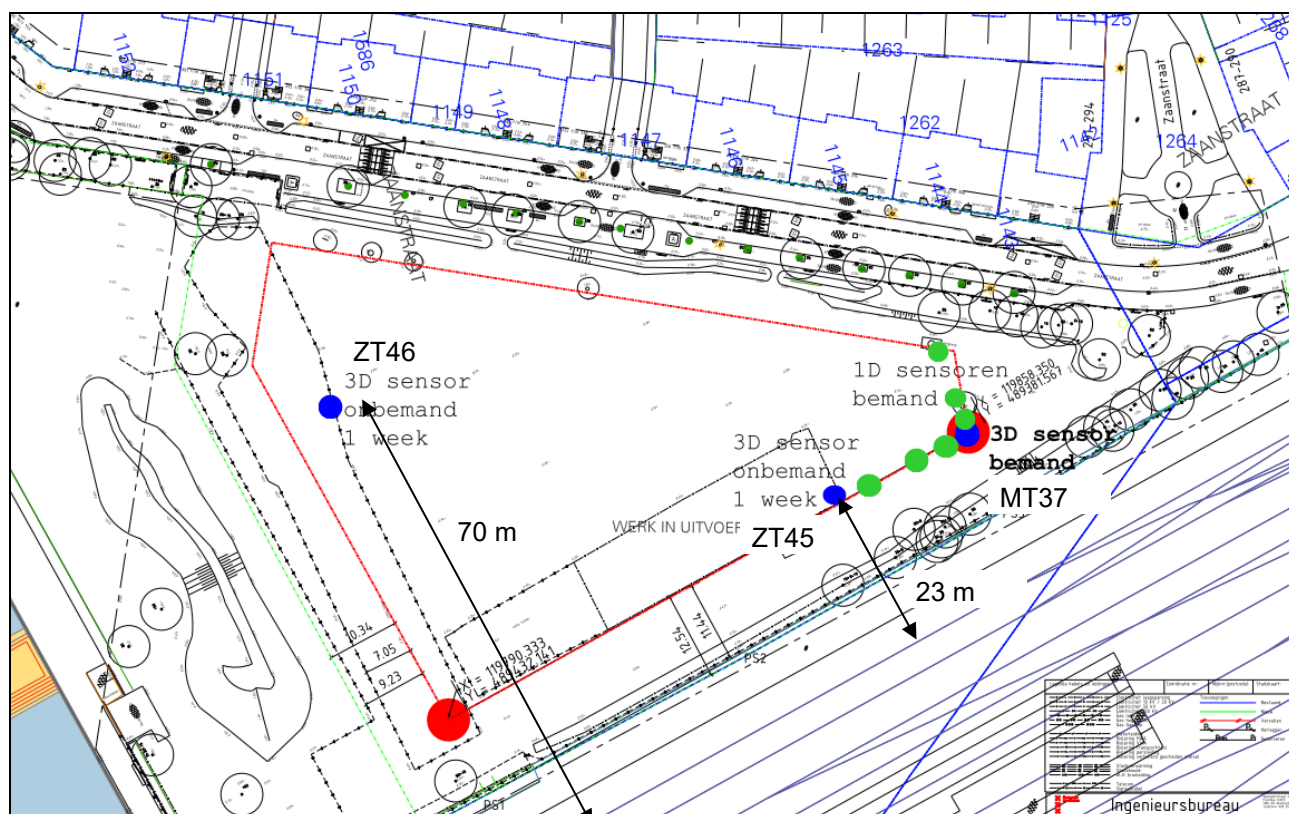
De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 6 november t/m 15 november 2019. Bij de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 5x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 3x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).
- 6x 1D trillingsopnemers (trillingssnelheid).

Alle trillingsmeters worden onderhouden op basis van het kwaliteitssysteem van Cauberg Huygen B.V. en zijn op basis van vier internet timeservers gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities algemeen

De meetpunten zijn zoveel mogelijk gekozen ter plaatse van de toekomstige fundering van het gebouw. Figuur 3.1 toont de meetposities. De blauw gemarkeerde meetpunten geven de posities van de 3D trillings-sensoren weer, de groen gemarkeerde meetpunten de posities van de 1D trillingssensoren.



Figuur 3.1: Overzicht meetposities

Op ieder 3D meetpunt is de trillingssnelheid op maaiveld gemeten in drie richtingen:

- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting).
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting).
- Verticaal (de Z-richting).

De 3D sensoren ZT45 en ZT46 zijn gebruikt voor de onbemande duurmetering van 9 dagen en geplaatst ter plaatse van de volkstuintjes zodat de meetpunten buiten het looppad lagen. De afstand tot het eerste spoor bedraagt respectievelijk 23 m en circa 70 meter. De 3D sensor MT37 en de 1D sensoren zijn alleen gebruikt voor de bemande metingen. De 1D sensoren meten alleen de verticale trillingen.

De trillingssensoren zijn ingegraven in de bodem zodat op de vaste grond is gemeten. De trillingssensoren zijn bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. De sensoren en de trillingsmeters zijn afgedekt met een plastic bak. Daarna is het gat dichtgegooid. Figuur 3.2 geeft als voorbeeld de opstelling voor meetpunt ZT45.



Figuur 3.2: Voorbeeld meetopstelling meetpunt ZT46 op maaiveld (links) en ZT45 ingegraven (rechts)

Voor de start van de metingen zijn de trillingsopnemers waterpas gezet.

3.3 Meetposities bemande metingen

De bemande metingen zijn uitgevoerd om de voortplantingssnelheid van de dominante trillingen door de bodem te bepalen. Rekening houdend met de dominante frequentie kan hieruit de golflengte worden bepaald. De golflengte is van belang in relatie tot de gebouwafmetingen en de kans op versterking van trillingen.

Om de voortplantingssnelheid te kunnen bepalen, is het noodzakelijk dat de trillingen van een treinpassage op verschillende afstanden gelijktijdig in tijd (tot 1 milliseconde nauwkeurig) worden gemeten. Daarom zijn de zes 1D meetpunten op verschillende afstanden van het centrale 3D meetpunt geplaatst. De afstanden tussen de 1D sensoren en de centrale 3D sensor bedroegen 1, 4 en 16 meter. De sensoren zijn op dezelfde wijze op maaiveld aangebracht als de 3D sensor.

3.4 Meetparameters

Elke 30 seconde is de trillingssterkte $V_{eff,max,30,i}$ bepaald. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand “fast”, waarbij de frequentieweging volgens de SBR richtlijn B is toegepast. Tevens is voor alle treinpassages waarvan het trillingsniveau een vooraf ingestelde trillingssnelheid overschreed (0,05), een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Dit tijdsignaal is gebruikt voor de bepaling van de dominante frequenties.

3.5 Treinen

Over het doorgaande spoor rijdt een groot aantal type reizigerstreinen zoals VIRM, SLT en ICM. Ook goederentreinen maken gebruik van het doorgaande spoor. De sporen van het emplacement worden vooral gebruikt voor het opstellen van reizigerstreinen. Ten tijde van de bemande metingen zijn nog twee passages uitgevoerd met een Sprinter Nieuwe Generatie (SNG) over de sporen die behoren tot het terrein van NedTrain.

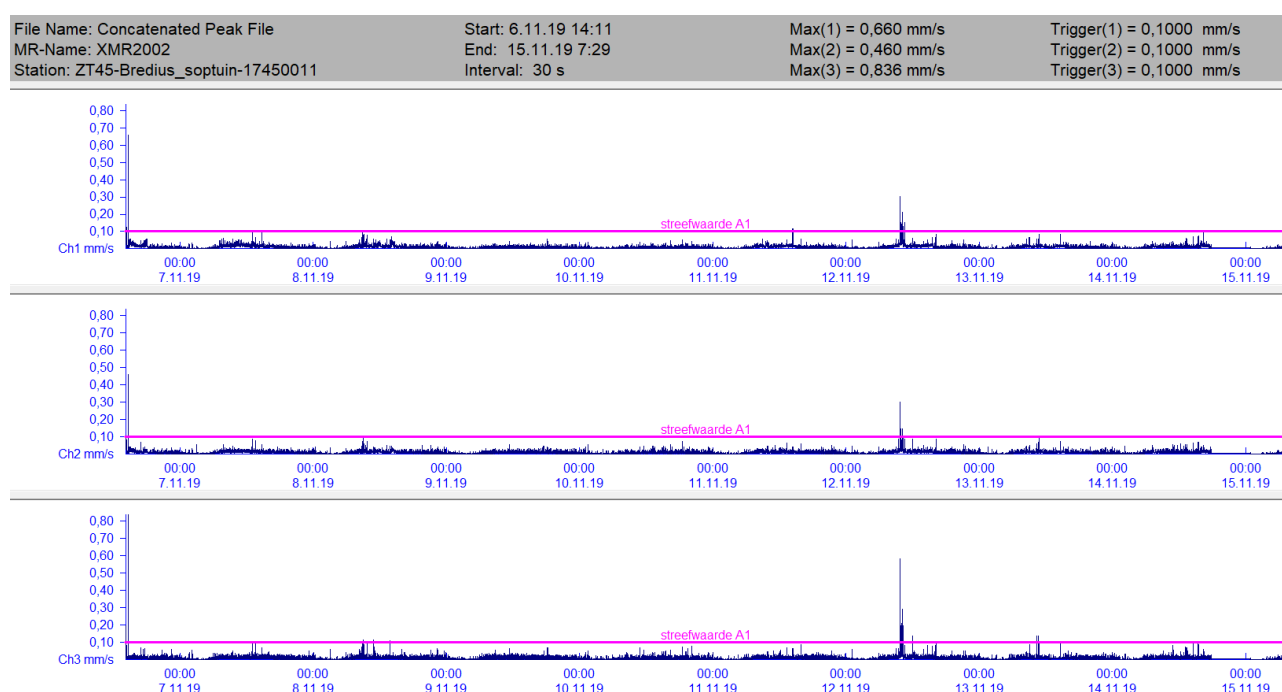
Gedurende de (on)bemande metingen is alleen het trillingsniveau geregistreerd. De rijsnelheid en het type passerende trein zijn niet geregistreerd. Tijdens de bemande metingen is het type trein wel geregistreerd.

4 Meetresultaten weekmetingen

4.1 Meetpunt ZT45 dicht bij spoor

4.1.1 Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$

Het verloop van de trillingssterkte v_{max} per periode van 30 seconden, is voor meetpunt ZT45 voor de hele meetperiode weergegeven in figuur 4.1. De bovenste en de middelste grafiek geven het verloop weer voor de horizontale trillingsrichtingen, de onderste grafiek het verloop van de trillingssterkte voor de verticale trillingsrichting. Bijlage I toont het verloop van $v_{\text{effmax},30,i}$ per periode van 24 uur zodat meer detailinformatie zichtbaar is. In de grafiek is door middel van een licht paarse lijn de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte ($A_1 = 0,1$) weergegeven. Een trillingssterkte onder 0,1 is voor de meeste mensen niet voelbaar.



Figuur 4.1: Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor het meetpunt ZT45 dicht bij het spoor

Uit figuur 4.1 blijkt dat over het algemeen de trillingssterkte op maaiveld ruim onder de 0,1 bedraagt. Ook is duidelijk dat er een paar uitschieters zichtbaar zijn met trillingssterkten rond de 0,1 tot 0,6. Voor deze momenten is onderzocht of de trillingssterkte is veroorzaakt door een treinpassage of door stoortrillingen zoals lopen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de opgeslagen tijdsignalen.

4.1.2 Tijdsignalen en frequentiespectra

Op basis van de meetresultaten uit figuur 4.1 (en bijlage I) zijn tijdstippen geselecteerd waarvoor tijdsignalen zijn opgezocht. Hierin zijn in ieder geval opgenomen de bewegingen van de SNG over de sporen van NedTrain. De onderzochte momenten zijn opgenomen in tabel 4.1. In de eerste kolom is datum en tijdstip van de trilling aangegeven, in de tweede kolom of sprake is van een treinpassage of van een andere trillingsbron. In de 3^e kolom is de trillingssterkte v_{max} aangegeven.

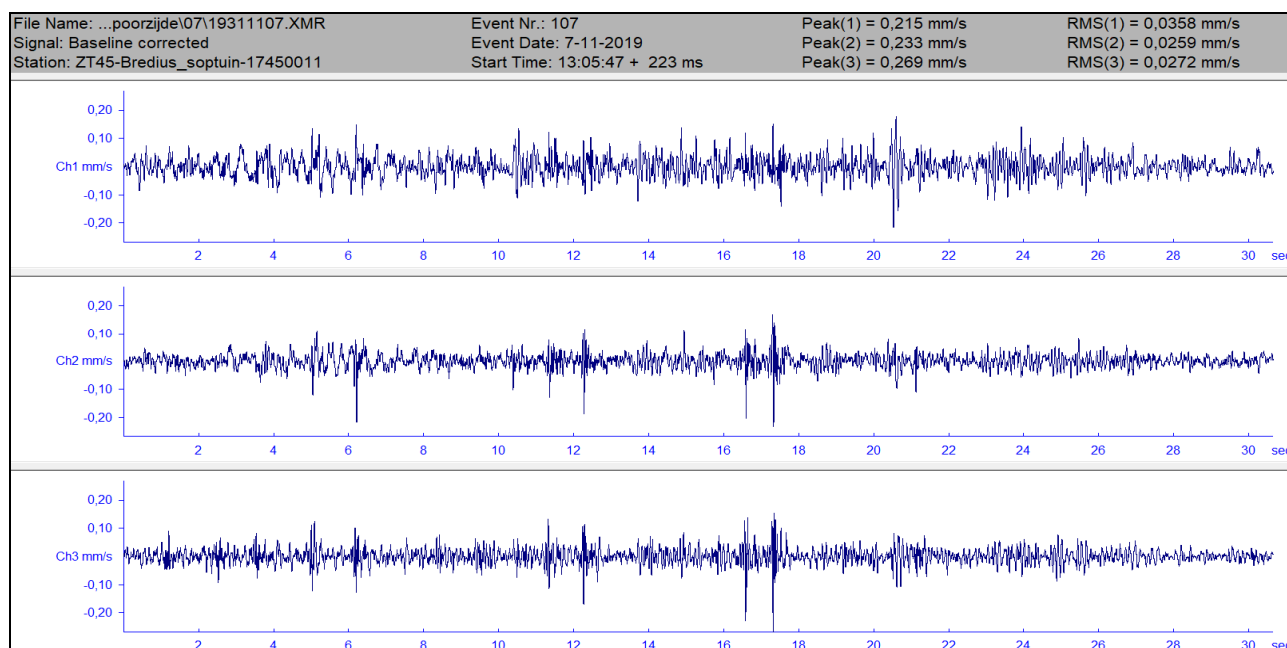
Tabel 4.1: Overzicht onderzochte tijdsignalen van pieken in de trillingssterkte

Datum en tijd	Bron	$v_{\max}$ [-]
7 november 13.05	passage SNG spoor 1 of 2 NedTrain (zie figuur 4.2 en 4.3)	0,09
7 november 13.32	passage SNG spoor 5 NedTrain (zie figuur 4.4)	0,10
8 november 09.01	Trein (zie figuur 4.5), trillingsenergie in 8 tot 25 Hz tertsband	0,12
8 november 10.52	Naar verwachting trein over doorgaand spoor. Alleen trilling in 5 en 6,3 Hz tertsband	0,12
8 november 13.46	Naar verwachting trein over doorgaand spoor. Alleen trilling in 5 en 6,3 Hz tertsband	0,11
10 november 10.47	Trein, vooral 6,3 Hz tertsband dominant	0,07
10 november 20.13	Naar verwachting trein over doorgaand spoor. Alleen trilling in 5 en 6,3 Hz tertsband	0,08
12 november 09.45	Stoortrillingen waarschijnlijk lopen	0,58
12 november 10.14	Stoortrillingen, bron onbekend	0,29
13 november 10.39	Naar verwachting trein over doorgaand spoor. Alleen 6,3 Hz tertsband.	0,14
13 november 14.36	Trein waarschijnlijk over spoor 1 of 2. Aspassages wissel zichtbaar	0,10
14 november 14.36	Trein waarschijnlijk over spoor 1 of 2. Aspassages wissel zichtbaar	0,10

Uit tabel 4.1 volgt dat treinpassages over spoor 1 of 2 zorgen voor een $v_{\max}$ van ordegrootte 0,1 door de passage over de wissel. De wissel zorgt voor duidelijke pieken in het trillingsniveau. Figuur 4.2 geeft een voorbeeld.

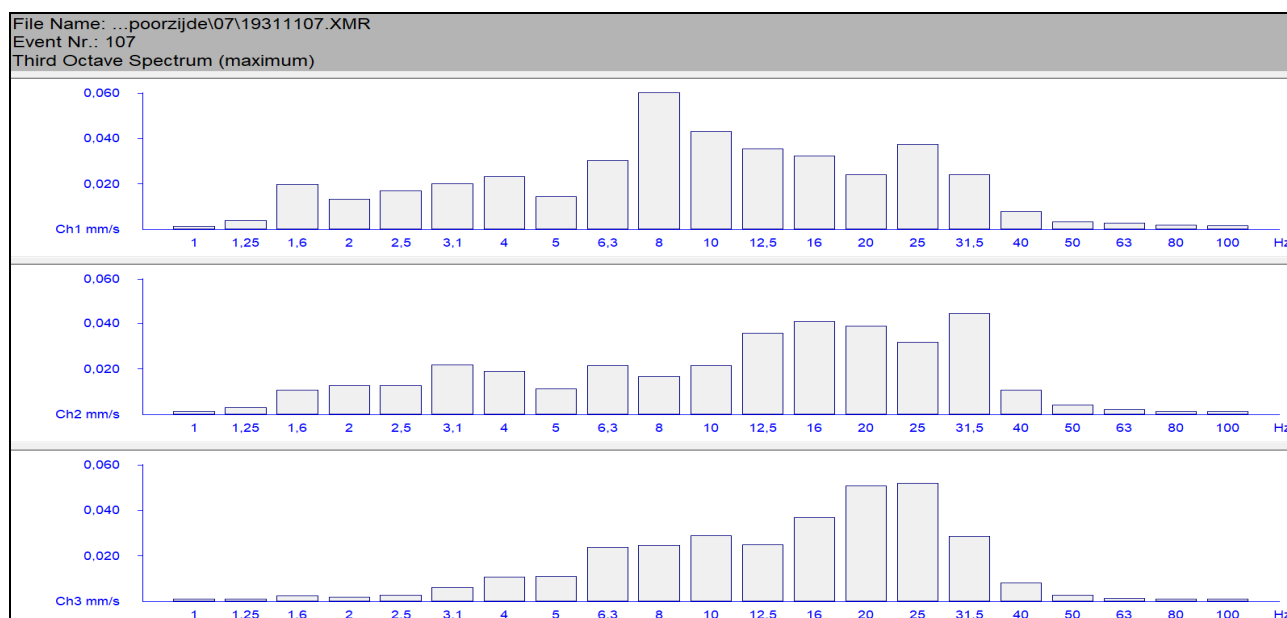
De meetresultaten bevatten ook een aantal tijdsignalen die niet afkomstig zijn van wegverkeer of lopen of andere lokale bronnen. Op basis van het trillingspatroon is het de verwachting dat deze trillingen afkomstig zijn van treinen over het doorgaande spoor dat op grote afstand ligt. Deze trillingen zorgen voor een $v_{\max}$ tussen 0,12 en 0,14. Het patroon in het tijdsignaal laat resonantie zien in de 5 of 6,3 Hz tertsband. De trillingssterkten van 0,29 en 0,58 zijn veroorzaakt door stoortrillingen, mogelijk lopen of activiteiten nabij het meetpunt.

In de figuren 4.2 t/m 4.5 is een aantal voorbeelden opgenomen van tijdsignalen en spectra van treinen. De passage van de SNG om 13.05 leidt tot het in figuur 4.2 weergegeven tijdsignaal.



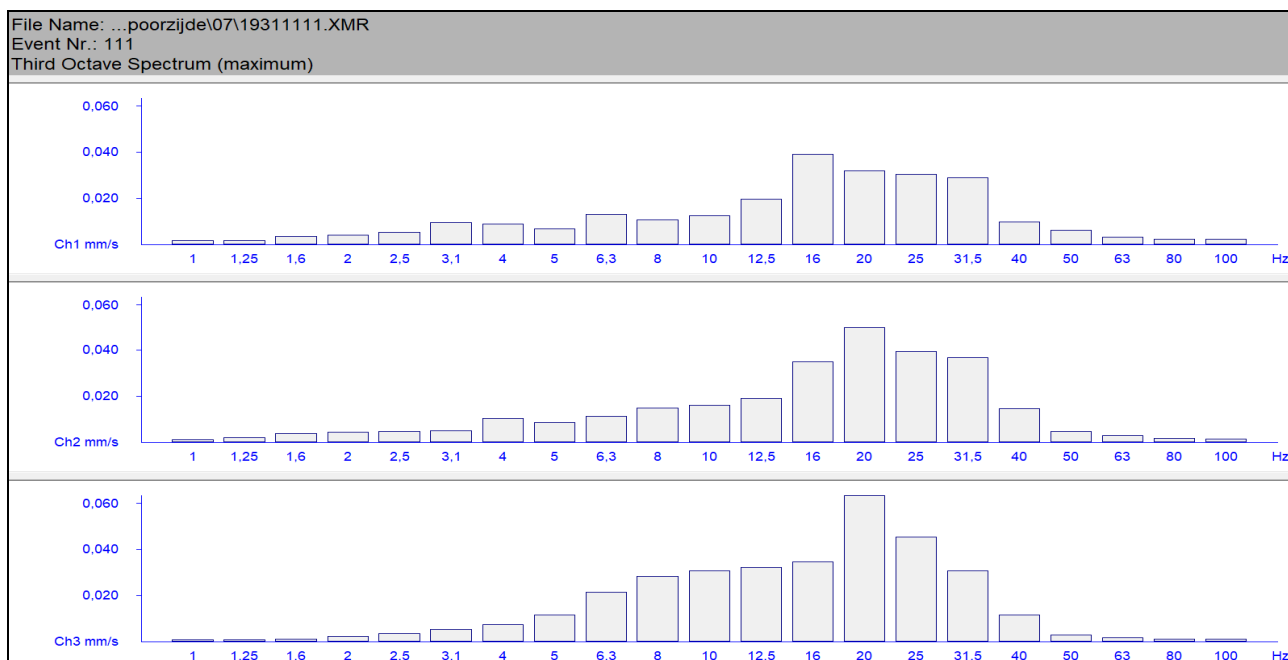
Figuur 4.2: Passage SNG op meetpunt ZT45 bij het spoor

In het tijdsignaal zijn duidelijk de pieken te zien als de assen de wissel in spoor 1 of 2 passeert. Deze passage leidt tot het peakhold spectrum dat is weergegeven in figuur 4.3.



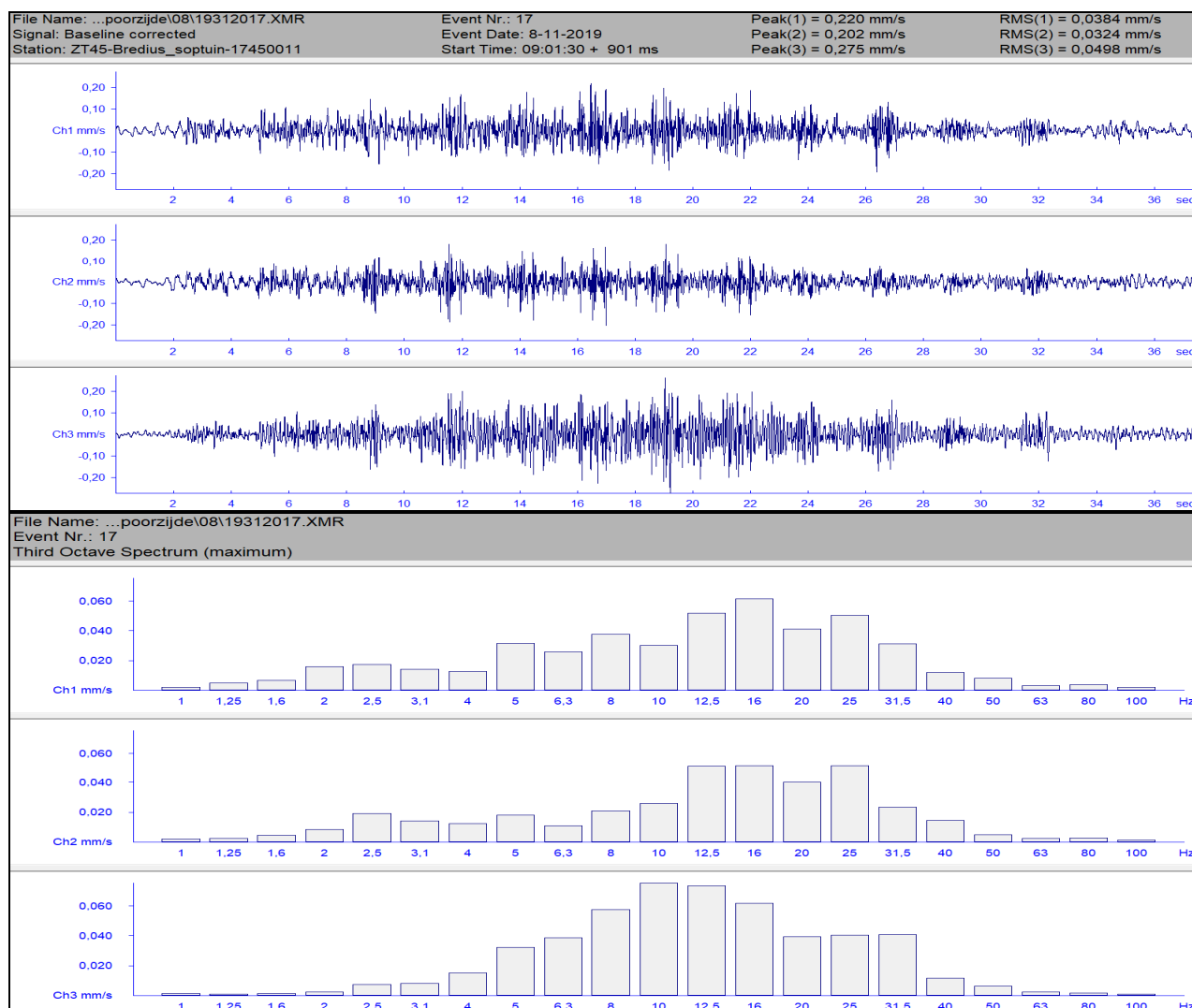
Figuur 4.3: Peakhold spectrum passage SNG

Uit figuur 4.3 volgt dat op deze korte afstand de frequentiebanden van 16, 20 en 25 Hz van belang zijn voor de verticale trillingen en 8 en 10 Hz in de horizontale richting dwars op het spoor. Het spectrum van de passage om 13.32 uur is vergelijkbaar zoals figuur 4.4 laat zien. Ook hier zijn de 20 en 25 Hz tertsband belangrijk.



Figuur 4.4: Peakhold spectrum treinpassage SNG 13.32 uur

De passage op 8 november 09.01 met een $v_{\max}$ van 0,12 is ook veroorzaakt door een trein. Figuur 4.5 laat het tijdsignaal (boven) en het peakhold spectrum (onder) zien.



Figuur 4.5: Tijdsignaal en peakhold spectrum treinpassage met $v_{\max}$ van 0,12

4.1.3 Samenvattend

De meetresultaten tonen aan dat bij het ontwerp van het gebouw rekening moet worden gehouden met een $v_{\max}$ van circa 0,12 op maaiveld en een breed frequentiespectrum (10 tot 31,5 Hz tertsband). Daarnaast zorgen treinpassages op grote afstand voor een trillingssterkte van 0,14 bij een frequentie van 5 en 6,3 Hz.

4.2 Meetresultaten ZT46 straatzijde

4.2.1 Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$

Het verloop van de trillingssterkte $v_{\max}$ per periode van 30 seconden, is voor meetpunt ZT46 voor de hele meetperiode weergegeven in figuur 4.6. De bovenste en de middelste grafiek geven het verloop weer voor de horizontale trillingsrichtingen, de onderste grafiek het verloop van de trillingssterkte voor de verticale trillingsrichting. Bijlage II toont het verloop van $v_{\text{effmax},30,i}$ per periode van 24 uur zodat meer detailinformatie zichtbaar is. In de grafiek is door middel van een licht paarse lijn de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte ($A_1 = 0,1$) weergegeven. Een trillingssterkte onder 0,1 is voor de meeste mensen niet voelbaar.



Figuur 4.6: Verloop $v_{\text{effmax},30,i}$ voor meetpunt ZT46 op 70 meter van spoor

Uit figuur 4.6 volgt dat de trillingssterkte $v_{\text{effmax},30,i}$ over het algemeen onder een waarde van 0,05 ligt. Deze waarde is laag genoeg om geen probleem meer te vormen voor de trillingssterkte in het toekomstige gebouw rekening houdend met een verdere verzwakking door de overgang van bodem naar fundering en een (kleine) versterking door de eigenfrequenties van de vloeren.

De pieken in de trillingssterkte in ordegrrootte van 0,08 zijn veroorzaakt door lokale verstoringen.

4.2.2 Samenvatting meetpunt ZT46

De trillingssterkte op 70 meter afstand van het spoor is laag genoeg om geen rekening mee te hoeven houden bij het ontwerp van het gebouw.

5 Resultaat bemande meting golflengte

5.1 Inleiding

In memo 00985-45357-02 d.d. 14 november 2018 is aanbevolen om bij het ontwerp van het gebouw te voorkomen dat de globale gebouwafmetingen ongeveer gelijk zijn aan de halve golflengte van de dominante trillingsfrequenties in de bodem.

De golflengte kan per frequentie bepaald worden op basis van de voortplantingssnelheid van trillingen in de bodem. De trillingssnelheden zijn daarbij synchroon gemeten op verschillende punten op verschillende afstanden. Vervolgens is op basis van de overdracht tussen de verschillende punten de faserelatie vastgesteld.

De voortplantingssnelheid is bepaald op basis van een aantal heeldrops bij het centrale meetpunt MT37 (zie figuur 3.1). De heeldrop zorgt voor een pulsvormig signaal dat in tijd steeds een fractie later aankomt naar mate de trillingssensor verder weg is gelegen van de positie van de heeldrop.

5.2 Resultaat voortplantingssnelheid

De meetresultaten tonen aan dat tot circa 20 Hz sprake is van een sterke verstoring van de faserelatie. Dit is mogelijk veroorzaakt doordat de heeldrop op grotere afstand van de bron voor onvoldoende signaalsterkte heeft gezorgd waardoor geen goede overdracht is te meten. Tussen circa 20 en 40 Hz wordt voor de sensor op 16 meter afstand van de referentiesensor een coherent beeld gevonden en tussen circa 30 en 55 Hz voor de sensor op 4 meter afstand.

Op basis van het faseverschil in bovengenoemde frequentiegebieden is de voortplantingssnelheid berekend. Onderstaande tabel 5.1 geeft een samenvatting van de resultaten. Per meetpunt en frequentiegebied is voor elke heeldrop de berekende voortplantingssnelheid weergegeven.

Tabel 5.1: Voortplantingssnelheid van trillingen in de bodem

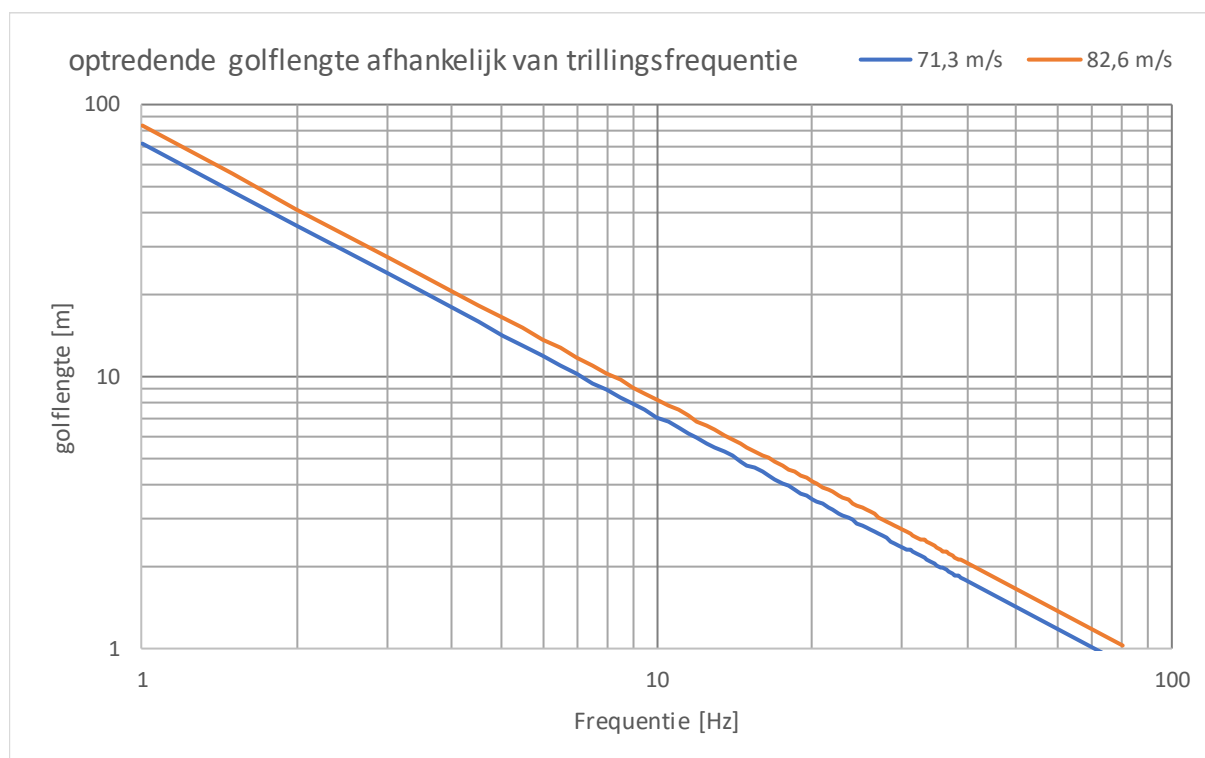
afstand	Frequentiegebied [Hz]	Voortplantingssnelheid trillingen in de bodem c [m/s]			
		16:07:10	16:08:10	16:08:54	gemiddeld
op 4 m	30 - 55 Hz	70,5	62,3	80,9	71,3
op 16 m	20 - 40 Hz	75,5	88,0	84,3	82,6

5.3 Resultaat golflengte

De golflengte λ van trillingen in de bodem kent een directe relatie met de voortplantingssnelheid c en de trillingsfrequentie f (in Hz):

$$\lambda = c / f$$

Figuur 5.1 geeft deze relatie grafisch weer voor beide berekende voortplantingssnelheden. Op de horizontale as staat de frequentie weergegeven en op de verticale as de bijbehorende golflengte.



Figuur 5.1: Grafisch verloop golflengte met dominante frequentie

Uit figuur 5.1 blijkt bijvoorbeeld dat een frequentie van 6 Hz een golflengte heeft van circa 11 tot 13 meter. Bij een frequentie van 20 Hz heeft een golflengte van 3,5 tot 4 meter.

5.4 Advies

Ter voorkoming van hinderlijke trillingen in het gebouw is de aanbeveling om in het ontwerp ervoor te zorgen dat de afmetingen van (de hoofd delen in) het gebouw, circa een factor 2 of meer hoger of lager zijn dan de halve golflengte bij de dominante trillingsfrequenties.

De volgende beoordelingsmethode kan hierbij gevolgd worden:

1. Voor welke golflengte is het gebouw gevoelig? (2x de hoofdafmeting van het gebouw).
2. Welk dominant frequentiegebied betreft dit? (zie bovenstaande figuur 5.1).
3. Is in dit frequentiegebied een dominante trillingsenergie aanwezig?
4. Zo niet: geen hinderlijke trillingen te verwachten als gevolg van de kanteling van het gebouw op de trillinggolven.
5. Zo ja: bereken de te verwachten trillingen in het gebouw als gevolg van de aangeleverde trillingsdata.

Voorbeeld: de breedte van het gebouw bedraagt circa 12 meter. Dit levert een golflengte op van 2 maal 12 is 24 meter. Bij 24 meter heeft een frequentie van 3 tot 3,5 Hz (afhankelijk van de gebruikte voortplantingssnelheid). Uit de meetresultaten (hoofdstuk 4) blijkt weinig aanstoting bij 3,5 Hz dus de kans op hinderlijke trillingen is voor deze gebouwmaat klein.

Daarnaast moet bij hoge gebouwen worden beoordeeld of de horizontale resonantiefrequentie van het gebouw wordt aangestoten. Ter beoordeling daarvan kan de volgende methode worden gevolgd:

1. Bepaald de horizontale resonantiefrequentie van het gebouw.
2. Bepaal de golflengte van trillingen in de bodem zoals die bij deze frequentie op zal treden.
3. Bepaal op basis van de verhouding tussen golflengte en gebouwfmeting de overdrachtsfactor van trillingen op het gebouw bij deze frequentie.
4. Bepaald de te verwachten trillingsniveaus in het gebouw op basis van de aangeleverde trillingsdata, de overdrachtsfactor in het gebouw en de versterkingsfactor door de horizontale resonantie van trillingen.

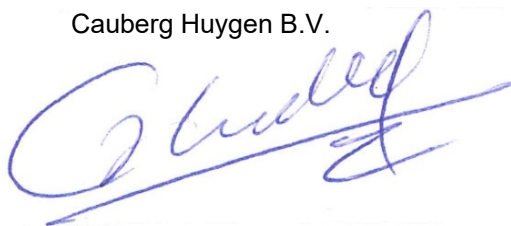
Opgemerkt wordt dat de trillingen als gevolg van kanteling en/ of horizontale resonantie, opgeteld moeten worden bij de trillingen die bij andere frequenties worden verwacht als gevolg van de 'normale' trillingsoverdracht op en in het gebouw.

6 Conclusie en advies

Het trillingsonderzoek naar de invloed van treinverkeer voor de locatie Bredius leidt tot de volgende conclusies:

1. De ontwerpers van de gebouwen dienen voor het bouwdeel op de kortste afstand van het spoor rekening te houden met een trillingsterkte $v_{\max}$ in ordegrootte van circa 0,12 op maaiveld en een breed frequentiespectrum (10 tot 31,5 Hz tertsband).
2. Daarnaast zorgen treinpassages op grote afstand voor een trillingssterkte van 0,14 bij een frequentie van 5 en 6,3 Hz.
3. Op een afstand van 70 meter van het spoor hoeft in het ontwerp van het gebouw geen rekening meer te worden gehouden met de trillingen door het treinverkeer. De gemeten trillingssterkte op maaiveld ligt in ordegrootte 0,05 of lager.
4. Hoofdstuk 5 bevat aanbevelingen voor de controle van de gebouwafmetingen met het oog op kanteling van het gebouw door horizontale trillingen.

Cauberg Huygen B.V.



De heer C.J. Ostendorf
Senior Adviseur

Bijlage I

Bijlage I-1 Meetresultaten meetpunt ZT45

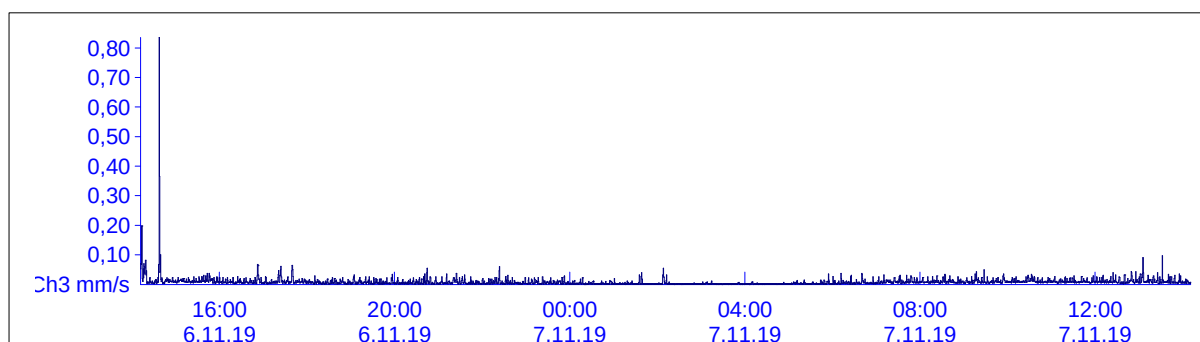
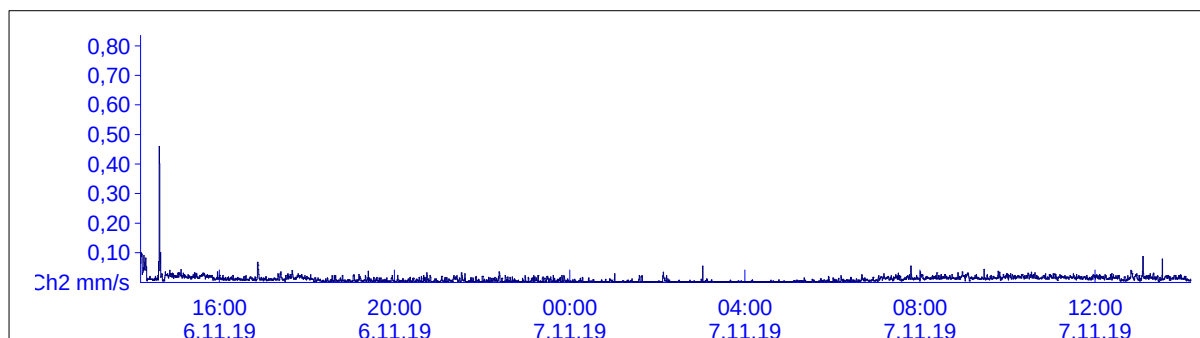
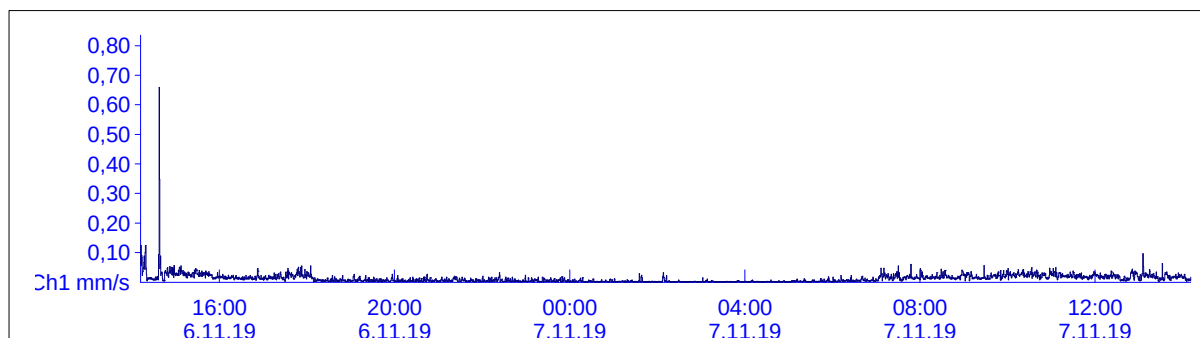
Bijlage I-2 Getalsmatige weergave frequentiespectra ZT45

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19310001.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 6.11.19 14:11
End: 7.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,660 mm/s
Max (2): 0,460 mm/s
Max (3): 0,836 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 6 november tot 7 november

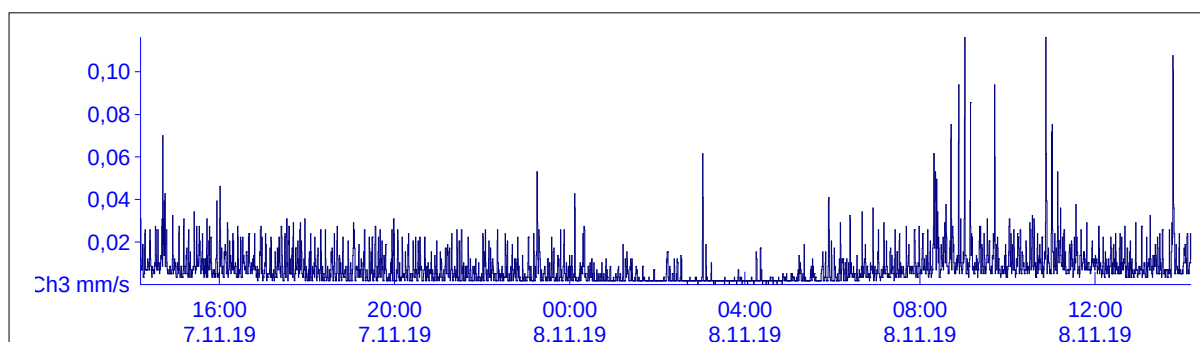
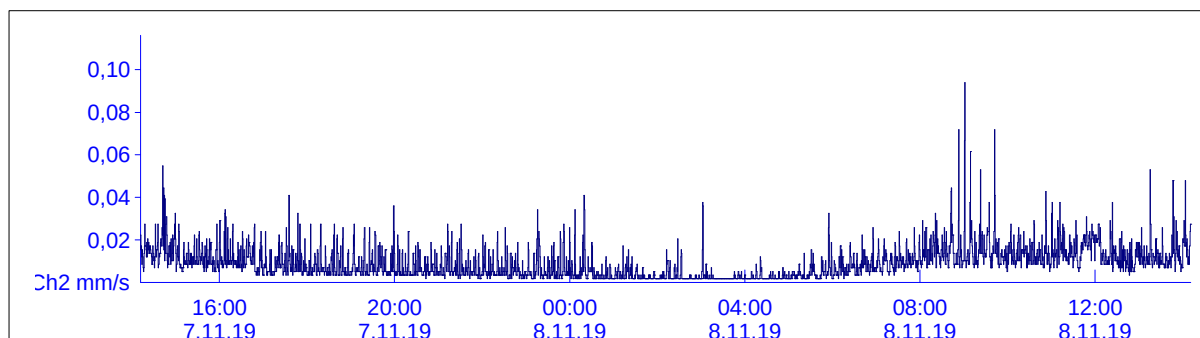
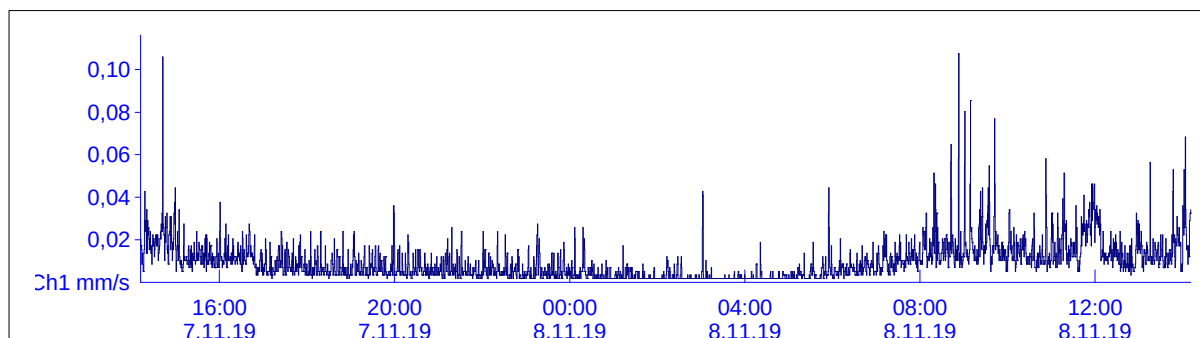
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19311002.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 7.11.19 14:11
End: 8.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,108 mm/s
Max (2): 0,0940 mm/s
Max (3): 0,116 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 7 november tot 8 november

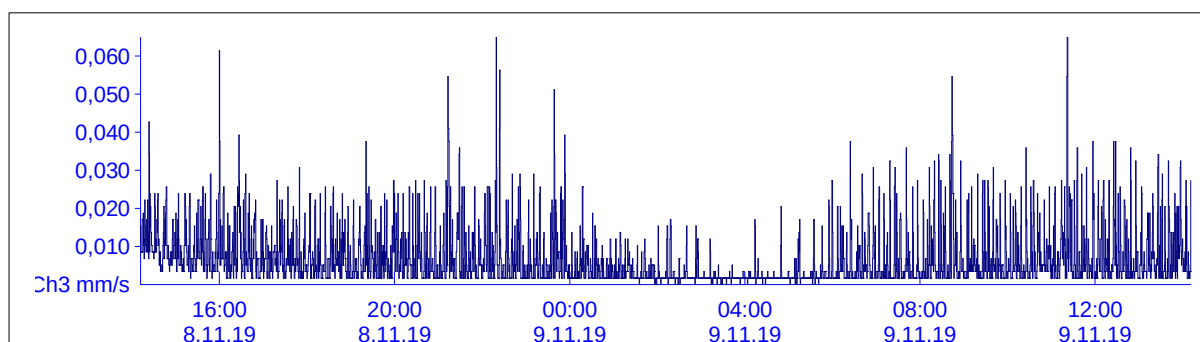
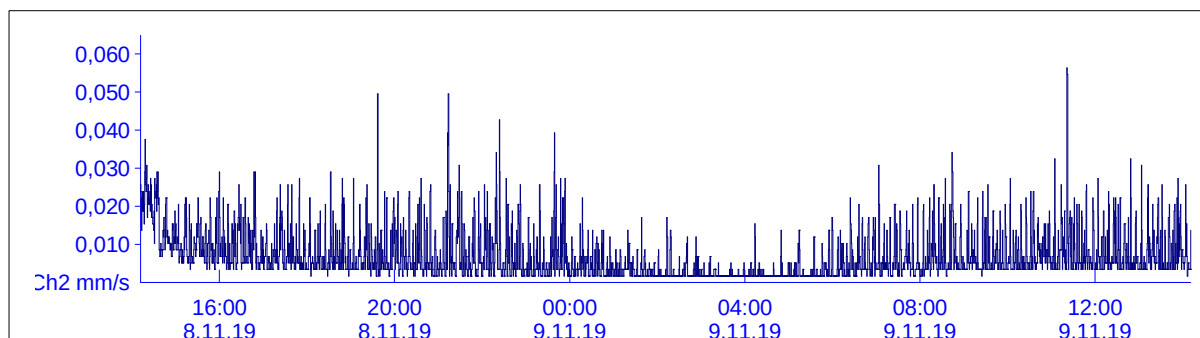
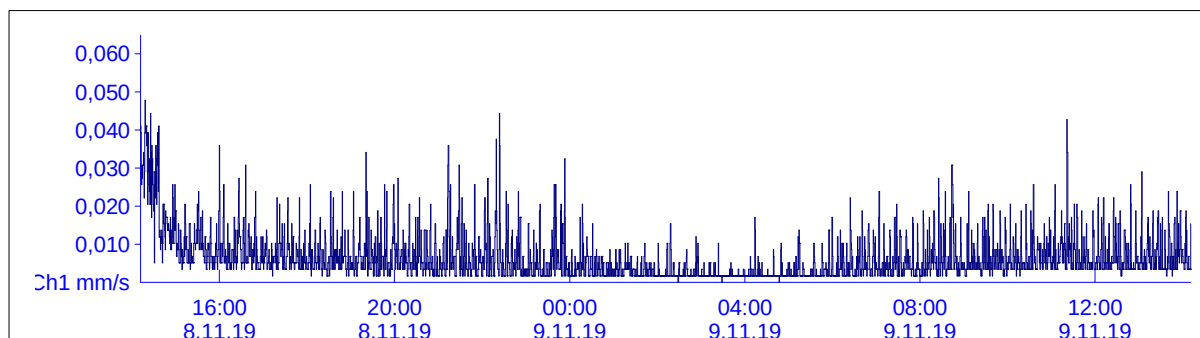
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19312003.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 8.11.19 14:11
End: 9.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,0478 mm/s
Max (2): 0,0564 mm/s
Max (3): 0,0649 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 8 november tot 9 november

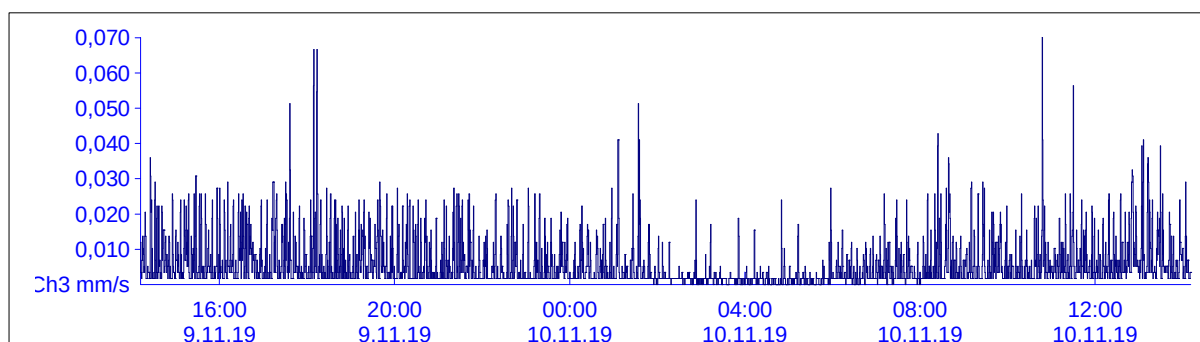
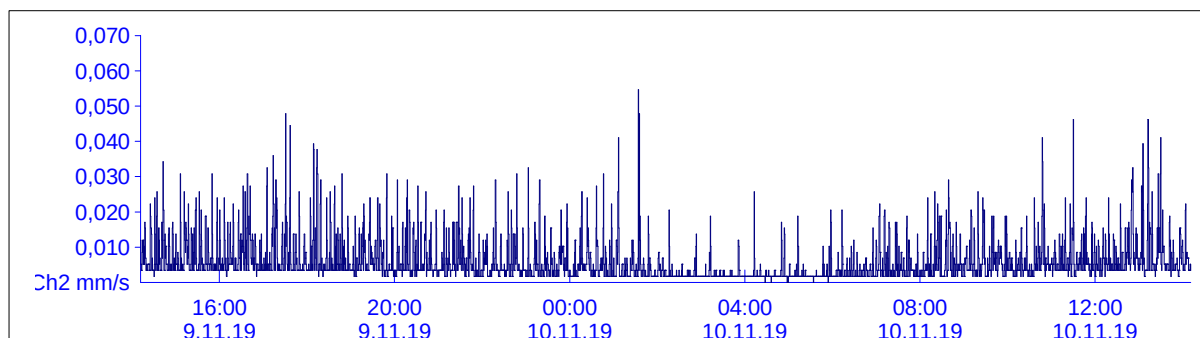
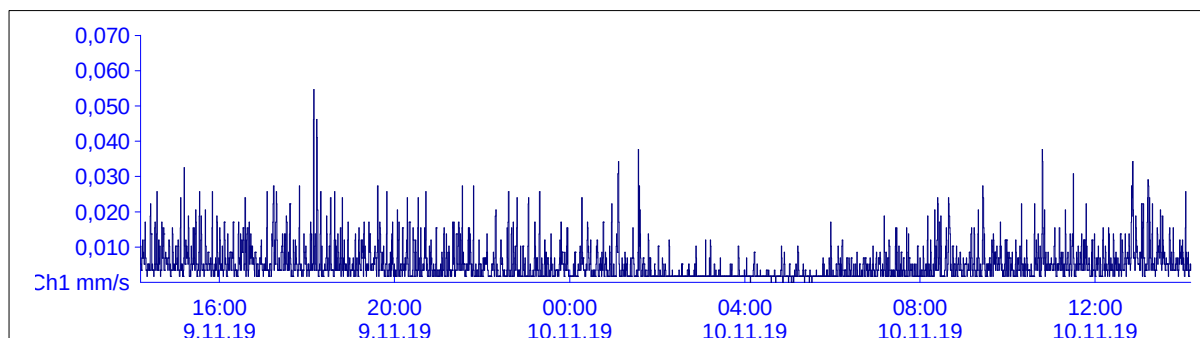
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19313004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 9.11.19 14:11
End: 10.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,0547 mm/s
Max (2): 0,0547 mm/s
Max (3): 0,0701 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 9 november tot 10 november

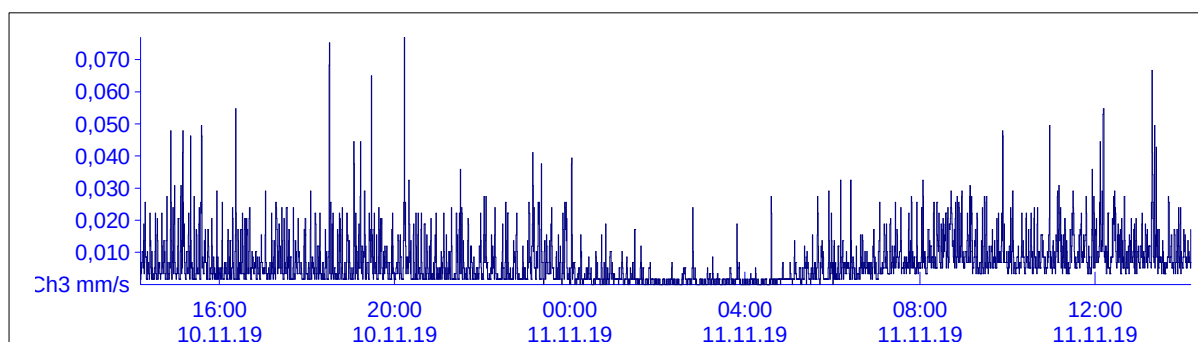
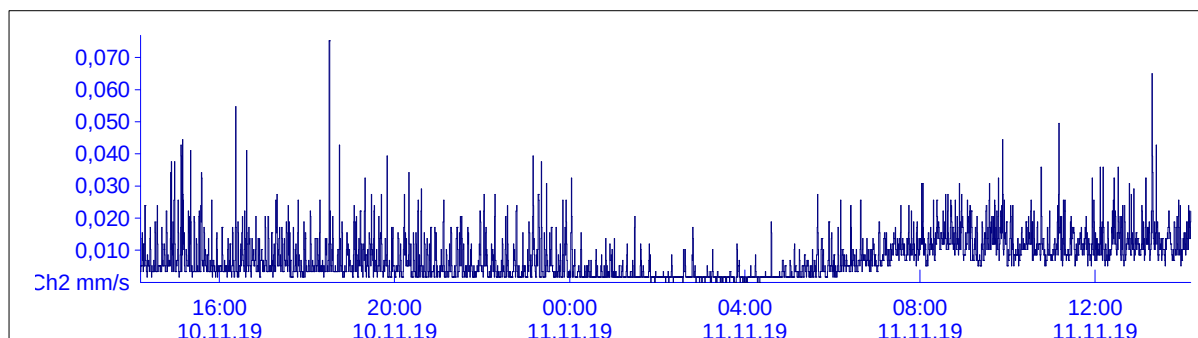
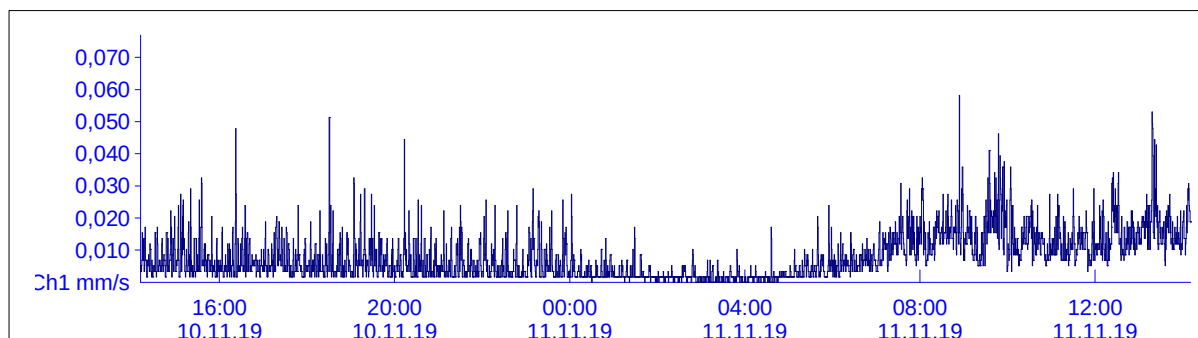
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19314005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 10.11.19 14:11
End: 11.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,0581 mm/s
Max (2): 0,0752 mm/s
Max (3): 0,0769 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 10 november tot 11 november

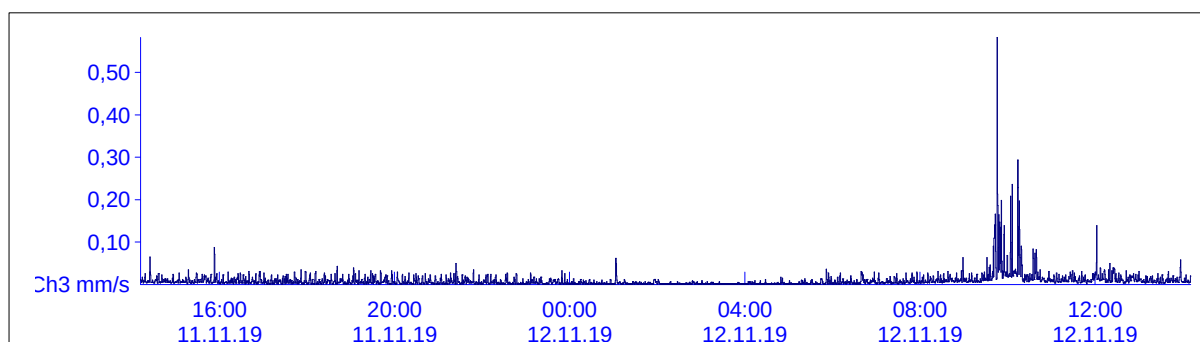
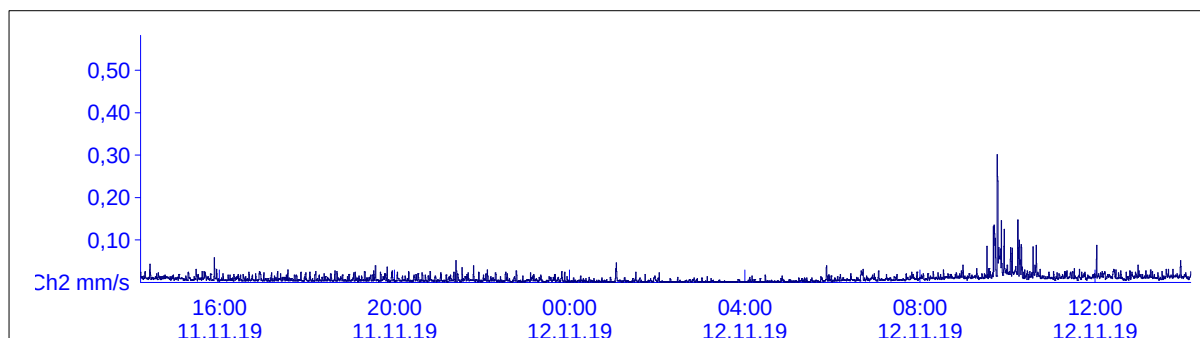
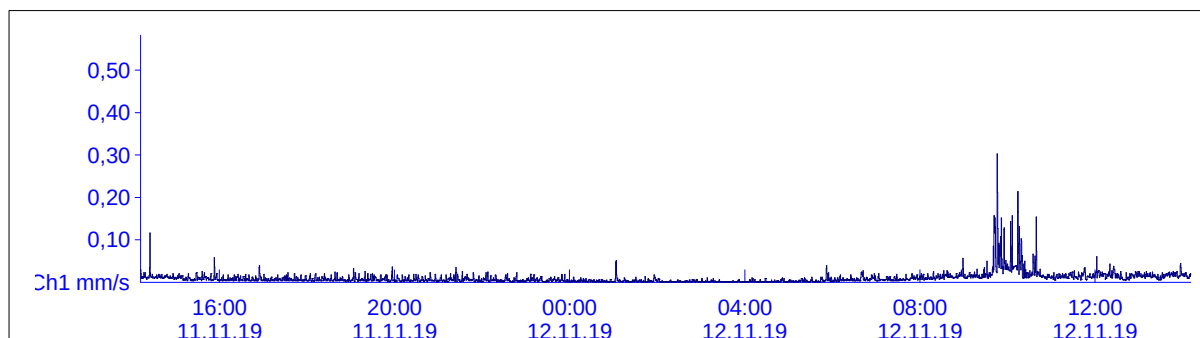
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19315006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 11.11.19 14:11
End: 12.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,302 mm/s
Max (2): 0,301 mm/s
Max (3): 0,583 mm/s

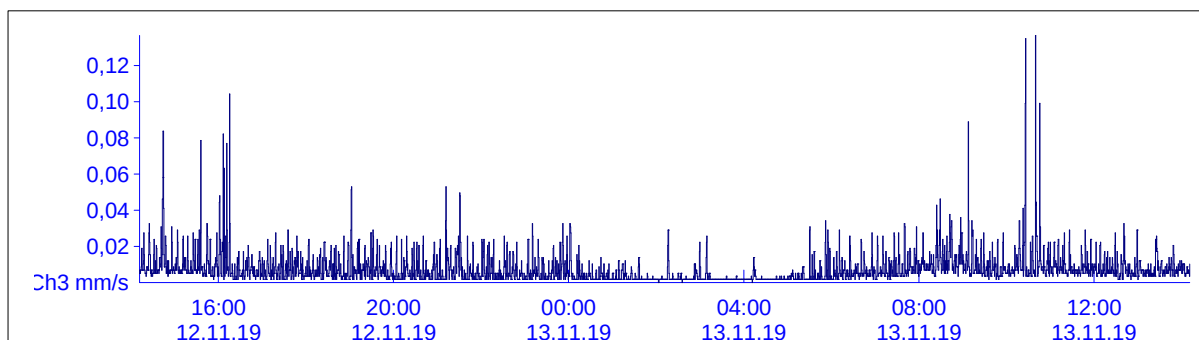
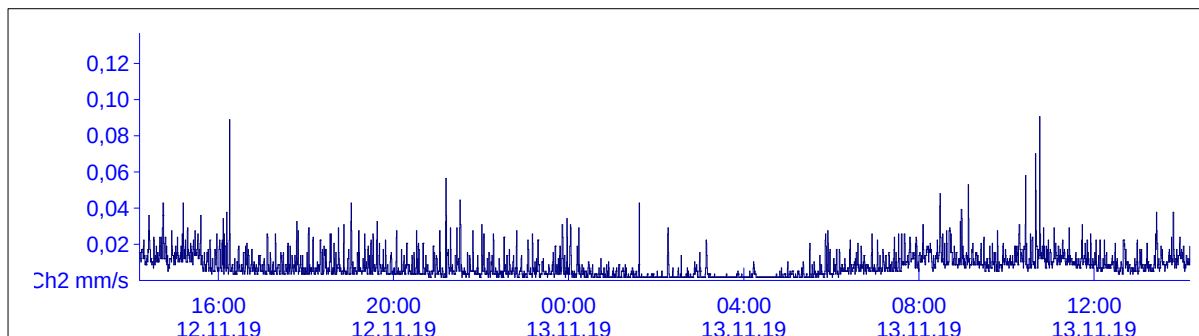
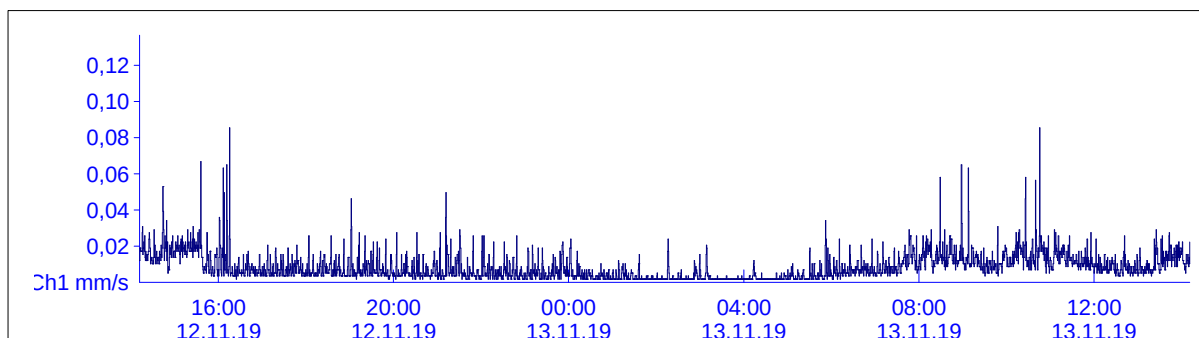


Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 11 november tot 12 november

Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name:	... achtergrond\19316007.BMR	Start:	12.11.19 14:11	Max (1):	0,0854 mm/s
MR-Name:	XMR2002	End:	13.11.19 14:11	Max (2):	0,0906 mm/s
Station:	ZT45-Bredius_soptuin-17450011	Interval:	30 s	Max (3):	0,137 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 12 november tot 13 november

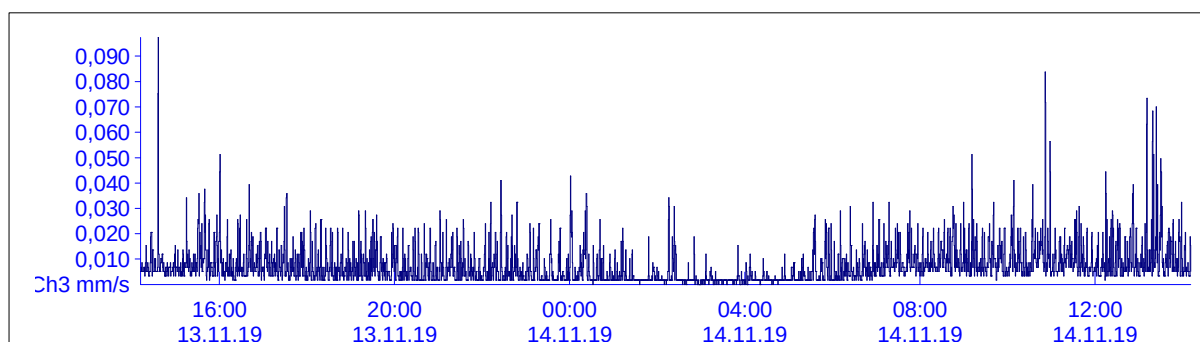
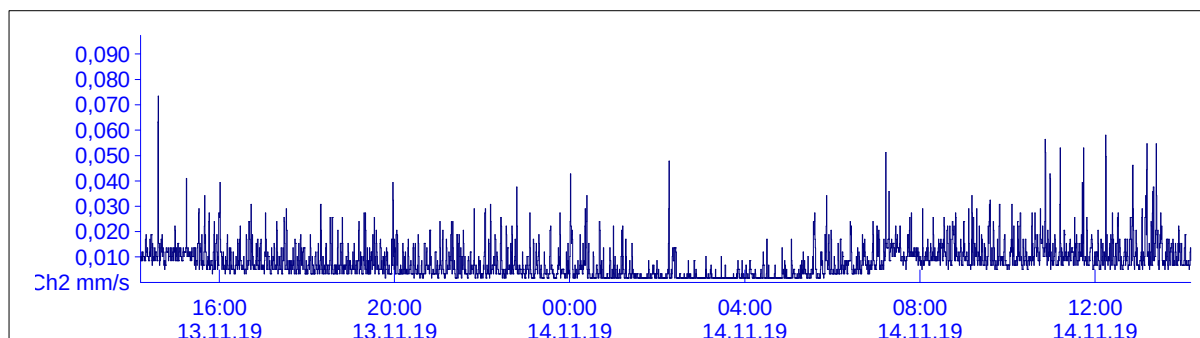
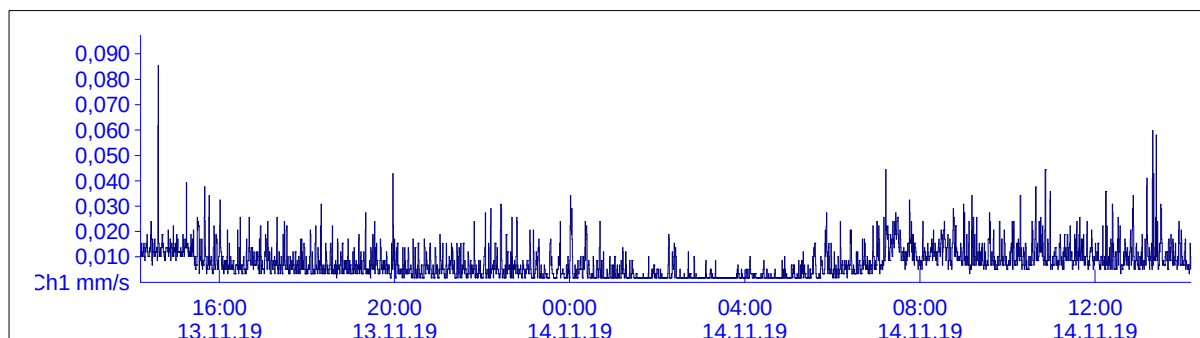
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19317008.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 13.11.19 14:11
End: 14.11.19 14:11
Interval: 30 s

Max (1): 0,0854 mm/s
Max (2): 0,0735 mm/s
Max (3): 0,0974 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 13 november tot 14 november

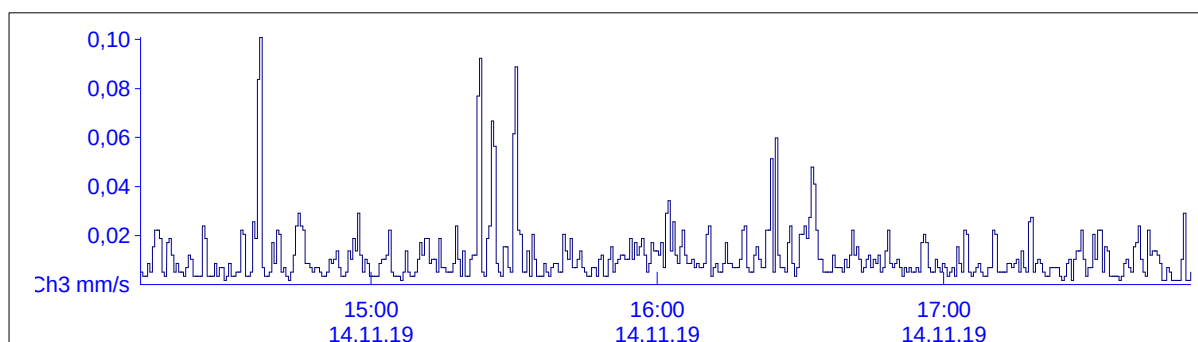
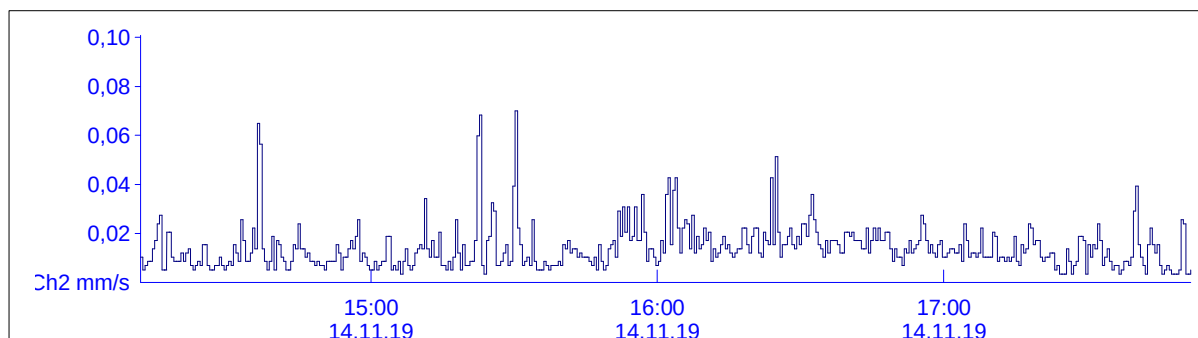
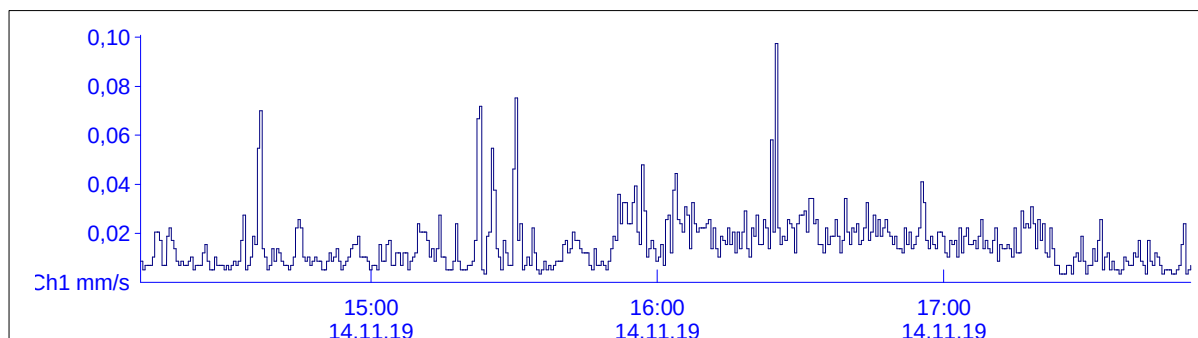
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19318009.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 14.11.19 14:11
End: 14.11.19 17:51
Interval: 30 s

Max (1): 0,0974 mm/s
Max (2): 0,0701 mm/s
Max (3): 0,101 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 14 november 14.11 tot 14 november 17.51

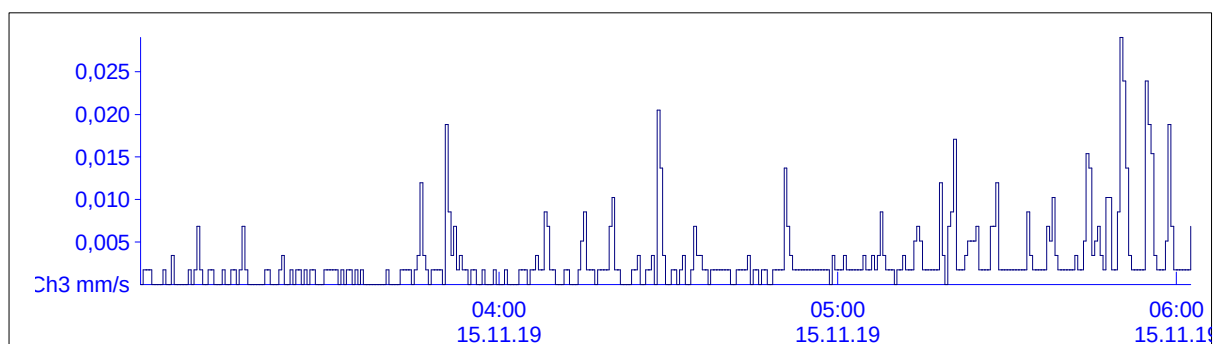
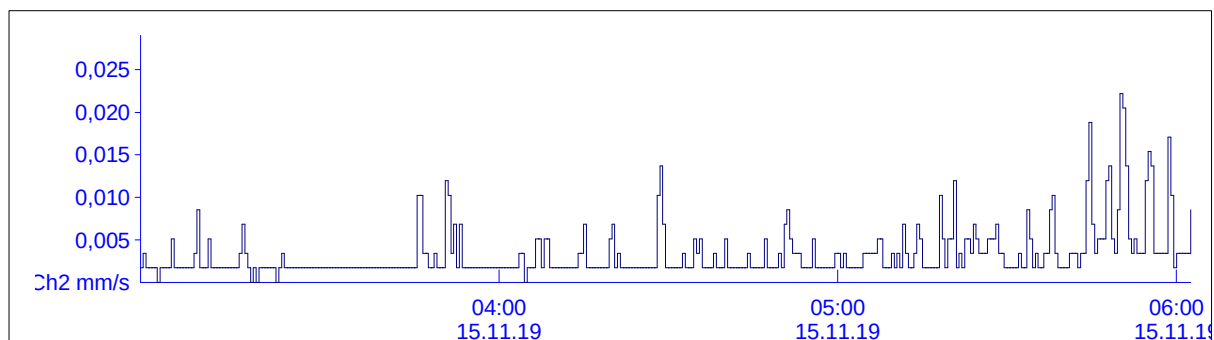
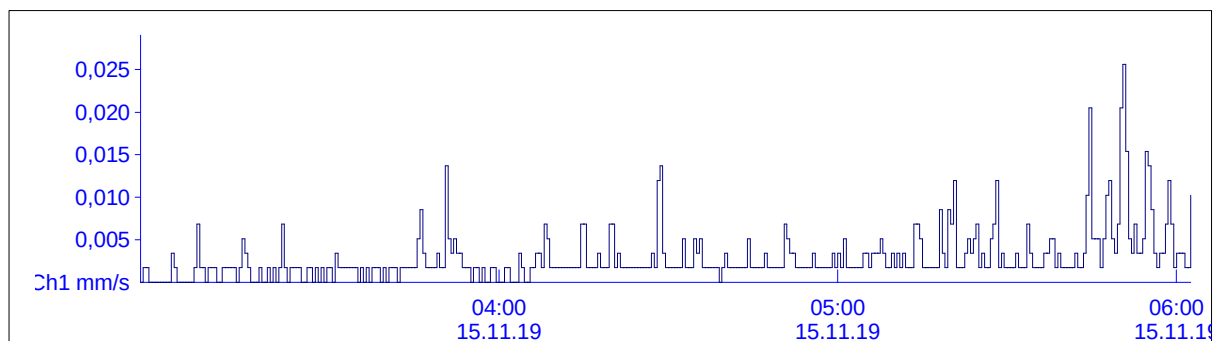
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19319011.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT45-Bredius_soptuin-17450011

Start: 15.11.19 2:56
End: 15.11.19 6:02
Interval: 30 s

Max (1): 0,0256 mm/s
Max (2): 0,0222 mm/s
Max (3): 0,0290 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje spoorzijde 15 november 02.56 tot 15 november 06.02

Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

Bijlage II

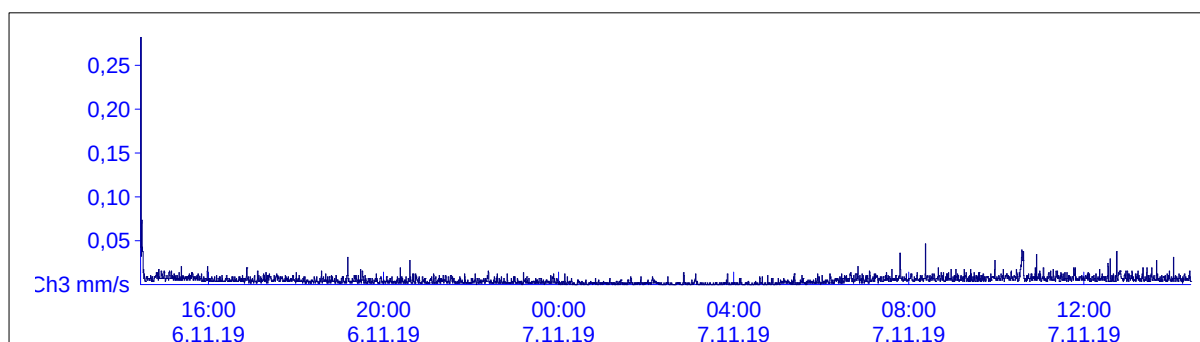
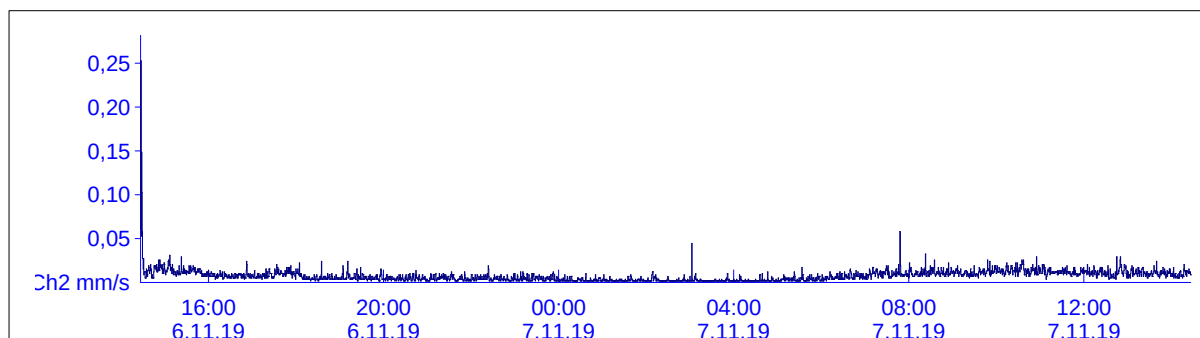
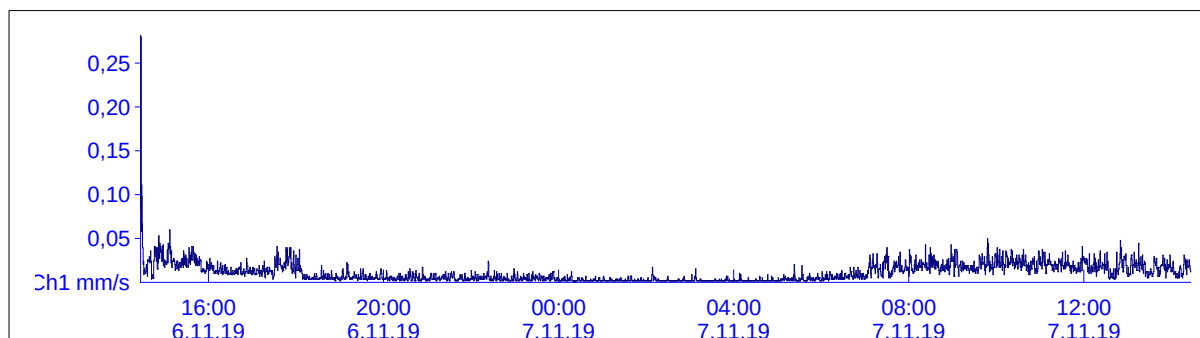
Bijlage II-1 Meetresultaten meetpunt ZT46

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19310002.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 6.11.19 14:26
End: 7.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,280 mm/s
Max (2): 0,253 mm/s
Max (3): 0,282 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 6 november tot 7 november

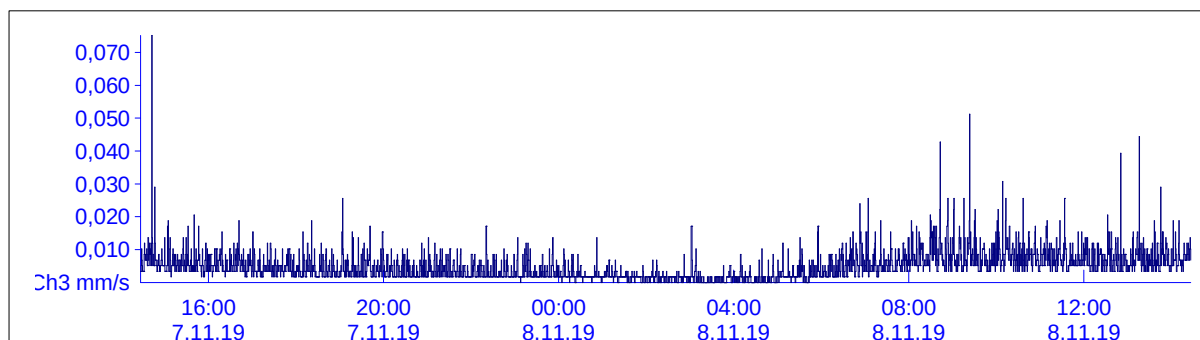
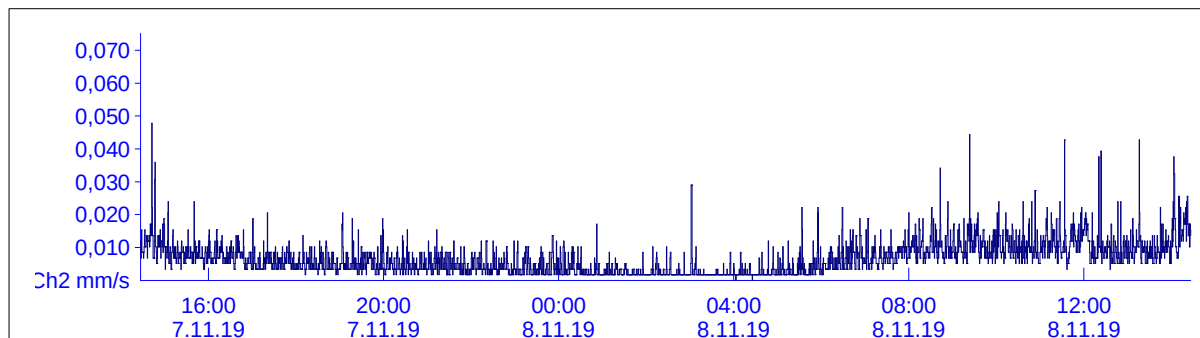
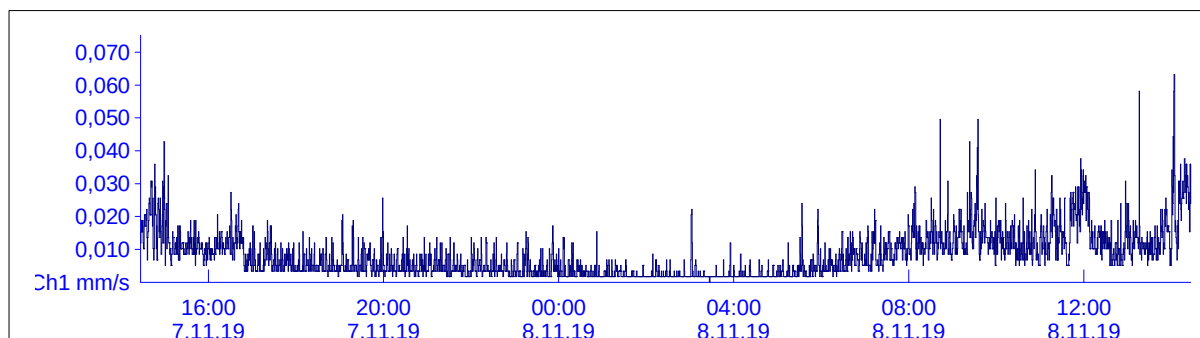
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19311003.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 7.11.19 14:26
End: 8.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0632 mm/s
Max (2): 0,0478 mm/s
Max (3): 0,0752 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 7 november tot 8 november

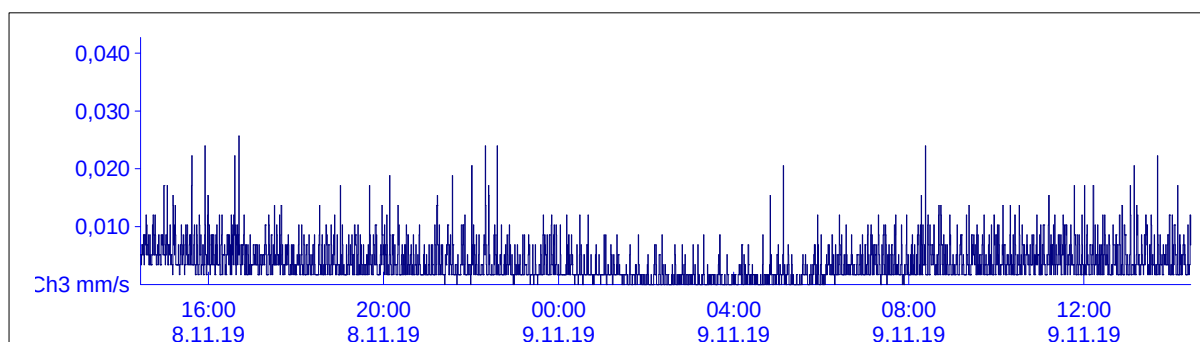
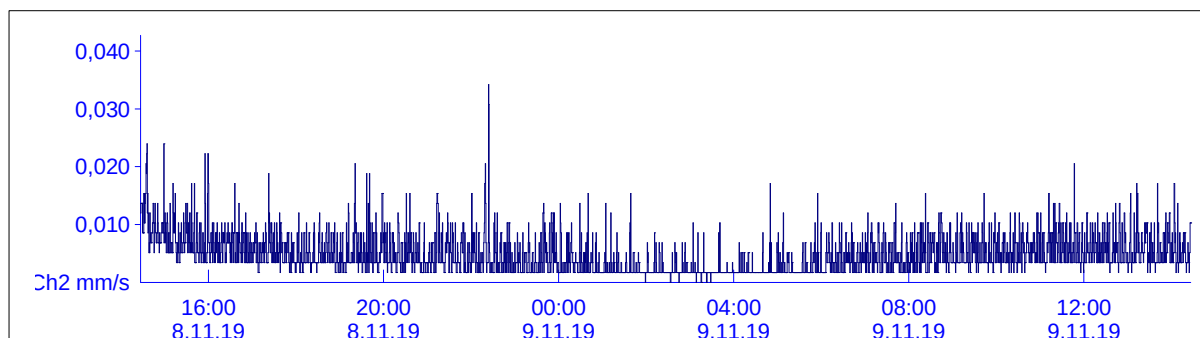
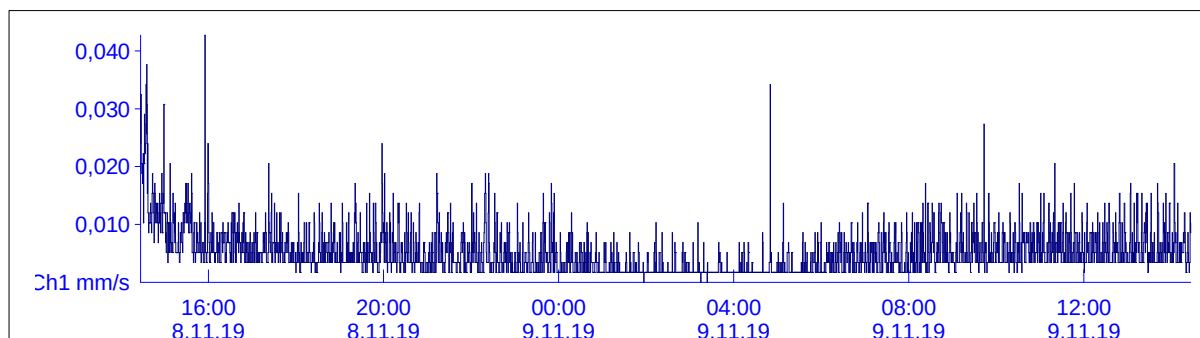
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19312004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 8.11.19 14:26
End: 9.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0427 mm/s
Max (2): 0,0342 mm/s
Max (3): 0,0256 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 8 november tot 9 november

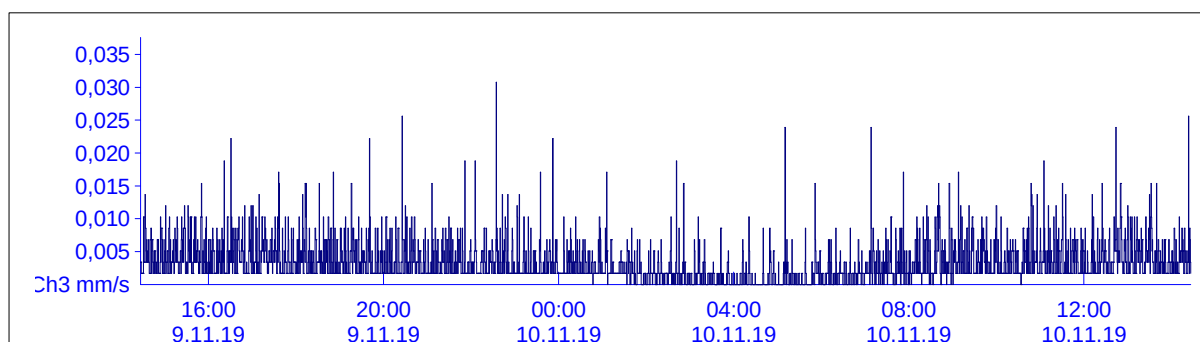
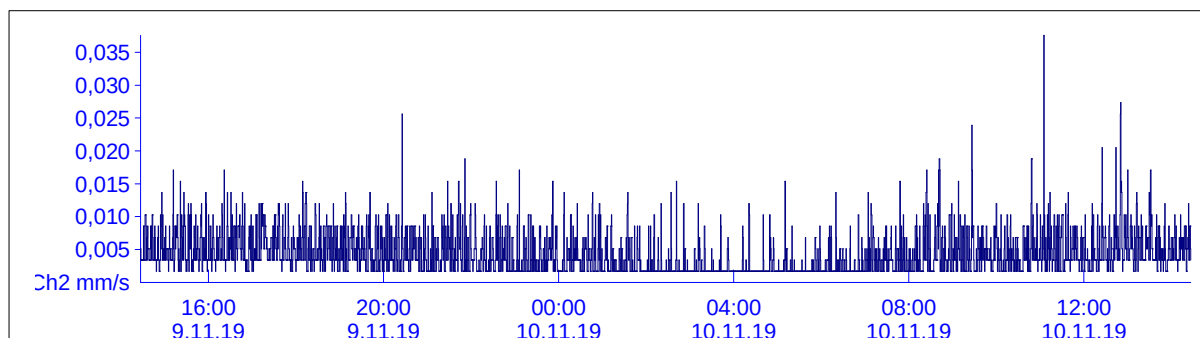
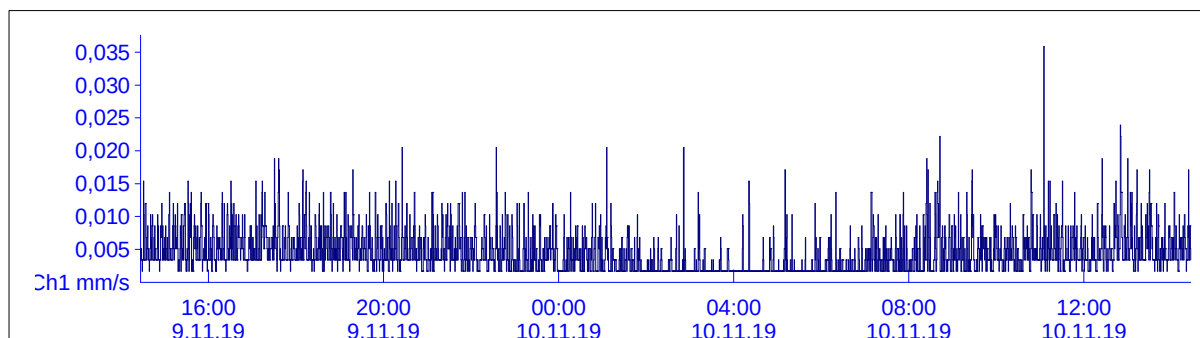
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19313005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 9.11.19 14:26
End: 10.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0359 mm/s
Max (2): 0,0376 mm/s
Max (3): 0,0308 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 9 november tot 10 november

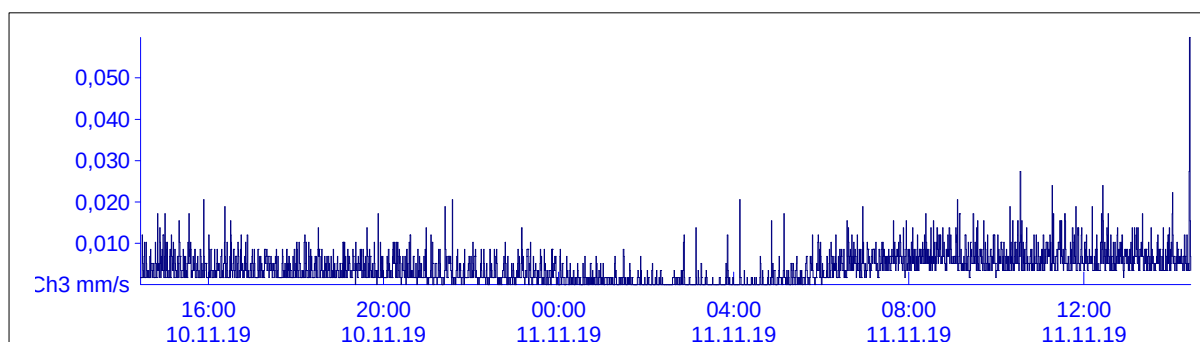
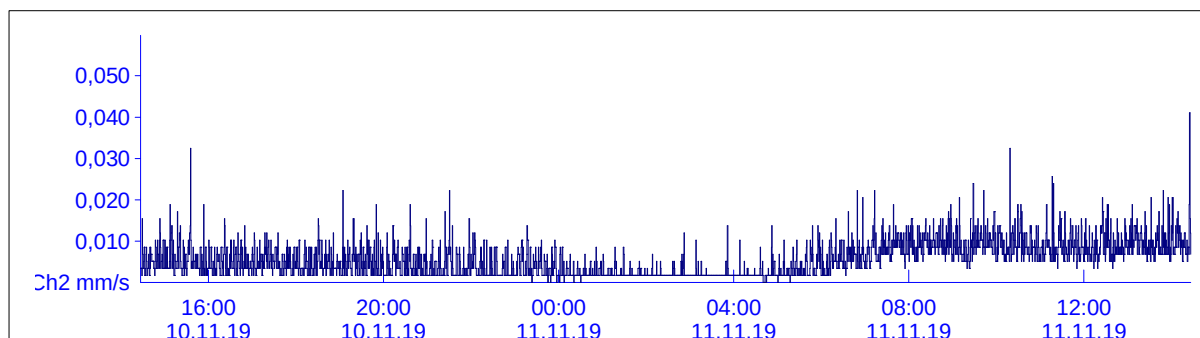
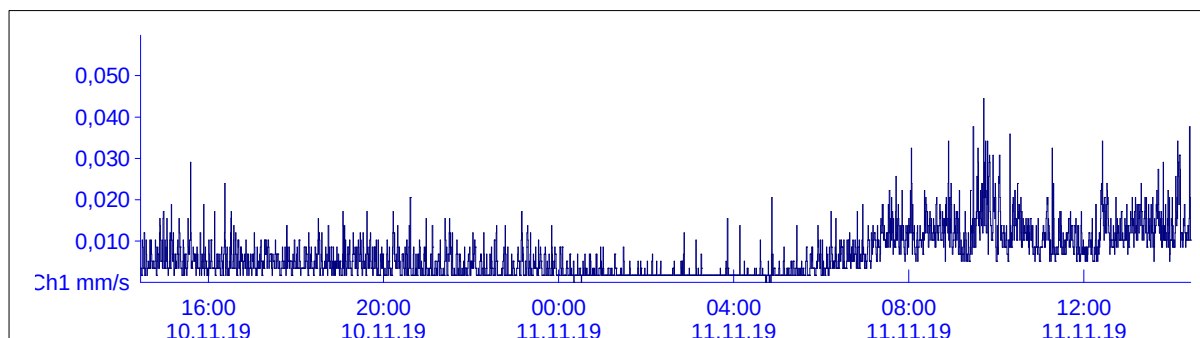
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19314006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 10.11.19 14:26
End: 11.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0444 mm/s
Max (2): 0,0410 mm/s
Max (3): 0,0598 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 10 november tot 11 november

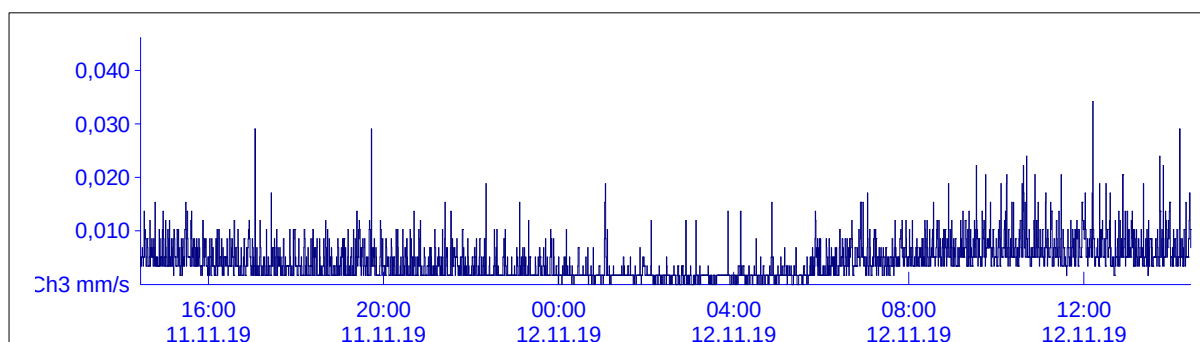
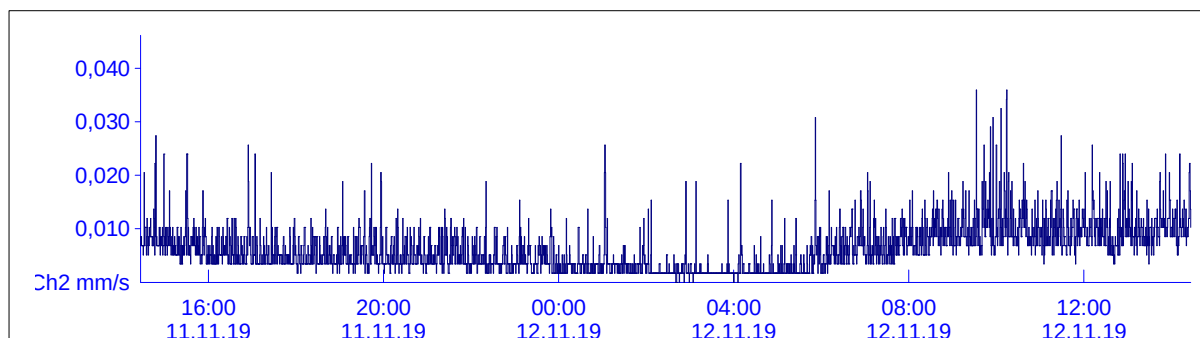
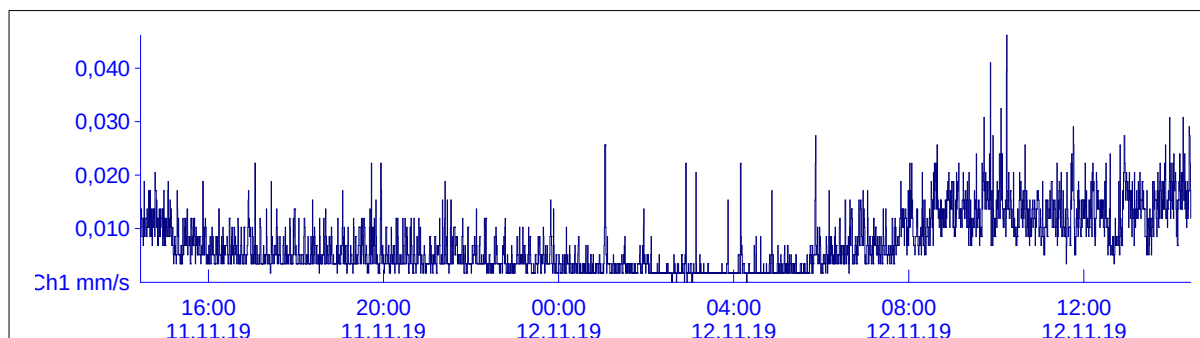
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19315007.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 11.11.19 14:26
End: 12.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0461 mm/s
Max (2): 0,0359 mm/s
Max (3): 0,0342 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 11 november tot 12 november

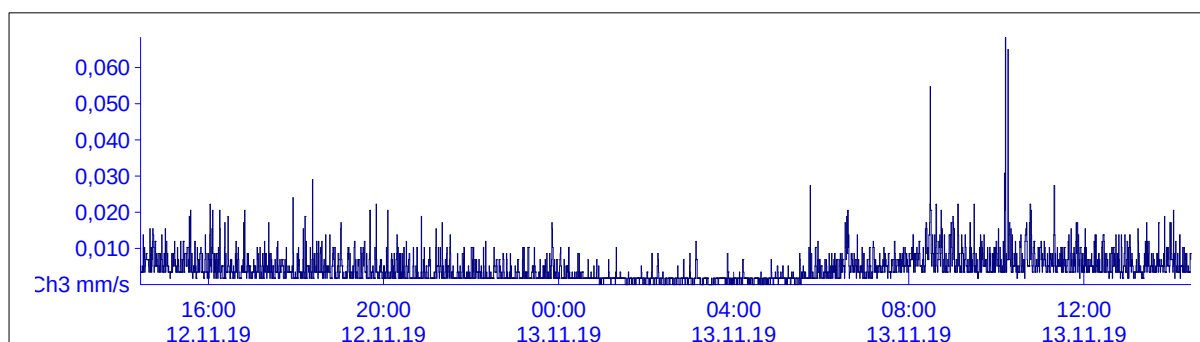
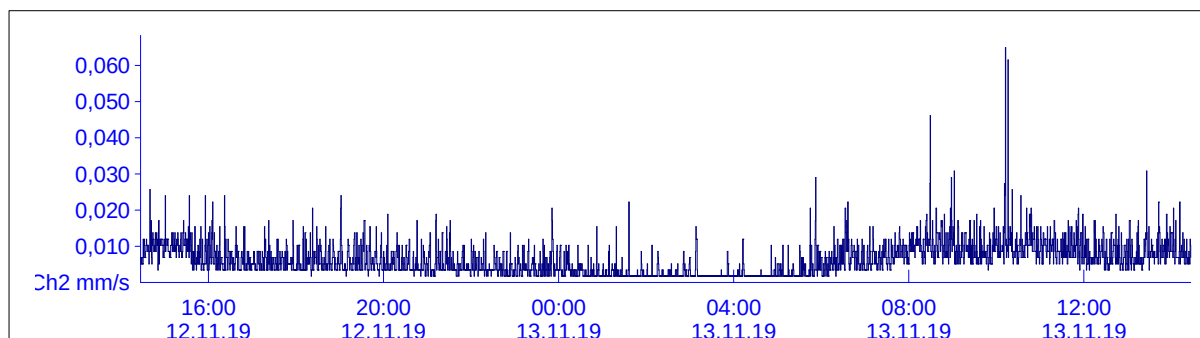
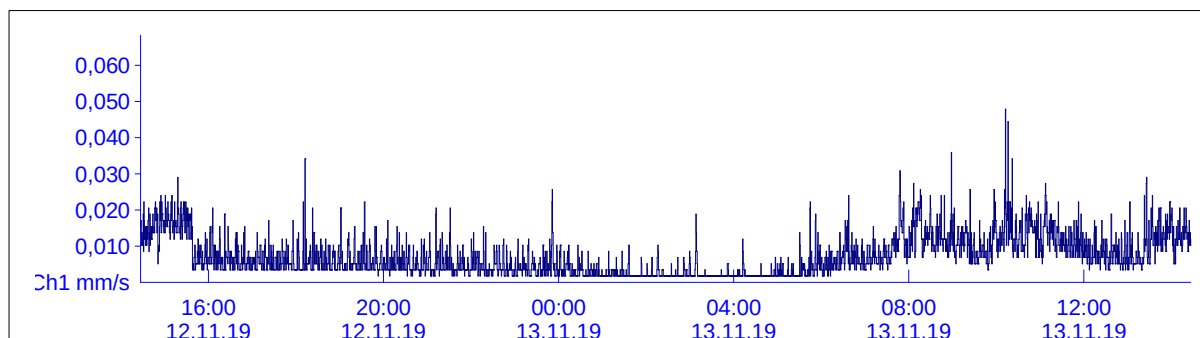
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19316008.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 12.11.19 14:26
End: 13.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0478 mm/s
Max (2): 0,0649 mm/s
Max (3): 0,0684 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 12 november tot 13 november

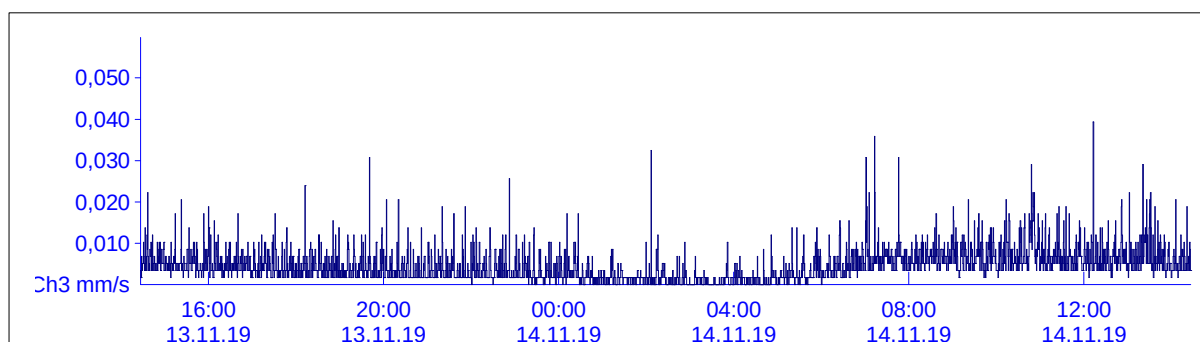
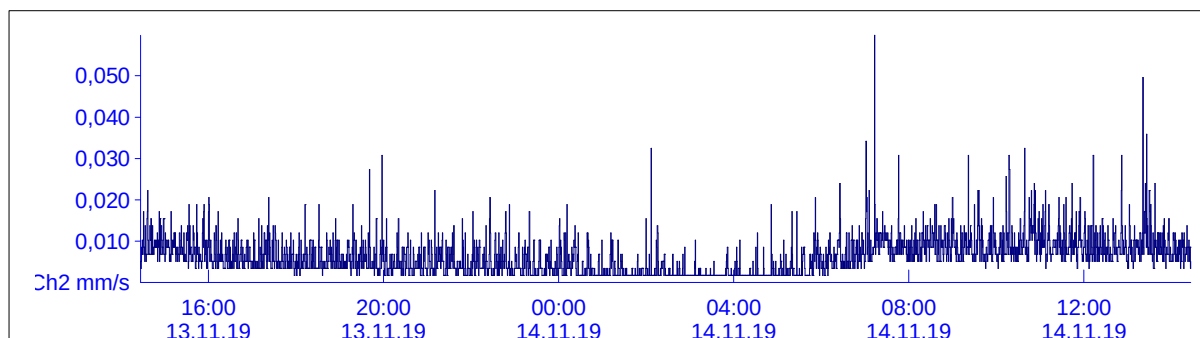
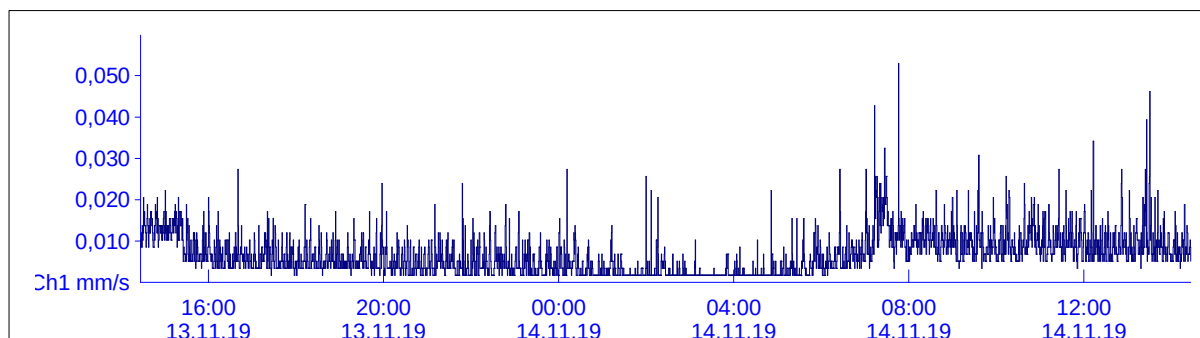
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19317009.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 13.11.19 14:26
End: 14.11.19 14:26
Interval: 30 s

Max (1): 0,0530 mm/s
Max (2): 0,0598 mm/s
Max (3): 0,0393 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 13 november tot 14 november

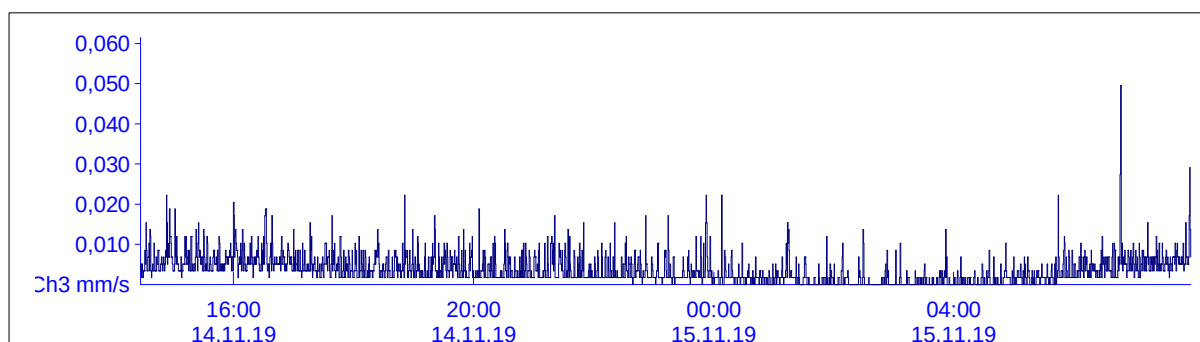
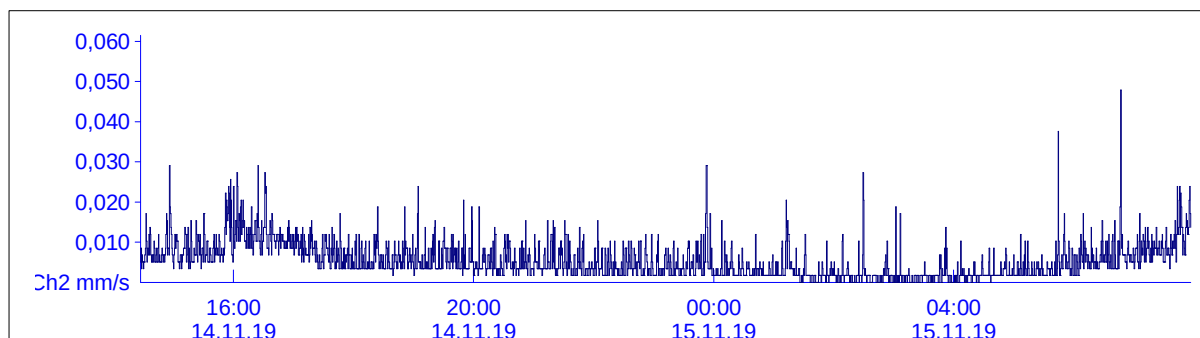
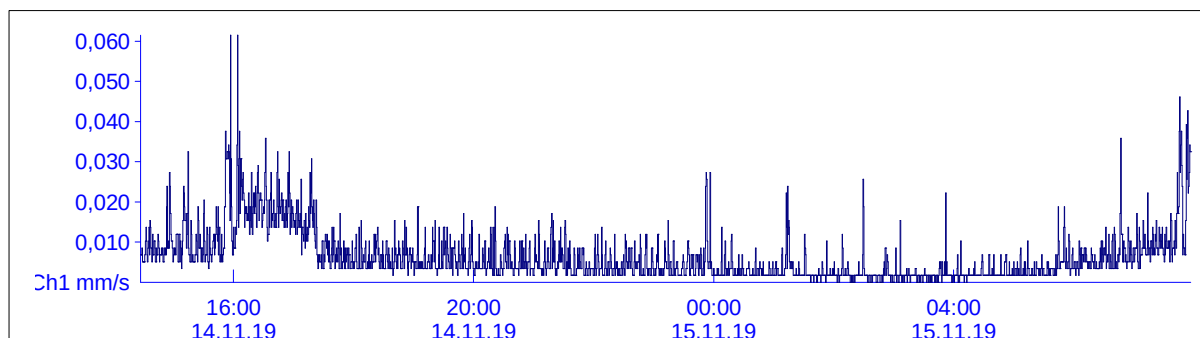
Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ... achtergrond\19318010.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: ZT46-Bredius_tuin2-18200067

Start: 14.11.19 14:26
End: 15.11.19 7:56
Interval: 30 s

Max (1): 0,0615 mm/s
Max (2): 0,0478 mm/s
Max (3): 0,0496 mm/s



Verloop veffmax,30,i meetpunt tuintje straatzijde 14 november tot 15 november

Kanaal 1: horizontaal dwars op spoor
Kanaal 2: horizontaal evenwijdig aan spoor
Kanaal 3: verticale richting