

Bezoekadres:

De Waal 18

5684 PH Best

Postadres:

Hoofdweg 76

3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505

E info@cauberg Huygen.nl

W <http://www.cauberg Huygen.nl>

K.V.K. 58792562

IBAN NL71RABO0112075584

Trillingsonderzoek de Blauwtjes te Breda; prognose hinder van het spoor

Datum **13 juni 2025**
Referentie **11911-61011-03**

Referentie 11911-61011-03
Rapporttitel Trillingsonderzoek de Blauwtjes te Breda;
prognose hinder van het spoor

Datum 13 juni 2025

Opdrachtgever De Bunte Vastgoed Zuid B.V.
Minervum 7290P
4817 ZM BREDA
Contactpersoon De heer Ing. J. Pekaar

Behandeld door De heer ing. H.E.O. Williams
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
De Waal 18
5684 PH Best
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond en doelstelling	4
1.2	Samenvatting	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Opzet onderzoek	5
2.2	SBR-B Beoordelingskader	5
2.3	Beschrijving situatie	6
3	Trillingsmetingen	7
3.1	Algemeen	7
3.2	Meetposities	7
3.3	Meetparameters	8
4	Meetresultaten	9
4.1	Bemande meting	9
4.2	Onbemande meting	9
5	Prognose Trillingssterkte	11
5.1	Niet-technische samenvatting prognose trillingssterkte en beoordeling	11
5.2	Werkwijze	11
5.3	Invoergegevens	11
5.3.1	Gemeten spectrale trillingssterkte	11
5.3.2	Overdracht op fundering	12
5.3.3	Versterking in vloerveld	13
5.4	Resultaat prognosemodel	14
5.5	Maximale trillingssterkte	14
5.5.1	Beoordeling $V_{\max}$	15
5.5.2	Beoordeling V_{per}	16
6	Beschouwing	17
6.1	Conservatief model	17
6.2	Keuze eigenfrequentie van de vloeren	17
7	Conclusie	18

Bijlage(n)

Bijlage I	Verloop $v_{\text{eff,max},30,i}$ per meetpunt
Bijlage II	SBR-B gewogen tertsbandspectra voor prognosemodel
Bijlage III	Maatgevende treinen per meetpunt

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling

In opdracht van De Bunte Vastgoed Zuid B.V. is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd voor de ontwikkeling van het bouwplan De Blauwtjes te Breda. Het project ligt op korte afstand van het spoor waardoor passerende treinen mogelijk hinder kunnen veroorzaken in de toekomstige woningen. De locatie van het project is gelegen aan de Emerweg te Breda. Op deze locatie worden 24 nieuwbouwappartementen gerealiseerd.

Het doel van het onderzoek is om te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de toekomstige appartementen. Om dat vast te stellen, zijn ter plekke trillingsmetingen verricht en is een prognose van de in de woningen te verwachten trillingssterkte opgesteld.

Het plan bevat nieuw te bouwen woningen in strijd met het Omgevingsplan. Om de nieuwbouw mogelijk te maken moet een evenwichtige toedeling van functies aan locaties worden toegepast. Gemeente Breda heeft geen beleidskader omtrent trillingen. Daarom is bij de uitvoering van de trillingsmetingen gebruik gemaakt van trillingsrichtlijn deel B van SBRCURnet “hinder voor personen in gebouwen” (SBR-B). Het voorliggende rapport beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten, de prognose en de beoordeling van de trillingen.

1.2 Samenvatting

Op basis van de trillingsmetingen ter plekke en een empirische prognose, zijn de te verwachten trillingen in de toekomstige woningen berekend. De berekende trillingssterkte is beoordeeld aan de hand van SBR-B. De conclusies uit het onderzoek luiden samenvattend als volgt:

- Op de locatie van het bouwplan kan hinder door trillingen als gevolg van het treinverkeer op voorhand niet worden uitgesloten. Bij een ongunstige eigenfrequentie van de vloer voldoet de geprognosticeerde maximale trillingssterkte niet aan de streefwaarde uit de trillingsrichtlijn SBR-B.
- De gemiddelde trillingssterkte zal voldoen aan de streefwaarde uit de richtlijn ongeacht de keuze van de eerste eigenfrequentie van de vloeren.
- Als er rekening wordt gehouden met een gunstige eigenfrequentie van de vloeren zal ook de maximale trillingssterkte voldoen aan de streefwaarde uit de richtlijn. Indicatief is dit vanaf 16 Hz, maar hogere eigenfrequenties zullen leiden tot een steeds lagere trillingssterkte in de woningen. De constructeur kan adviseren welke aanpassingen van het ontwerp nodig zijn om de eerste eigenfrequentie van de vloeren te verhogen.
- Omdat met deze aanpassing van het ontwerp voldaan kan worden aan de streefwaarden uit SBR-B is een vervolgonderzoek naar aanvullende trillingsreducerende maatregelen niet benodigd.

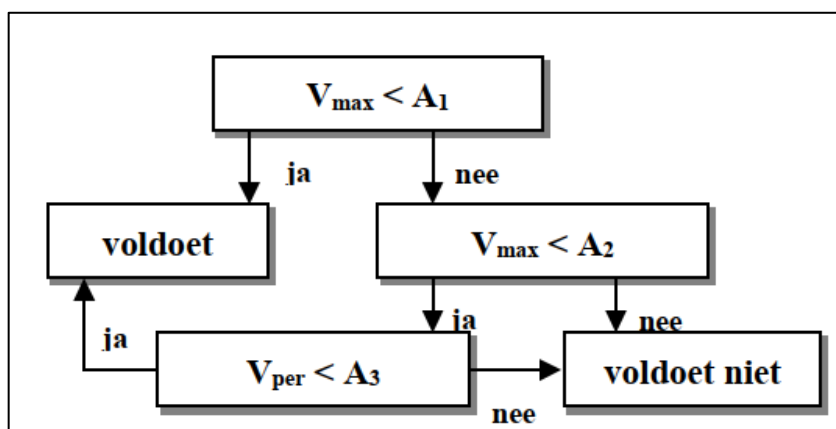
2 Uitgangspunten

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 14 mei 2025 en zijn gebruikt om de meetopstelling te toetsen en de kenmerken van de trillingen van passerende treinen te bepalen. Deze kenmerken zijn gebruikt om onderscheid te maken tussen treintrillingen en stoortrillingen van de onbemande metingen. De onbemande metingen zijn uitgevoerd van 14 tot en met 21 mei 2025 voor een periode van zeven dagen. De gekozen opzet is in lijn met de aanbevelingen in de “Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen” van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat uit 2019.

2.2 SBR-B Beoordelingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de toekomstige woningen is gebruik gemaakt van de streefwaarden van SBR-B uit 2006. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ bestaat voor de maximale gewogen trillingssterkte binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssterkte tijdens 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.



Er wordt voldaan aan de streefwaarden als:

- de $V_{\max}$ kleiner is dan A_1 , óf;
- als de $V_{\max}$ kleiner is dan A_2 én V_{per} kleiner is dan 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 toekomstige gebouw 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.

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

Tabel 2.1: SBR-B Streefwaarden ter voorkoming van trillingshinder bij gebouwfunctie wonen en kantoor

Gebouwfunctie en situatie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Wonen, nieuw situaties	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

In tabel 2.1 is te zien dat bij woningen in de nachtperiode de strengste streefwaarden van toepassing zijn.

2.3 Beschrijving situatie

Op het moment van meten zijn op de projectlocatie volkstuintjes aanwezig. In figuur 2.1 is een luchtfoto te zien van het terrein aan de Emerweg. De projectlocatie is rood omkaderd.



Figuur 2.1: Luchtfoto van de projectlocatie, bron PDOK Luchtfoto

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

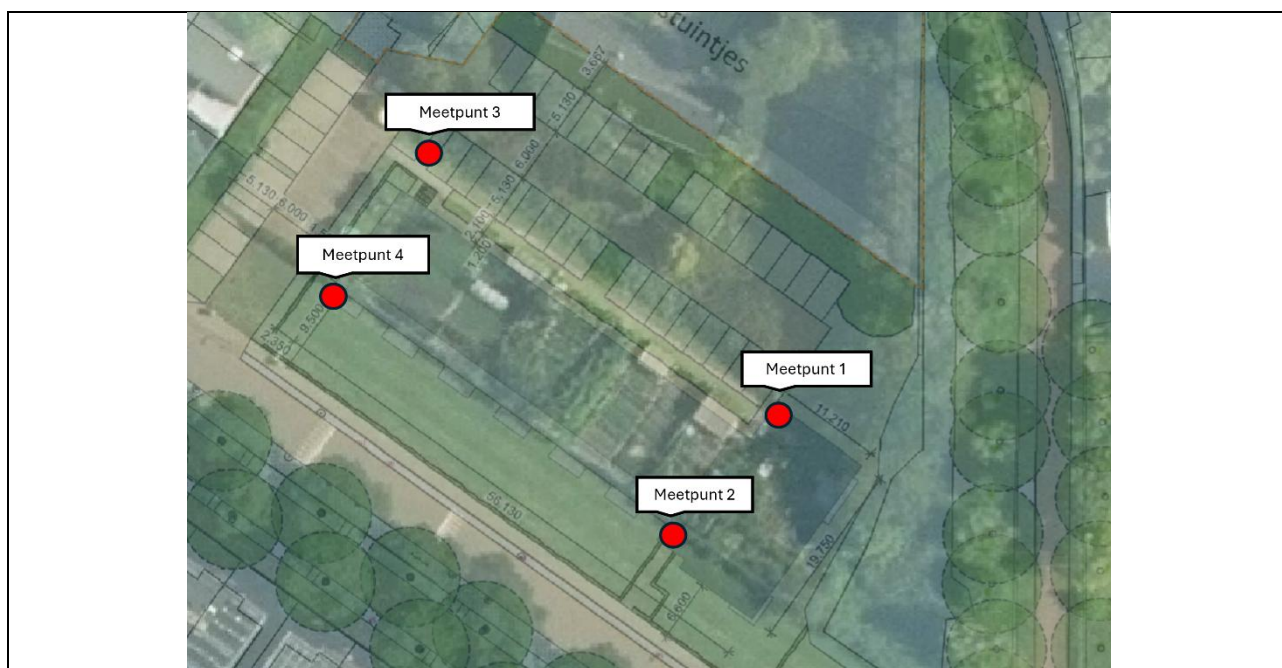
De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 14 tot en met 21 mei 2025. Bij zowel de bemande als de onbemande metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 4x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 4x triaxial Syscom trillingsopnemer MS2003+ (trillingssnelheid).

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

3.2 Meetposities

De meetpunten zijn geplaatst op maaiveld op verschillende afstanden tot het spoor op de posities van de toekomstige fundering. Figuur 3.1 geeft een overzicht weer van de meetpunten. Meetpunt 3 bevindt zich op 94 meter van het spoor. De meetpunten 1 en 4 bevinden zich op 110 meter van het spoor en meetpunt 2 op 130 meter van het spoor.



Figuur 3.1: Overzicht van de meetpunten

Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid in drie richtingen gemeten:

- horizontaal dwars op het spoor (de X-richting);
- horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting);
- verticaal (de Z-richting).

In figuur 3.2 zijn foto's opgenomen van de meetopstelling.



Figuur 3.2: Foto's meetopstellingen

3.3 Meetparameters

Conform de voorschriften in de SBR-B richtlijn is elke 30 seconden de trillingssterkte $V_{eff,max,30,i}$ bepaald. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand "fast", waar bij de frequentieweging volgens de SBR-B wordt toegepast. Ook is voor alle treinpassages waarvan de trillingssnelheid de waarde 0,05 mm/s overschrijdt, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Deze tijdsignalen zijn gebruikt voor de prognose.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande meting

Op 14 mei 2025 is de bemande meting uitgevoerd tussen 12:42 en 13:38 uur bij alle meetpunten. Bij de bemande meting is vastgesteld dat zowel sprinters, intercity's als goederentreinen over het traject rijden. In tabel 4.1 is de trillingssterkte $V_{\max}$ per treinpassage weergegeven van de treinpassage tijdens de bemande meting. Per meetpunt is de hoogste trillingssterkte weergegeven met geel.

Tabel 4.1: Overzicht maximale trillingssterkte op maaiveld tijdens de bemande meting

tijd	trein	Richting	$V_{\max}$ MP1		$V_{\max}$ MP2		$V_{\max}$ MP3		$V_{\max}$ MP4	
12:42	VIRM	Breda	0,025	Y	0,021	Y	0,028	Z	0,026	Z
12:46	ICNG	Rotterdam	0,034	Y	0,037	Y	0,028	Z	0,022	Z
12:47	VIRM	Ettenleur	0,034	Y	0,031	Y	0,025	Z	0,029	Z
12:49	Sprinter	Breda	0,059	Y	0,043	Y	0,050	Z	0,044	Z
12:49	Goederentrein	Rotterdam	0,059	Y	0,043	Y	0,050	Z	0,044	Z
12:55	Sprinter	Rotterdam	0,033	X	0,031	X	0,032	X	0,027	Z
12:57	DDZ	Rotterdam	0,058	X	0,045	Y	0,044	Z	0,040	X
13:11	DDZ	Rotterdam	0,032	Y	0,026	Y	0,029	Z	0,025	Z
13:12	ICNG	Breda	0,036	Z	0,032	Y	0,044	Z	0,025	Z
13:14	DDZ	Breda	0,059	X	0,056	X	0,057	Z	0,035	Y
13:16	TGV	Rotterdam	0,033	Y	0,025	Y	0,025	Z	-	-
13:16	Sprinter	Ettenleur	0,033	Y	0,031	Y	0,035	Z	-	-
13:19	ICNG	Breda	0,034	X	0,045	X	0,030	X	0,027	Z
13:21	Goederentrein	Breda	0,032	X	0,029	Y	0,030	Z	0,030	Z
13:23	Goederentrein	Rotterdam	0,039	Y	0,025	X	0,029	X	0,037	X
13:26	ICNG	Ettenleur	0,048	Y	0,045	Y	0,038	Z	0,038	Z
13:29	Goederentrein	Rotterdam	0,048	X	0,044	Y	0,046	Z	0,044	X
13:30	ICNG	Breda	0,017	Y	0,028	Y	0,046	Z	0,042	Z
13:31	Goederentrein	Breda	0,058	X	0,043	Y	0,057	Z	0,042	Z
13:34	Goederentrein	Rotterdam	0,065	X	0,051	X	0,065	Z	0,037	Z
13:34	ICM	Breda	0,065	X	0,051	X	0,061	Z	0,046	Y
13:38	Goederentrein	Breda	0,033	X	0,019	Y	0,032	Z	0,034	Z

In tabel 4.1 is te zien dat de hoogste trillingssterkten gemeten zijn bij de passages van goederentreinen, waarbij de hoogste trillingssterkte optreedt bij de passage om 13:34 uur. Verder is te zien dat voor meetpunt 1 en meetpunt 2 voornamelijk de horizontale trillingen maatgevend zijn, terwijl bij meetpunt 3 en 4 de verticale trillingen maatgevend zijn.

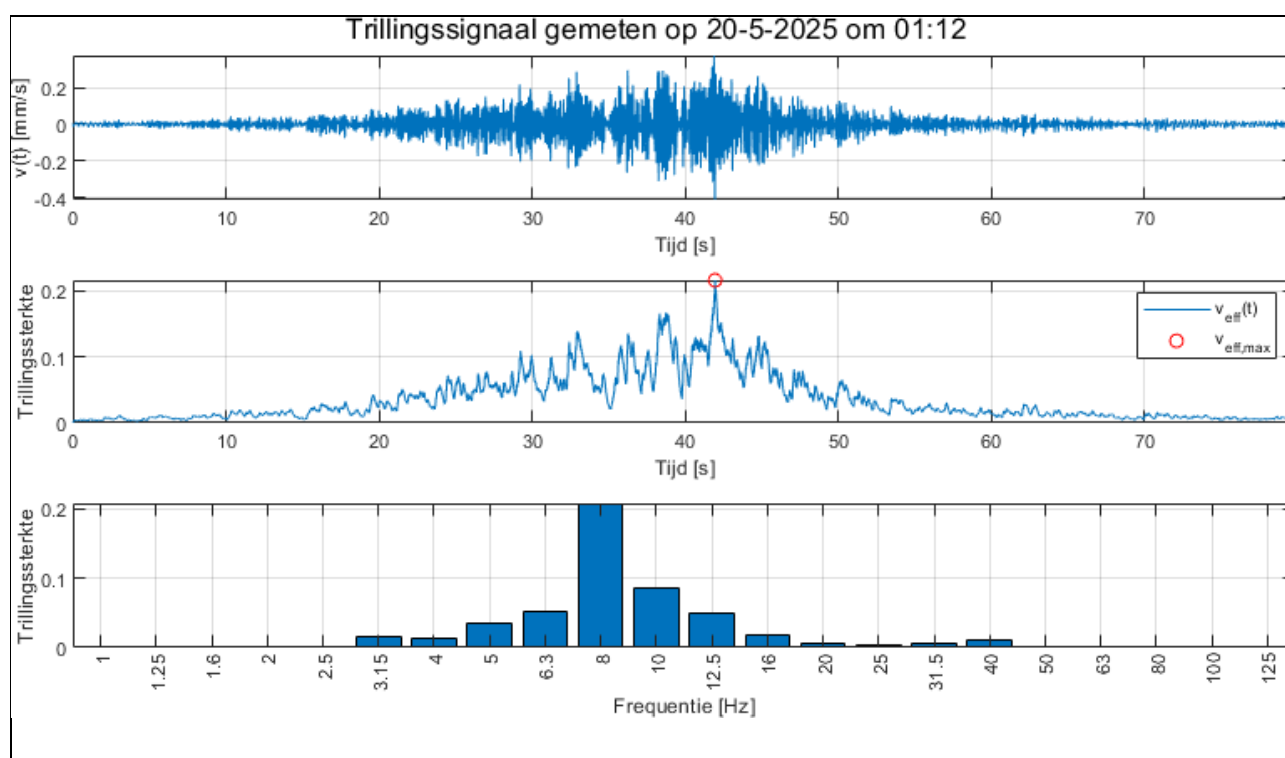
4.2 Onbemande meting

Direct aansluitend aan de bemande meting is tussen 14 mei en 21 mei de onbemande meting uitgevoerd voor de duur van een week. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de maximale trilling per etmaal. De hoogste waarden zijn groen gemarkeerd. In bijlage I is het verloop van de trillingssterkte tijdens de meetperiode grafisch weergegeven.

Tabel 4.2: Overzicht maximale trillingssterkte op maaiveld tijdens de onbemande meting

Etmaal	$V_{\max}$ MP1		$V_{\max}$ MP2		$V_{\max}$ MP3		$V_{\max}$ MP4	
Woensdag 14 mei 2025	0,13	Y	0,13	Y	0,17	Y	0,11	Z
Donderdag 15 mei 2025	0,17	X	-	-	0,20	Z	0,19	Z
Vrijdag 16 mei 2025	0,13	X	-	-	0,12	Z	0,16	Z
Zaterdag 17 mei 2025	0,12	X	-	-	0,18	Z	0,11	Z
Zondag 18 mei 2025	0,11	Y	-	-	0,10	Z	0,11	Z
Maandag 19 mei 2025	0,16	X	-	-	0,15	Z	0,16	Z
Dinsdag 20 mei 2025	0,15	Y	-	-	0,22	Z	0,18	X
Woensdag 21 mei 25	0,12	X	-	-	0,12	Z	0,11	Z

Bij meetpunt 2 is alleen de eerste dag gemeten. De hoogste trillingssterkte op maaiveld is gemeten op 20 mei om 01:12 uur bij meetpunt 3. De gemeten trillingssterkte bedroeg 0,22. Van deze maatgevende treinpassage toont figuur 4.1 het verloop van de bij meetpunt 3 gemeten trilling in de tijd in de verticale richting (bovenste grafiek). De voortschrijdende effectieve waarde $v_{\text{eff}}(t)$ en de bijbehorende trillingssterkte $v_{\text{eff,max}}$ zijn te zien in de middelste grafiek. Het gemeten max-hold tertsbandspectrum is te zien in de onderste grafiek.



Figuur 4.1: Treinpassage op meetpunt 3 op 20 mei 2025 om 01:12 uur

In figuur 4.1 is te zien dat de trillingssterkte het hoogst is na ongeveer 42 seconden na het begin van het tijdsignaal. De maatgevende frequentie voor deze treinpassage bedraagt 8 Hz.

5 Prognose Trillingssterkte

5.1 Niet-technische samenvatting prognose trillingssterkte en beoordeling

Het bepalen van de trillingssterkte in de toekomstige woningen is bepaald door de gemeten spectrale trillingssterkte op maaiveld te vermenigvuldigen met de demping van de fundering en de versterking afhankelijk van de eerste eigenfrequentie van de vloeren tussen 5 en 20 Hz.

De berekende trillingssterkten zijn beoordeeld volgens de streefwaarde uit SBR-B. Voor de meest ongunstige vloer-eigenfrequentie van 8 Hz wordt de bovenste streefwaarde A_2 overschreden en wordt dus niet voldaan aan de streefwaarden uit SBR-B. Bij een hogere eigenfrequentie van de vloeren voldoen de woningen in de dag- en avond periode aan de streefwaarde A_2 . In de nachtperiode is een geringe overschrijding van de streefwaarde A_2 die acceptabel wordt geacht door de conservatieve berekening van het model. Er kan dus worden voldaan aan de streefwaarden uit SBR-B als de eigenfrequentie van de vloer in acht wordt genomen. Voor een gedetailleerde technische uitleg wordt verzocht de navolgende paragrafen door te lezen.

5.2 Werkwijze

Voor de berekening van de trillingssterkte in de toekomstige woningen is gebruik gemaakt van een empirisch rekenmodel gebaseerd op het rekenmodel van VROM opgesteld door TNO, en bureauervaring door de jaren heen. De berekening bevat de volgende stappen:

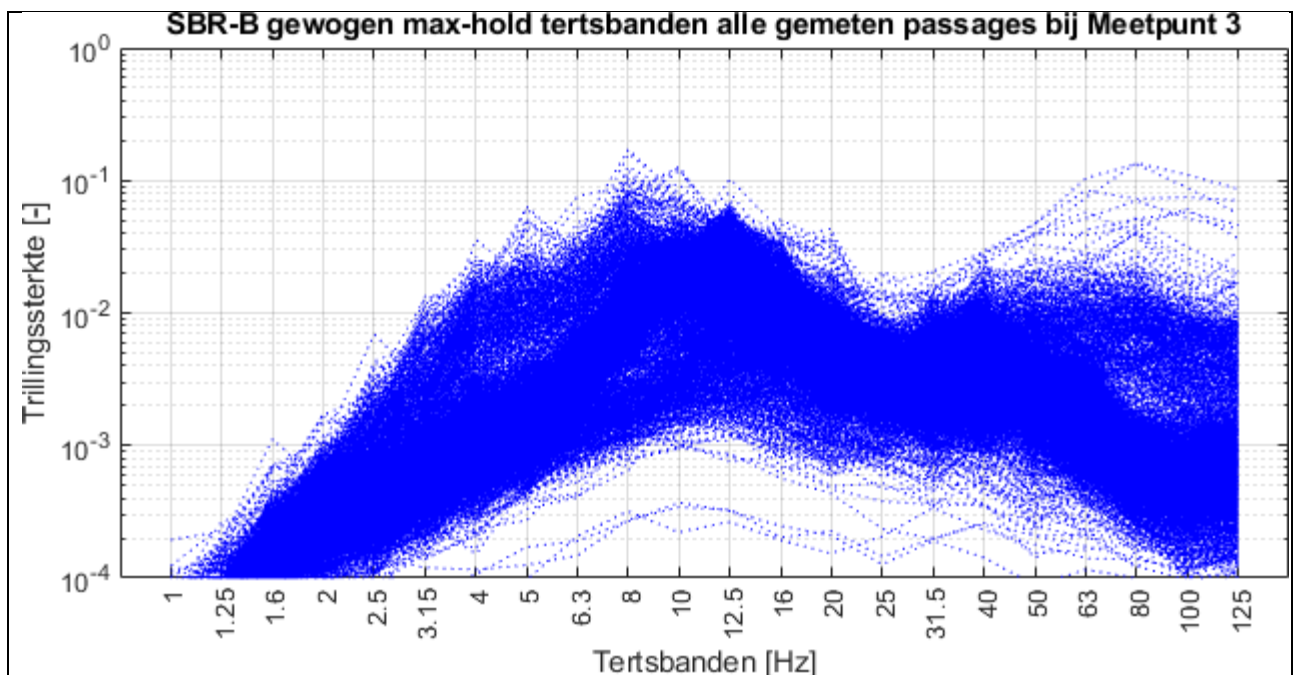
1. De berekening van de trillingssterkte op het fundament op basis van de karakteristieke overdracht van maaiveld op fundering.
2. De berekening van de trillingssterkte op het vloerveld op basis van de te verwachten versterking afhankelijk van de eerste eigenfrequentie van de vloer. Deze versterking treedt alleen in verticale richting op. Daarom is de dominante trillingsrichting op een vloer in de meeste gevallen de verticale richting, zelfs als op maaiveld de horizontale richting dominant is.

De overall $V_{\max}$ trillingssterkte wordt vervolgens berekend door de trillingssterkte in de verschillende tertsbanden energetisch bij elkaar op te tellen.

5.3 Invoergegevens

5.3.1 Gemeten spectrale trillingssterkte

Voor alle treinpassages waarvoor een tijdsignaal is geregistreerd, is het kenmerkende max-hold tertsbandspectrum van het tijdsignaal bepaald, vervolgens spectraal gewogen conform SBR-B en geschaald naar de bijbehorende maximale trillingssterkte $V_{\max}$. Onderstaande figuur geeft alle gewogen spectra bij meetpunt 3.

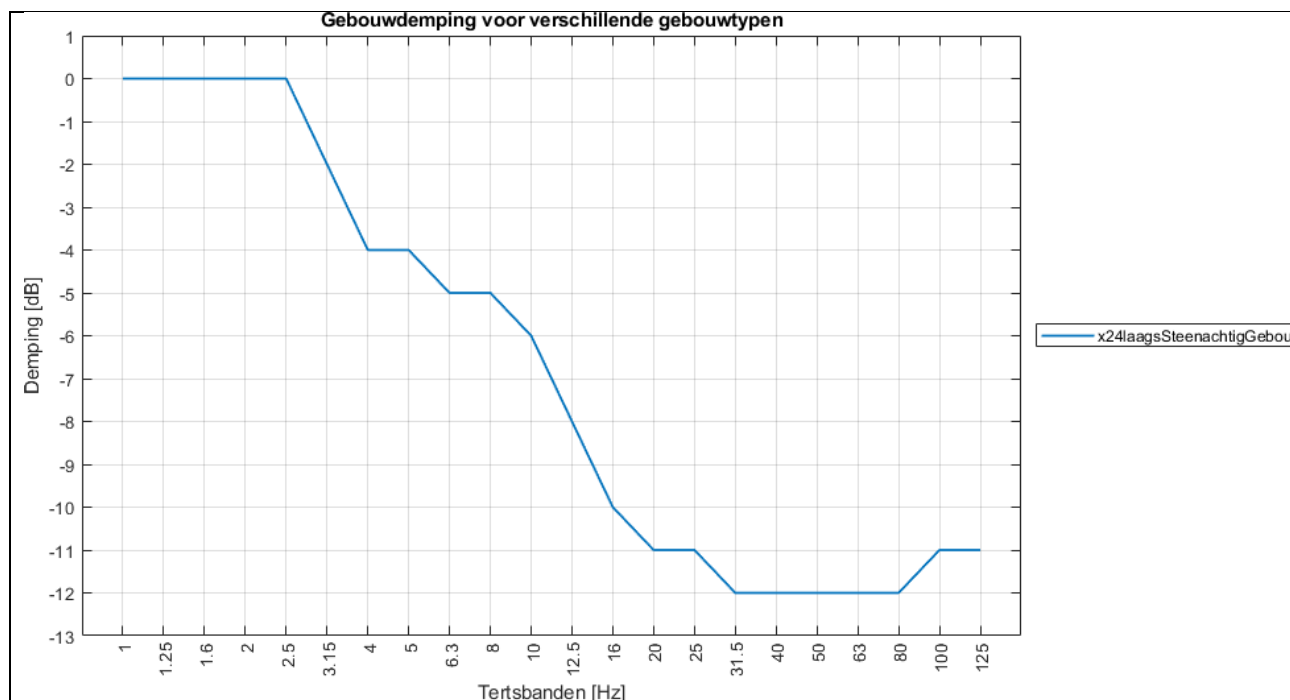


Figuur 5.1: SBR-B gewogen tertsbanden voor alle gemeten passages bij meetpunt 3

Uit de spectra in figuur 5.1 blijkt dat de trillingssterkten breedbandig aanwezig zijn. Het grootste deel van de treinpassages zijn dominant in de 8 en 12,5 Hz tertsband. De spectra van de overige meetpunten zijn te vinden in bijlage II.

5.3.2 Overdracht op fundering

In de prognose is rekening gehouden met het bouwtype uit het ontwerp. Dit bouwtype komt overeen met een “2-4 laags steenachtig gebouw”. Figuur 5.2 geeft het dempingsspectrum weer.



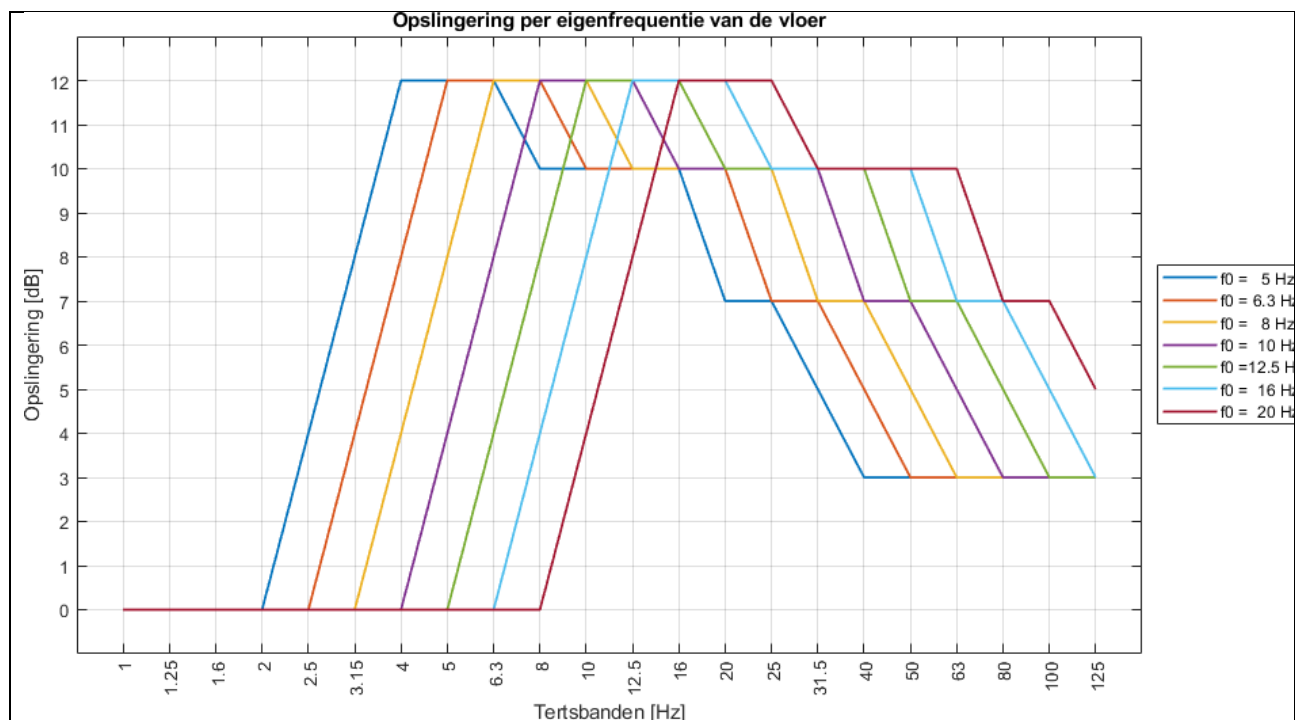
Figuur 5.2: Gebouwdemping voor 2-4 laags steenachtig gebouw

Een waarde van 0 dB wil zeggen dat geen versterking of verzwakking optreedt en een negatieve waarde betekent een reductie van de trillingen. Voor de allerlaagste frequenties tussen 1 en 2,5 Hz heeft de fundering geen reducerende invloed. De grootste verzwakking bedraagt 12 dB en komt overeen met ongeveer een factor 4.

5.3.3 Versterking in vloerveld

Omdat de vloeren van de woningen in het bouwplan nog geen vastgestelde dimensies hebben, is gerekend met vloer-eigenfrequenties die vaak voorkomen in deze gebouwen. Voor steenachtige (beton) constructies liggen de eigenfrequenties in de regel tussen 5 en 20 Hz.

Op basis van deze eigenfrequenties is rekening gehouden met een mogelijke resonantie van de vloer waardoor in de verticale richting versterking van de trillingen optreedt. Figuur 5.3 toont de overdrachtsspectra. Een waarde van groter dan 0 dB geeft aan dat de vloer voor die frequentie extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie. Hierdoor neemt de trillingssterkte toe.



Figuur 5.3: Opslinteren per eigenfrequentie van de vloer (5 t/m 20 Hz)

De versterking als gevolg van de resonantie bedraagt maximaal 12 dB, ongeveer een factor 4.

5.4 Resultaat prognosemodel

Het spectrum van de geprognosticeerde trillingssterkte $V_{\max}$ is berekend door het gemeten max-hold spectra (figuur 5.1) te vermenigvuldigen met het overdrachtsspectrum voor de fundering (figuur 5.2) en het overdrachtsspectrum voor de invloed van de vloer (figuur 5.3). De uiteindelijke geprognosticeerde trillingssterkte $V_{\max}$ is de overallwaarde van het berekende spectrum.

Per meetpunt is voor alle treinpassages, verschillende scenario's voor de gekozen eigenfrequenties van de vloer een prognose opgesteld.

5.5 Maximale trillingssterkte

Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in tabel 5.1. De trillingssterkte $V_{\max}$ is weergegeven voor de eigenfrequenties die het meest gunstige beeld geven (best case, laagste trillingssterkte), een passend beeld (passende case, eerste eigenfrequentie waar de trillingssterkte zou voldoen) en het meest ongunstige beeld (worst case, hoogste trillingssterkte) per meetpunt per etmaal.

Tabel 5.1: Samenvatting prognose $V_{\max}$

Meetpunt	Afstand Van Spoor	Worst case		Passend		Best case	
		f_0	$V_{\max}$	f_0	$V_{\max}$	f_0	$V_{\max}$
Meetpunt 1	110 m	8	0,29	16	0,15	20	0,12
Meetpunt 2	130 m	8	0,20	16	0,11	20	0,08
Meetpunt 3	98 m*	8	0,43	16	0,20	20	0,13
Meetpunt 4	110 m	8	0,26	16	0,23	20	0,13

* De trillingsmeter is geplaatst op 94 m van het spoor en het meetresultaat is verrekend met de formule van Barkan naar het ontwerpaafstand van 98 m.

Uit tabel 5.1 blijkt dat voor alle gebouwen een lager eigenfrequentie van de vloeren (8 Hz) ongunstig is voor de trillingssterkte in het gebouw. Een eigenfrequentie van 20 Hz is het gunstigst.

5.5.1 Beoordeling $V_{\max}$

De beoordeling van $V_{\max}$ vindt plaats op basis van de streefwaarde A_1 en A_2 , zie tabel 2.1. In tabel 5.2 is een overzicht van de beoordeling te zien. In de tabel een geel gearceerde waarde betekent dat wordt voldaan aan de bovenste streefwaarde A_2 , maar niet aan de onderste streefwaarde A_1 . Een oranje gearceerde waarde overschrijdt de streefwaarde A_2 en voldoet de trillingssterkte dus niet. De beoordeling vindt plaats op basis van een vloer-eigenfrequentie van 8 Hz, oftewel de meest ongunstige eigenfrequentie van de vloer.

Tabel 5.2: Beoordeling van de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ bij vloer-eigenfrequentie 8 Hz (worst case)

Meetpunt	$V_{\max}$ nacht	$V_{\max}$ dag	$V_{\max}$ avond
Meetpunt 1	0,23	0,29	0,21
Meetpunt 2	-	0,20	0,12
Meetpunt 3	0,43	0,41	0,26
Meetpunt 4	0,35	0,42	0,25

Uit tabel 5.2 volgt dat bij de meest ongunstige eigenfrequentie de streefwaarde A_1 bij alle meetpunten wordt overschreden. Bij meetpunt 1 wordt in de nachtperiode de streefwaarde A_2 overschreden, terwijl bij meetpunten 3 en 4 de streefwaarde A_2 in de dag- en nachtperiode wordt overschreden.

In tabel 5.3 is een overzicht van de beoordeling van de $V_{\max}$ voor een vloer-eigenfrequentie van 16 Hz. Hier betekent een groen gearceerde waarde dat wordt voldaan aan de onderste streefwaarde A_1 . Een geel gearceerde waarde betekent dat wordt voldaan aan de bovenste streefwaarde A_2 . Een oranje gearceerde waarde overschrijdt de streefwaarde A_2 en voldoet niet.

Tabel 5.3: Beoordeling van de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ bij vloer-eigenfrequentie 16 Hz

Meetpunt	$V_{\max}$ nacht	$V_{\max}$ dag	$V_{\max}$ avond
Meetpunt 1	0,11	0,15	0,12
Meetpunt 2	-	0,11	0,09
Meetpunt 3	0,20	0,14	0,11
Meetpunt 4	0,16	0,23	0,11

Uit tabel 5.2 volgt dat alleen bij meetpunt 2 in de avondperiode wordt voldaan aan de streefwaarde A_1 . Voor de overige meetpunten wordt de streefwaarde A_1 overschreden. Alleen bij meetpunt 3 in de nachtperiode wordt ook de bovenste streefwaarde A_2 overschreden. Voor een vloer-eigenfrequentie van 20 Hz zullen de geprognosticeerde trillingssterkten lager uitvallen dan de in tabel 5.3 aangegeven waarden. Voor een vloer-eigenfrequentie van 20 Hz zullen de geprognosticeerde trillingssterkten voldoen aan de bovenste streefwaarde A_2 .

Omdat uit tabel 5.2 en tabel 5.3 blijkt dat niet overal voldaan wordt aan de streefwaarde A_1 , maar (in sommige gevallen) wel aan de streefwaarde A_2 is een verdere beoordeling van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} noodzakelijk. Dit is beschreven in paragraaf 5.5.2.

5.5.2 Beoordeling V_{per}

Bij de berekening van V_{per} is conform SBR-B alleen die passages meegenomen met een geprognosticeerde $V_{\text{eff,max}}$ van 0,1 of hoger. De berekening is uitgevoerd voor alle beoordelingsperioden per etmaal en de hoogste waarde van V_{per} . In tabel 5.4 is een overzicht weergegeven van de beoordeling van V_{per} bij de meest ongunstige vloer-eigenfrequentie. Een groen gearceerde waarde betekent dat voldaan wordt aan de streefwaarde A_3 . Voor de periodes waar niet voldaan werd aan de streefwaarde A_2 zijn de waarden grijs gearceerd. Hiervoor is formeel geen beoordeling nodig.

Tabel 5.4: Beoordeling V_{per} voor een eigenfrequentie van 8 Hz (worse case)

Meetpunt	V_{max} nacht	V_{max} dag	V_{max} avond
Meetpunt 1	0,013	0,015	0,013
Meetpunt 2	-	0,010	-
Meetpunt 3	0,025	0,023	0,019
Meetpunt 4	0,025	0,022	0,022

Uit tabel 5.4 blijkt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet aan de streefwaarde A_3 . In combinatie met de beoordeling in tabel 5.2 betekent dit resultaat dat de kans op hinder in de avondperiode niet aanwezig is, maar in de dag- en nachtperiodes wel.

In tabel 5.5 is een overzicht weergegeven van de beoordeling van V_{per} voor een vloer-eigenfrequentie van 16 Hz. Ook hier betekent een groen gearceerde waarde dat voldaan wordt aan de streefwaarde A_3 .

Tabel 5.5: Beoordeling V_{per} voor een eigenfrequentie van 16 Hz

Meetpunt	V_{max} nacht	V_{max} dag	V_{max} avond
Meetpunt 1	0,013	0,016	0,014
Meetpunt 2	-	0,010	n.v.t.
Meetpunt 3	0,025	0,023	0,019
Meetpunt 4	0,025	0,022	0,022

Uit tabel 5.5 blijkt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voor alle gebouwen voldoet aan de streefwaarde A_3 . In combinatie met de beoordeling in tabel 5.3 betekenen de resultaten uit tabel 5.5 dat de kans op trillingshinder in de nieuwbouw (met uitzondering van meetpunt 3 in de nachtperiode) klein is zodra uit wordt gegaan van een vloer-eigenfrequentie van 16 Hz of hoger.

6 Beschouwing

6.1 Conservatief model

Het is van belang om te beseffen dat het rekenmodel conservatief rekent en uitgaat van ongunstige situaties. Deze wijze van rekenen past bij de bepaling van een maximale waarde zoals $V_{\max}$. Het rekenmodel is zo opgebouwd dat de kans op een lagere trillingssterkte dan geprognosticeerd, groter is dan de kans op een hogere trillingssterkte dan geprognosticeerd.

6.2 Keuze eigenfrequentie van de vloeren

De keuze van de eigenfrequentie van de vloeren is van belang voor de uiteindelijke trillingssterkte in de toekomstige woningen. Uit de meet- en rekenresultaten blijkt dat een eigenfrequentie in ordegrootte 8 Hz ongunstig is voor woningen omdat de aanstoting veel energie in deze frequenties bevat. De meest gunstige eigenfrequentie is 20 Hz (of hoger). Dit is tevens de hoogste frequentie waarmee in het prognosemodel gerekend is. Het is mogelijk dat een hogere eigenfrequentie nog gunstiger is, maar dat is in de praktijk lastig te realiseren.

Uit de prognose blijkt ook dat in de meeste gevallen kan worden voldaan met een eigenfrequentie van 16 Hz. In de nachtperiode wordt een trillingssterkte geprognosticeerd van 0,20, wat een geringe overschrijding is ten opzichte van de bovenste streefwaarde A_2 (0,2). Aangezien het gebruikte model conservatief is, bestaat de kans dat de daadwerkelijke trillingssterkte lager uitvalt en ook in de nachtperiode kan worden voldaan.

Om een eerste vloer eigenfrequentie van 16 Hz te kunnen realiseren, zouden de volgende (generieke) maatregelen kunnen worden toegepast (vanuit het 'standaard' ontwerp):

- Toepassen van een kleinere overspanning.
- Toepassen van een grotere vloerdikte.
- Toepassen van een lichtere vloer met grote stijfheid.

Met deze aanpassingen van het ontwerp kan hinder van trillingen in de nieuwbouw als gevolg van passerende treinen worden voorkomen en zijn geen aanvullende maatregelen of trillingsonderzoek(en) benodigd.

7 Conclusie

Het uitgevoerde trillingsonderzoek voor het bouwplan De Blauwtjes te Breda leidt samenvattend tot de volgende conclusies:

1. In het project kan trillingshinder op voorhand niet worden uitgesloten. Bij een ongunstige eigenfrequentie van de vloeren zal de maximale trillingssterkte in de nachtperiode (0,43) de streefwaarde A_2 voor de nachtperiode uit SBR-B (0,2) met ruim een factor twee overschrijden. Ook in de dagperiode is een kleine overschrijding van de streefwaarde A_2 te verwachten (0,4) met een maximale trillingssterkte van 0,42.
2. Zelfs bij een ongunstige eigenfrequentie zal de gemiddelde trillingssterkte V_{per} van 0,03 ongeacht de beoordelingsperiode voldoen aan de streefwaarde A_3 van 0,05.
3. Als rekening wordt gehouden met een gunstige eerste eigenfrequentie van de vloeren wordt de resulterende trillingssterkte in de woningen lager. Bij een eigenfrequentie van indicatief 16 Hz is een maximale trillingssterkte in de nachtperiode van 0,20 te verwachten. Formeel een overschrijding van de streefwaarde A_2 (0,2) maar gezien de nauwkeurigheid van het model, niet significant. Ook bij een hogere eerste eigenfrequentie van de vloeren zal de maximale trillingssterkte V_{max} ruim voldoen aan de streefwaarde uit SBR-B.
4. Om een hogere eerste eigenfrequentie van de vloeren zijn aanpassingen van het ontwerp benodigd. Deze kunnen zijn o.a. het toepassen van een kleinere overspanning, een grotere vloerdikte, of het toepassen van een lichtere vloer met een grote stijfheid. De constructeur kan adviseren over welke aanpassingen van het ontwerp leiden tot het gewenste eerste eigenfrequentie.
5. Met de geadviseerde aanpassing van het ontwerp kan worden voldaan aan de streefwaarden uit SBR-B. Daarom worden geen aanvullende maatregelen geadviseerd om de optredende trillingsniveaus te verkleinen.

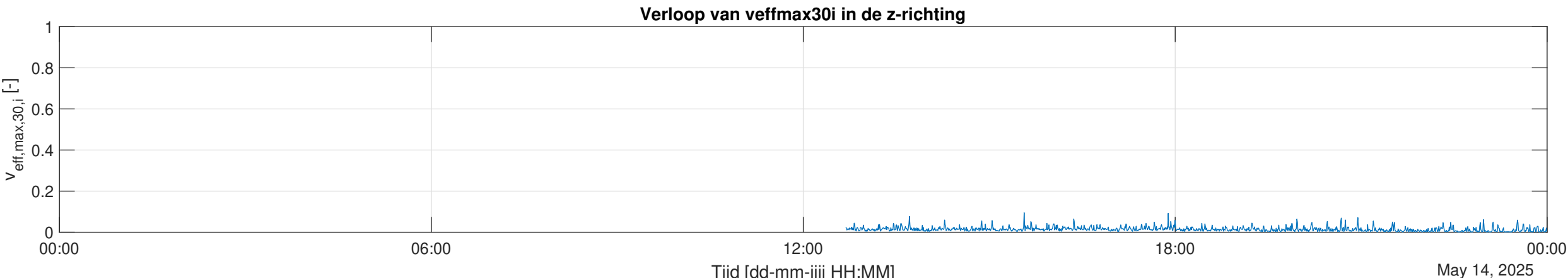
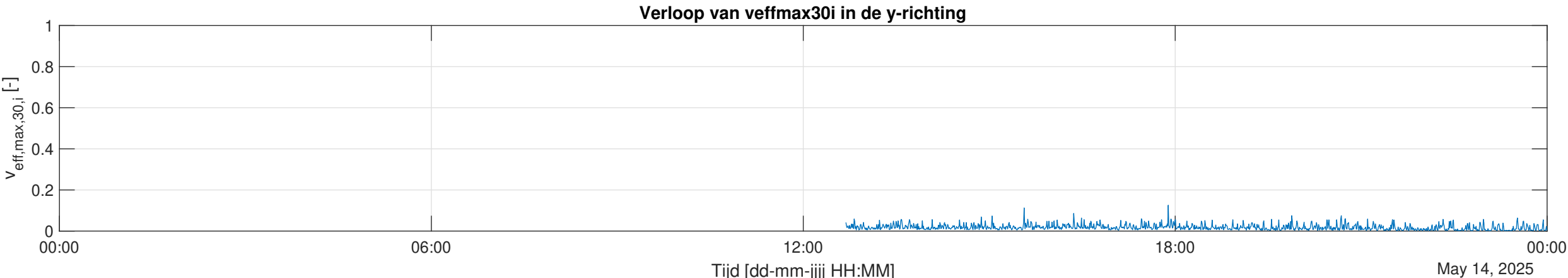
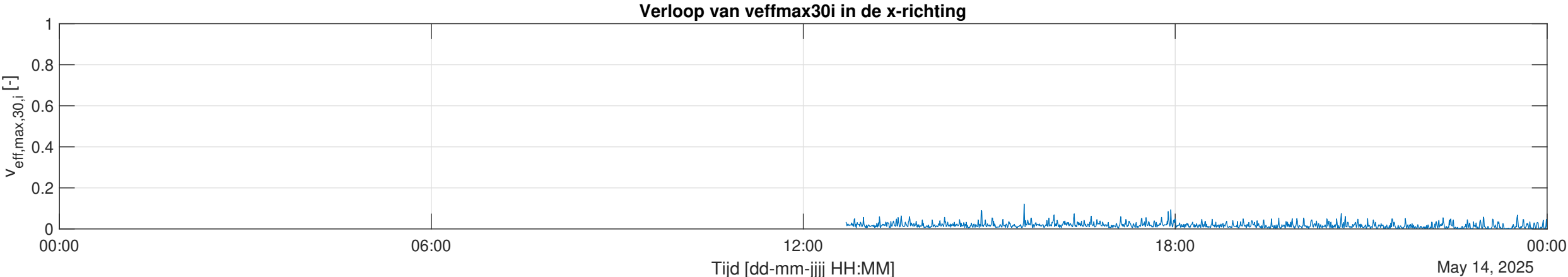
Cauberg Huygen B.V.



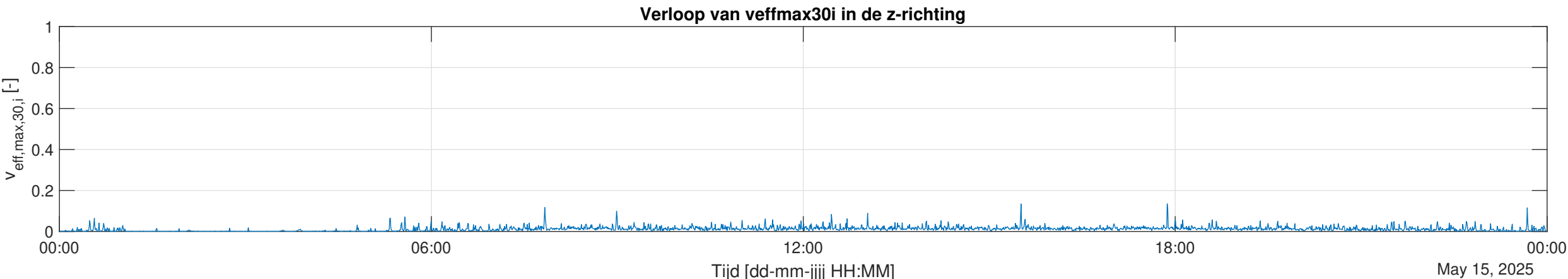
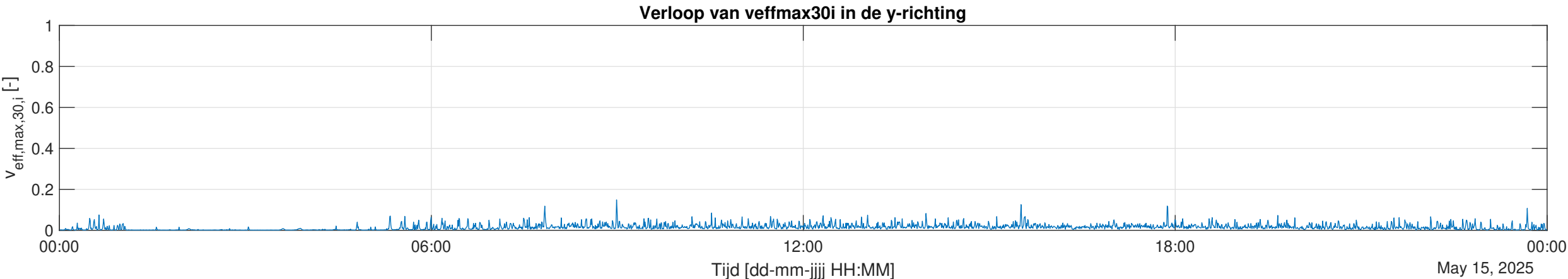
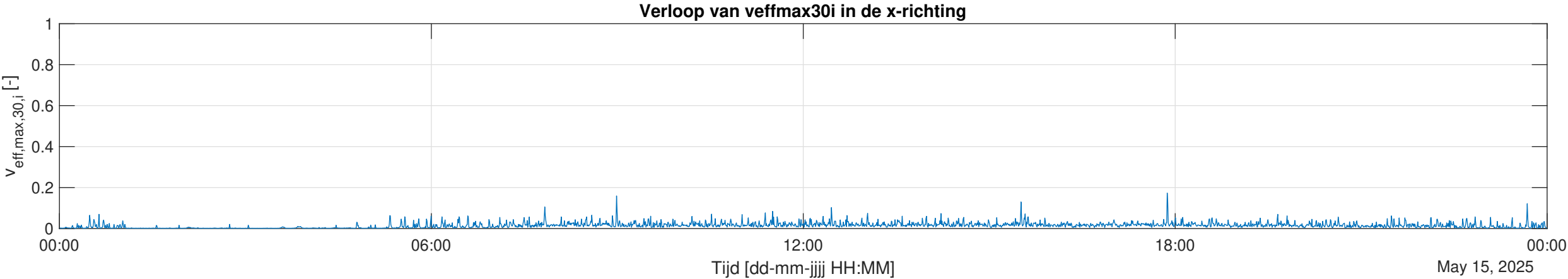
De heer ing. H.E.O. Williams
Adviseur

Bijlage I Verloop $v_{\text{eff,max},30,i}$ per meetpunt

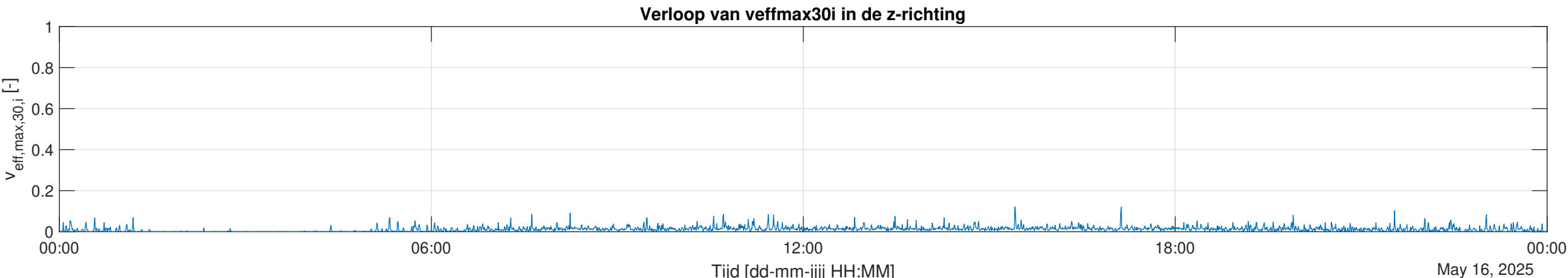
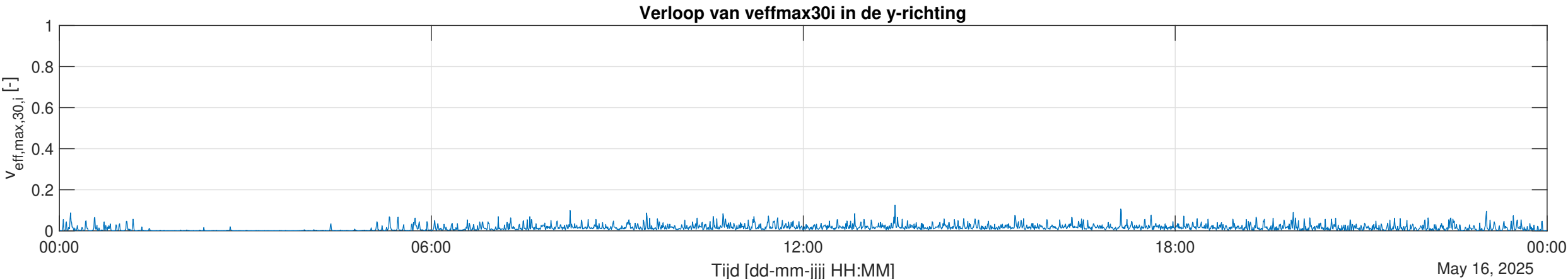
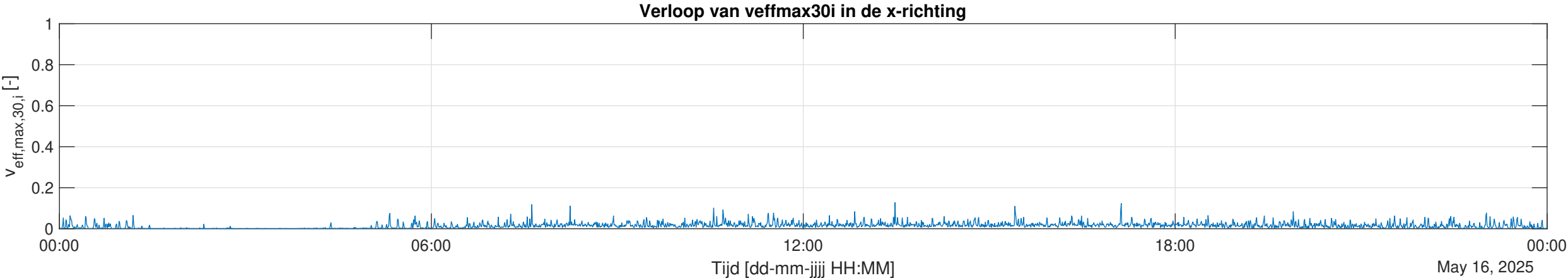
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 14-05-2025 en 15-05-2025



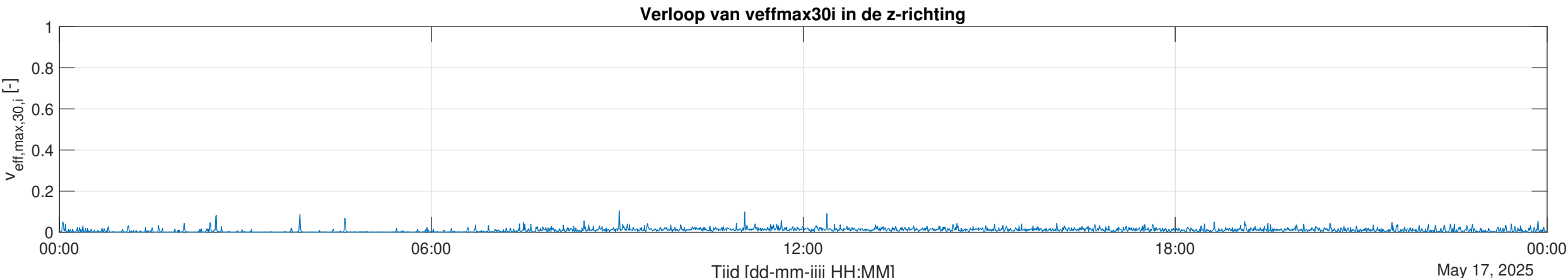
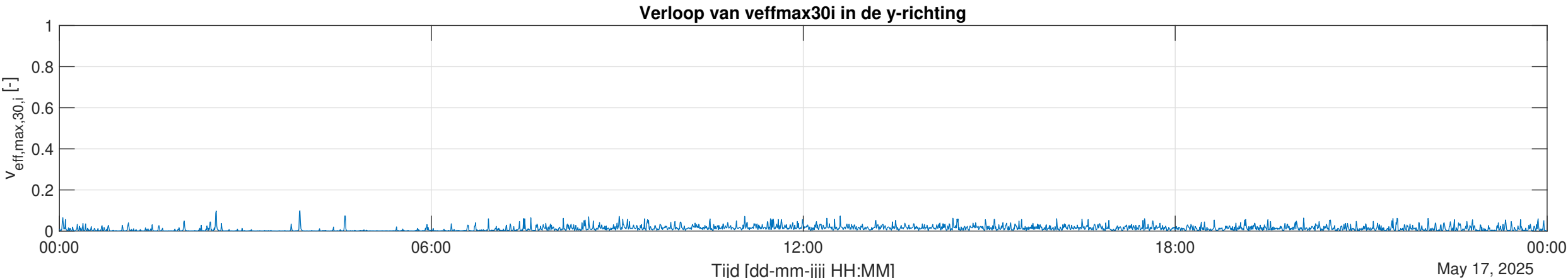
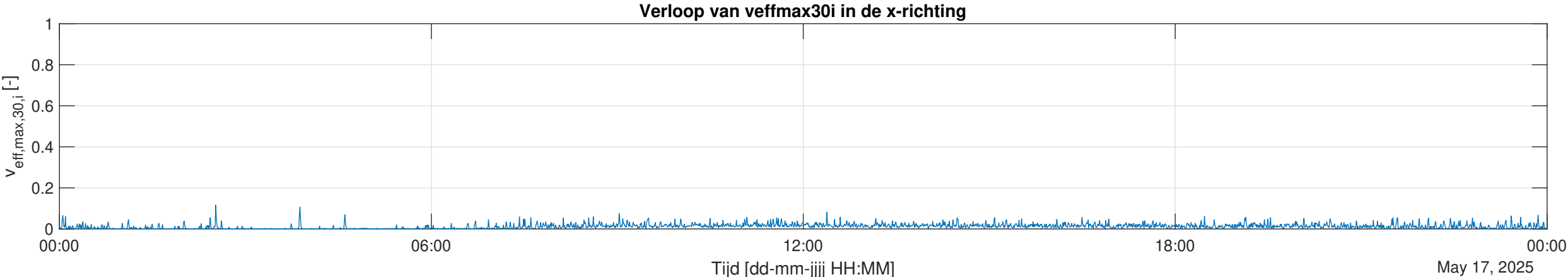
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 15-05-2025 en 16-05-2025



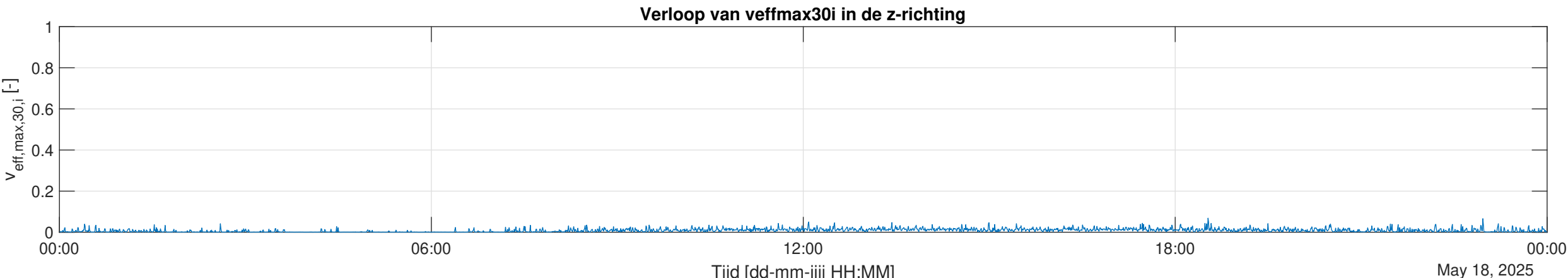
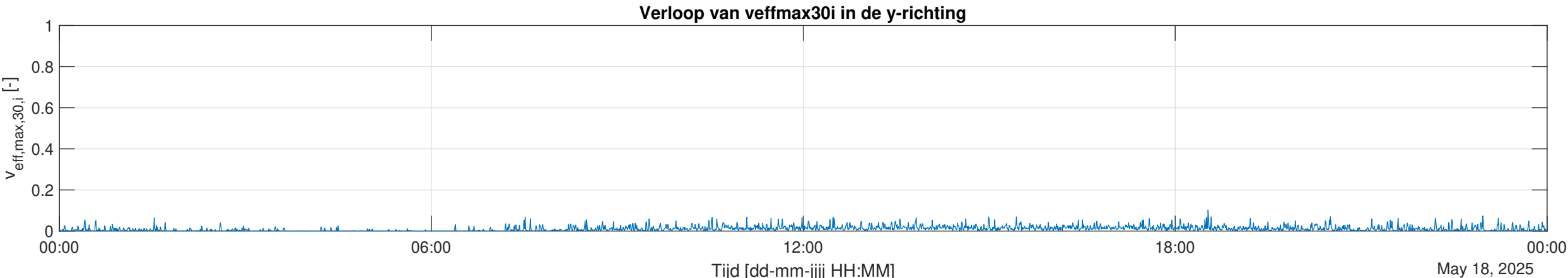
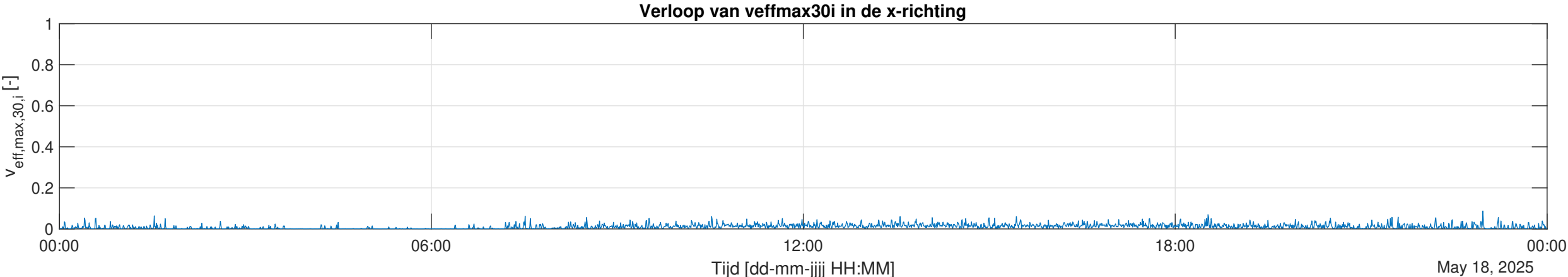
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 16-05-2025 en 17-05-2025



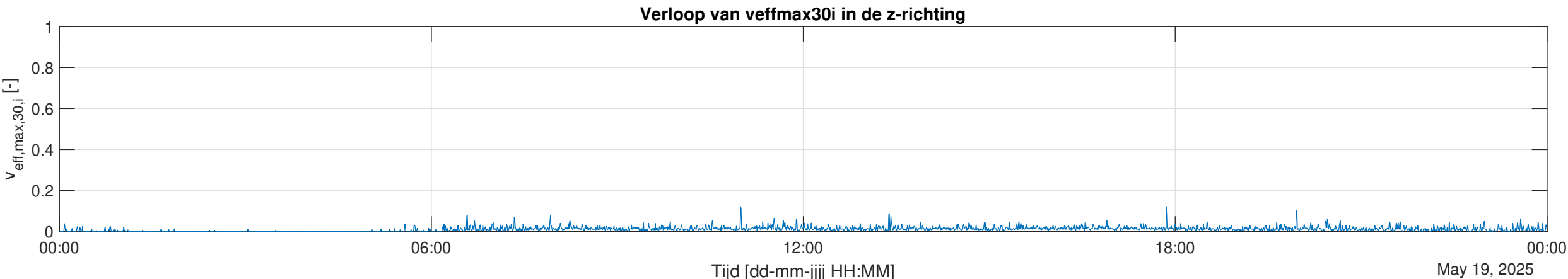
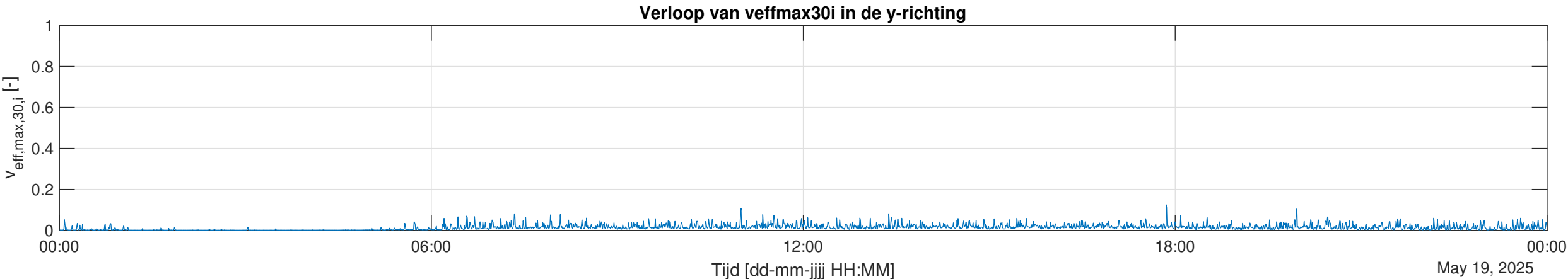
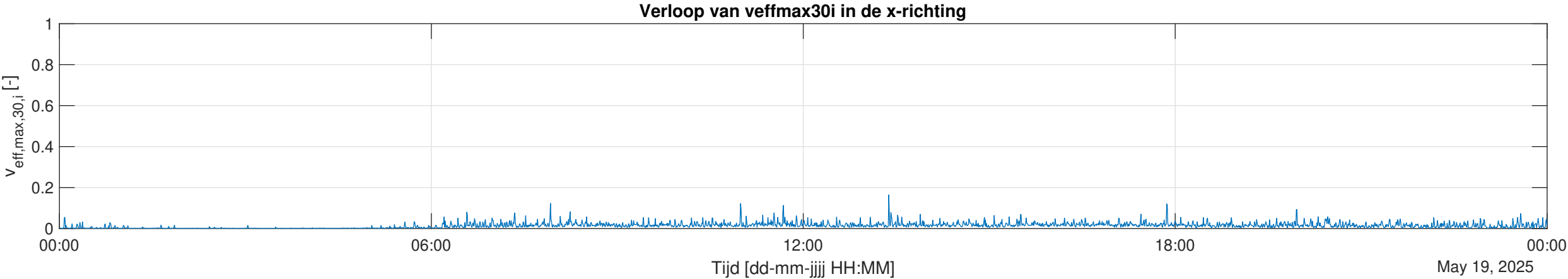
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 17-05-2025 en 18-05-2025



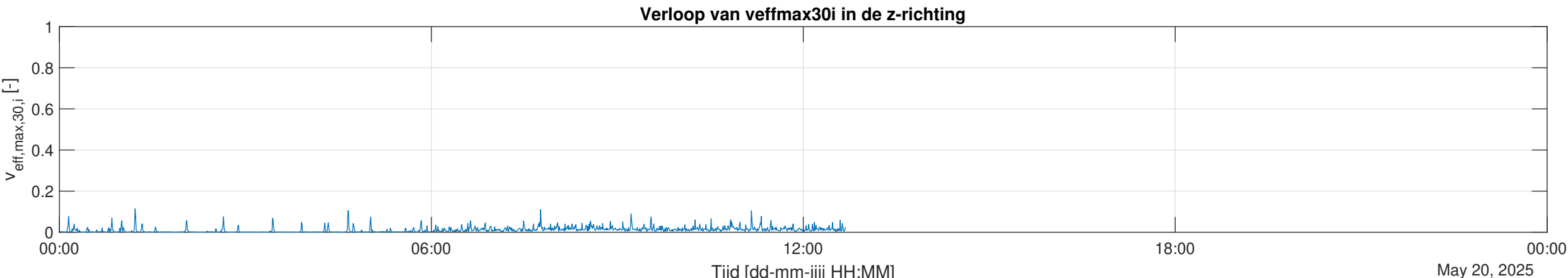
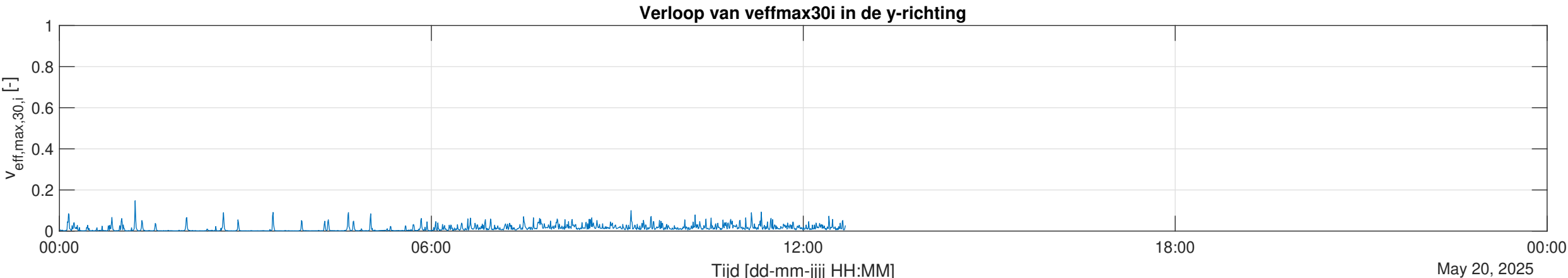
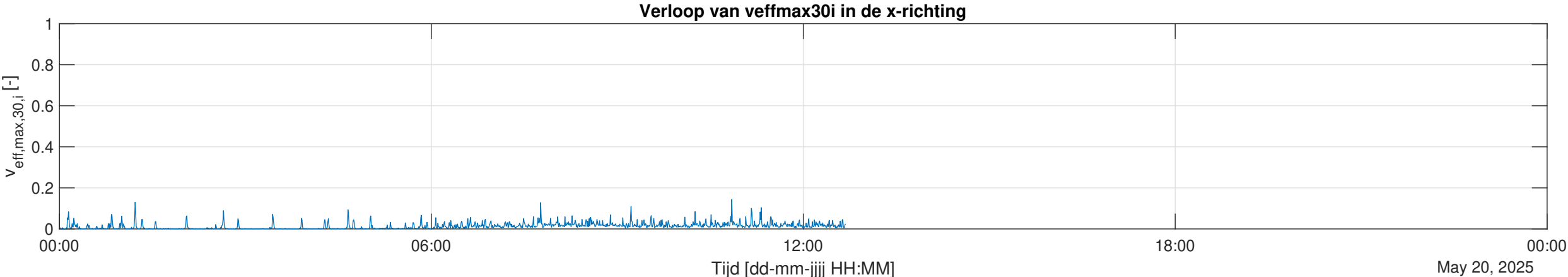
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 18-05-2025 en 19-05-2025



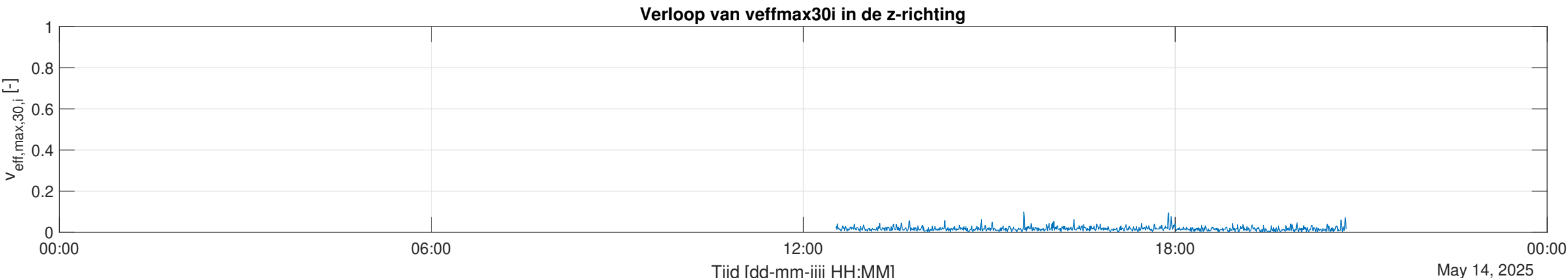
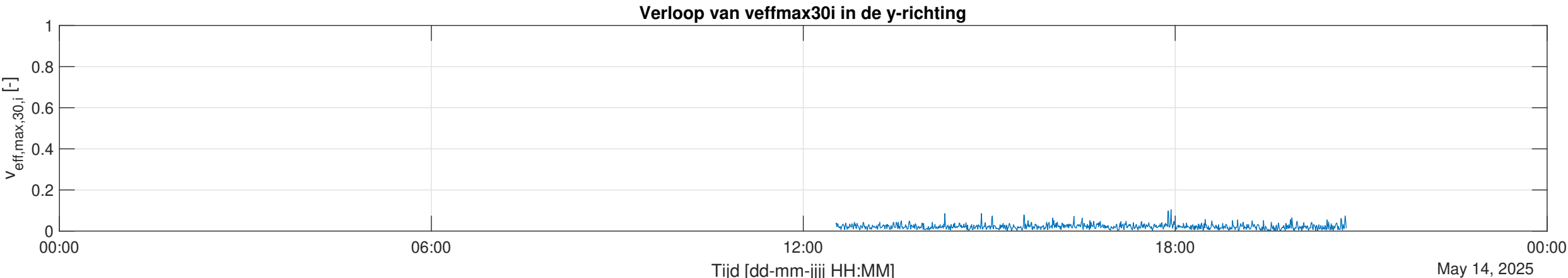
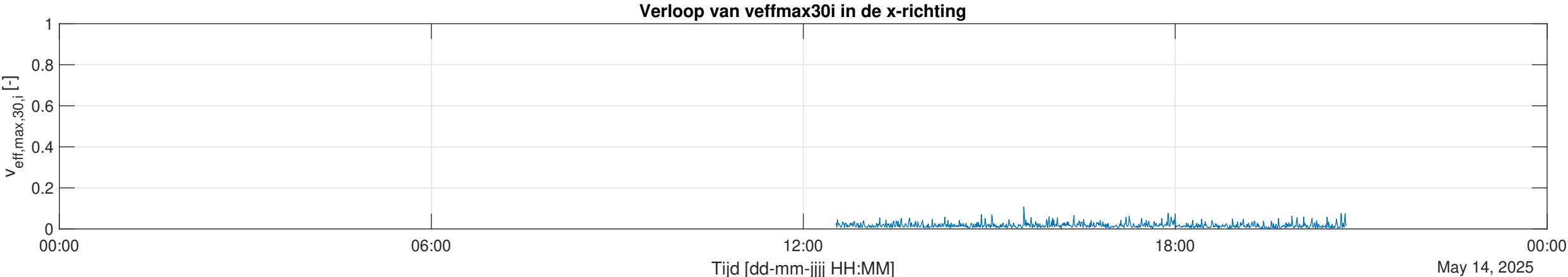
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 19-05-2025 en 20-05-2025



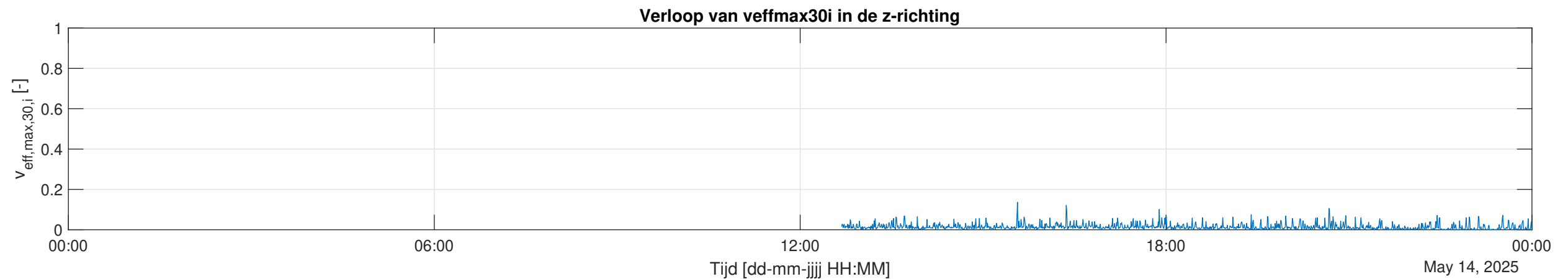
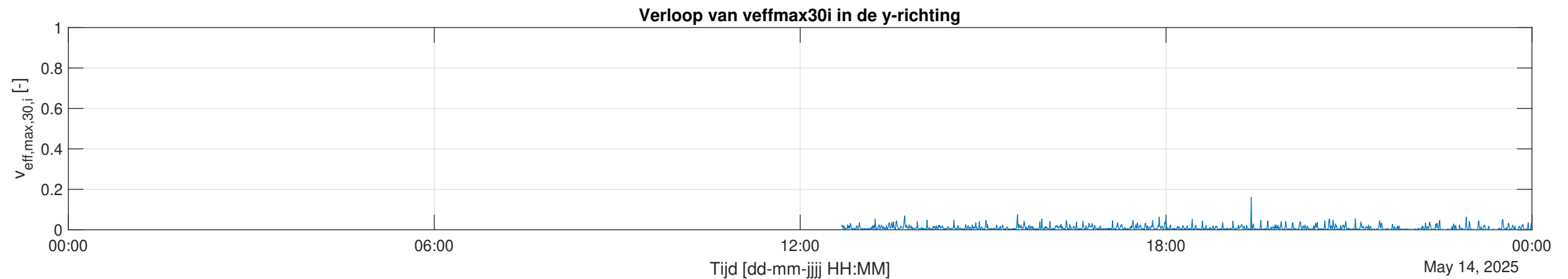
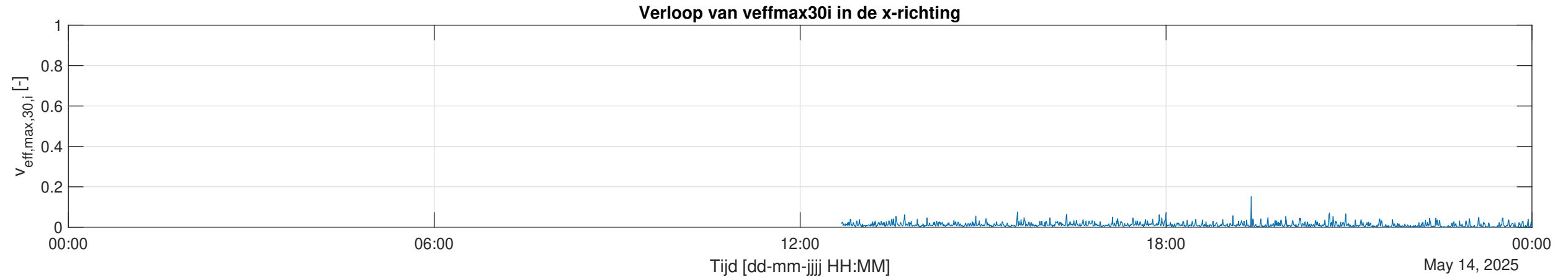
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT31 blauwtjes mp1 tussen 20-05-2025 en 21-05-2025



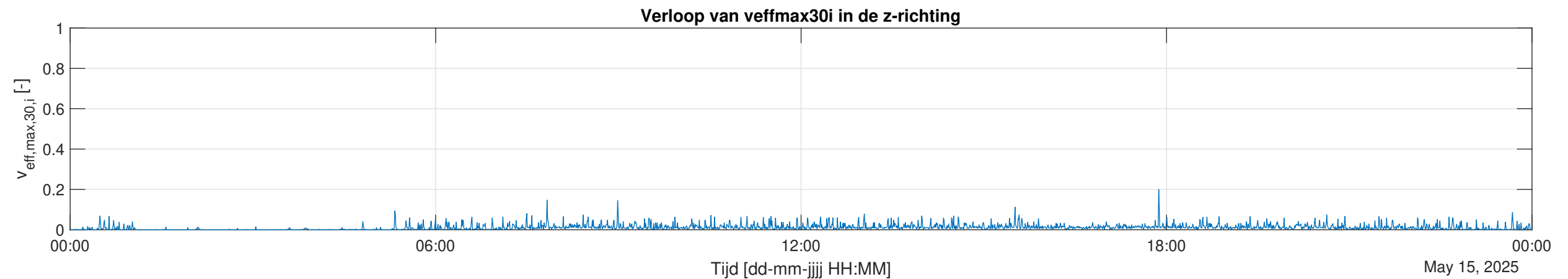
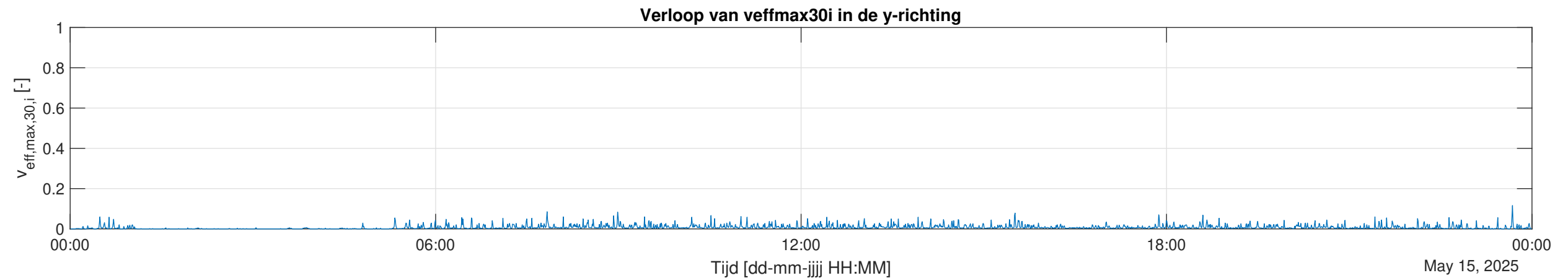
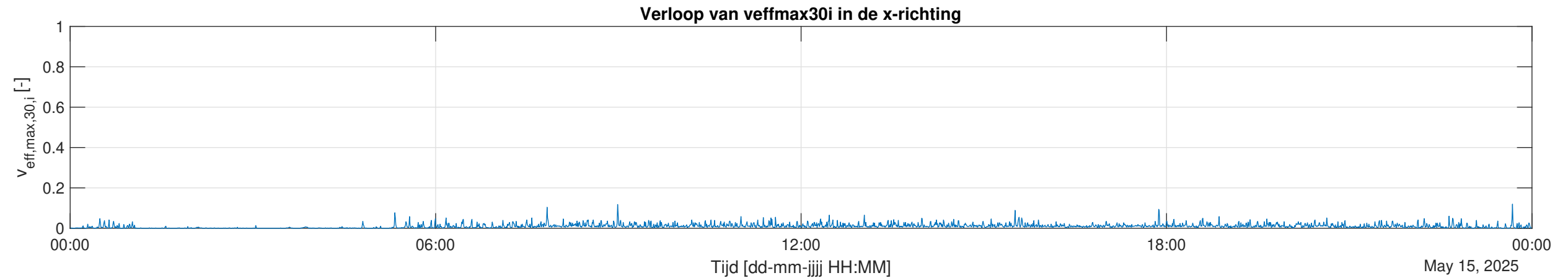
Verloop van veffmax30i gemeten bij background MT36 blauwtjes mp2 tussen 14-05-2025 en 15-05-2025



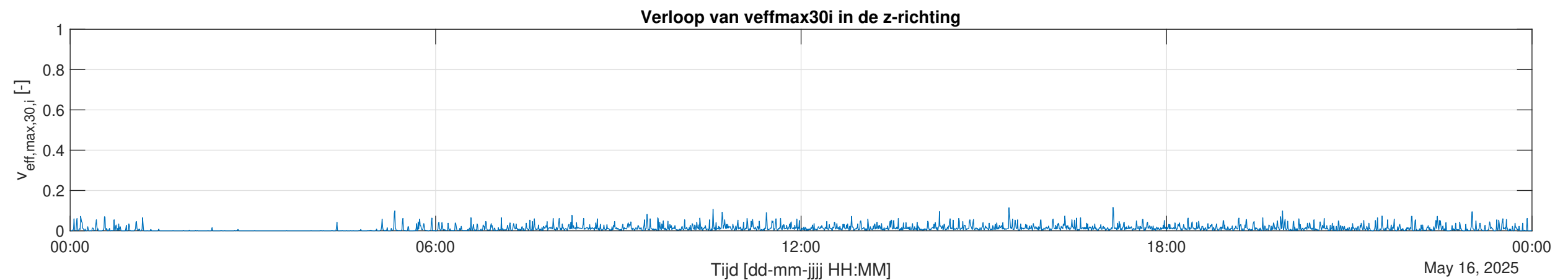
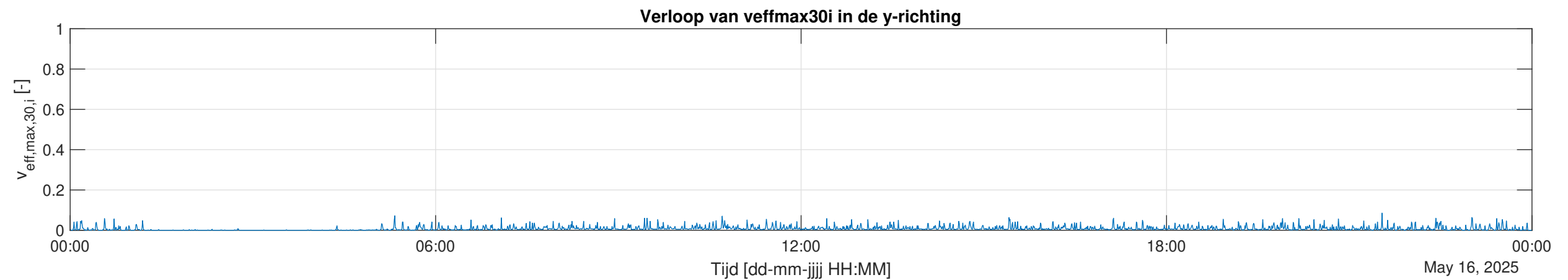
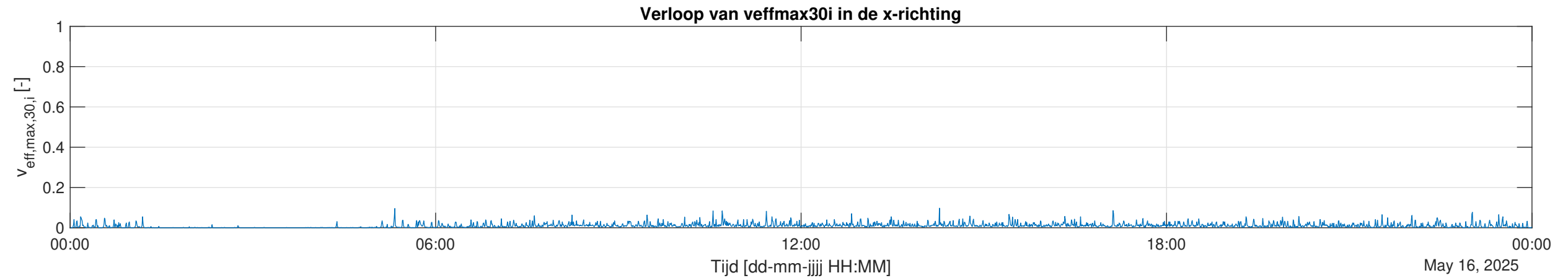
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 14-05-2025 en 15-05-2025



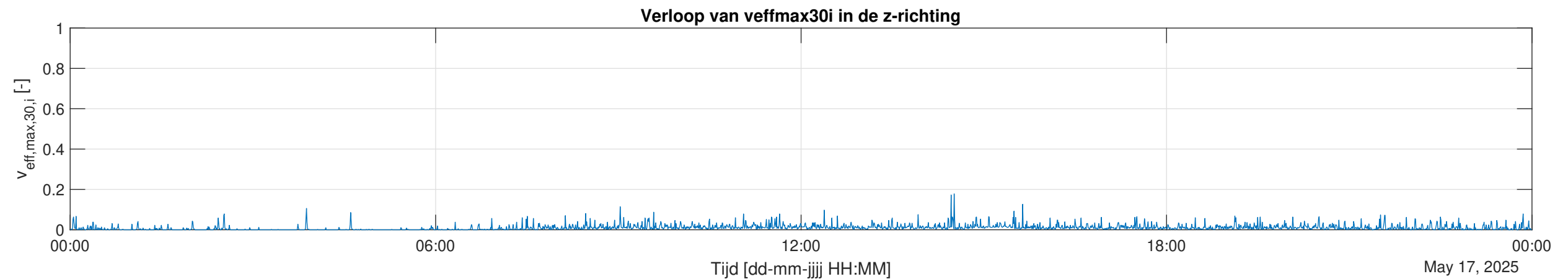
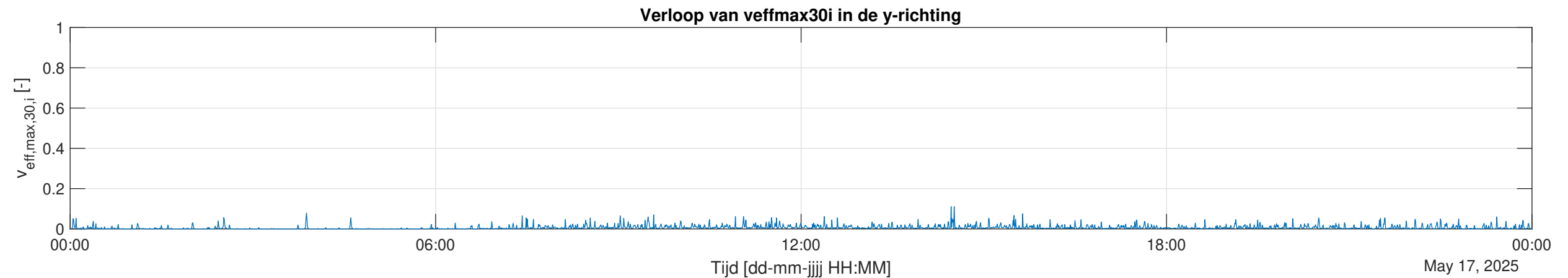
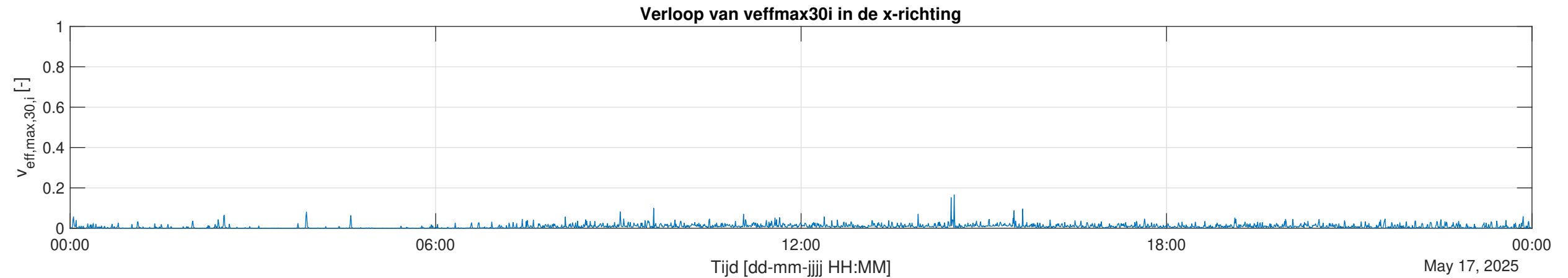
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 15-05-2025 en 16-05-2025



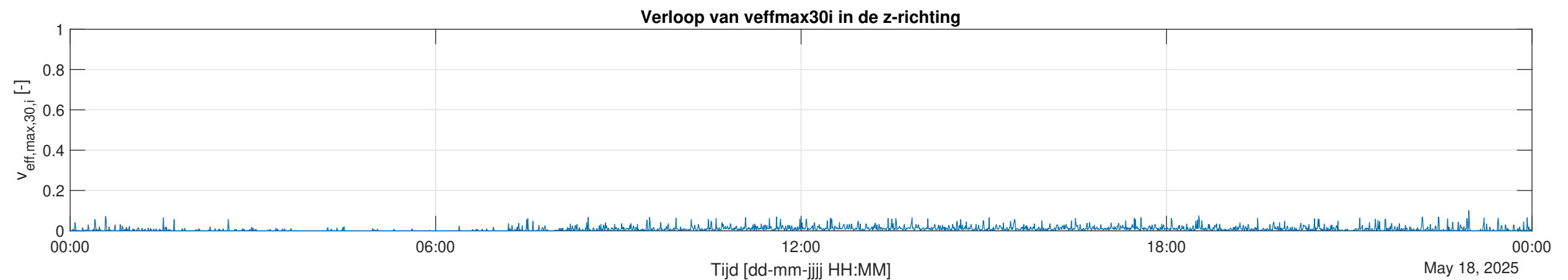
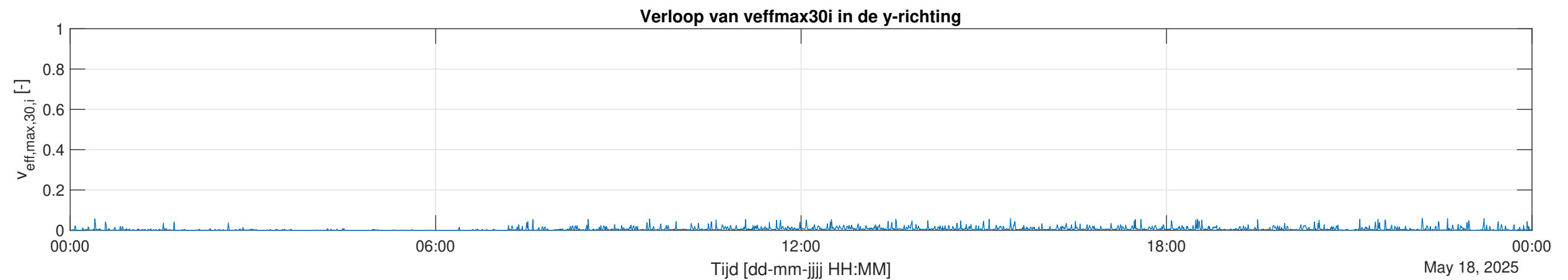
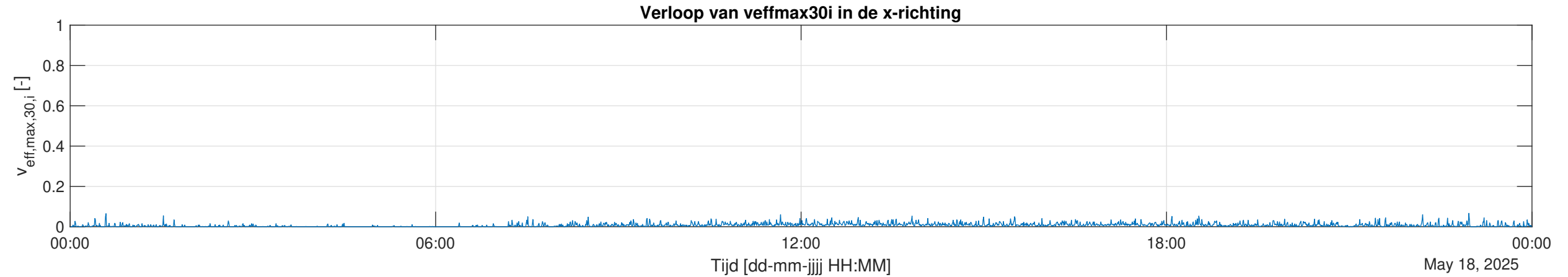
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 16-05-2025 en 17-05-2025



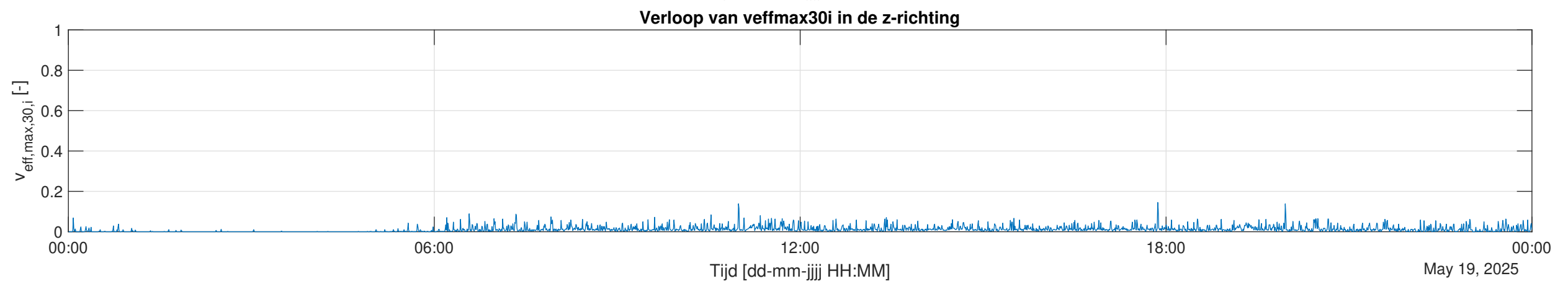
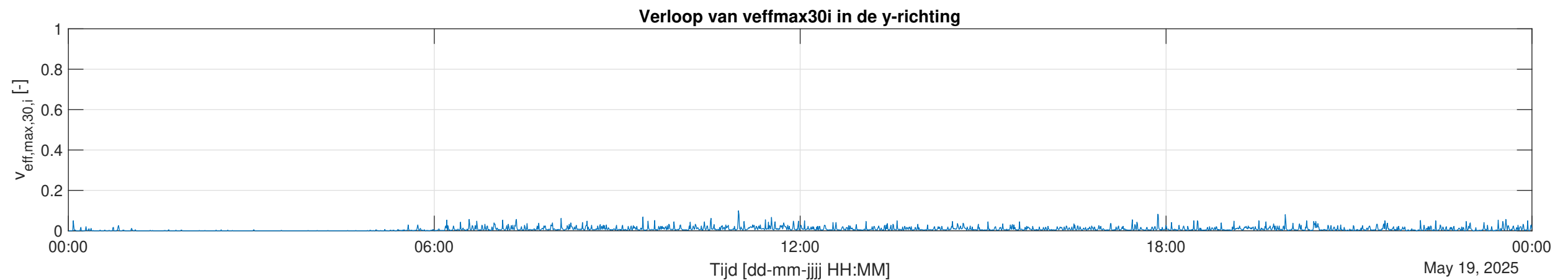
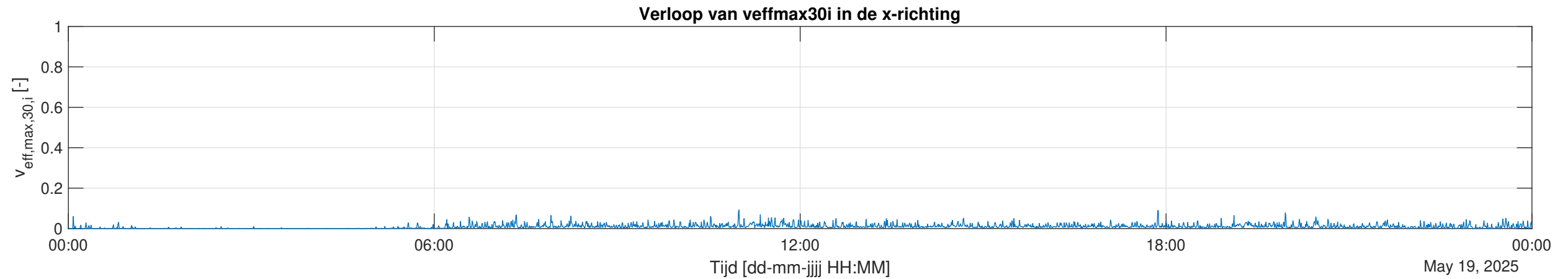
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 17-05-2025 en 18-05-2025



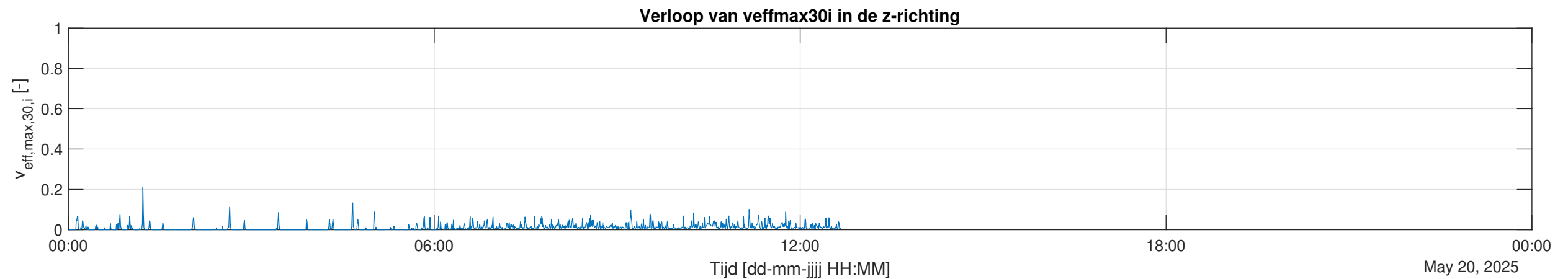
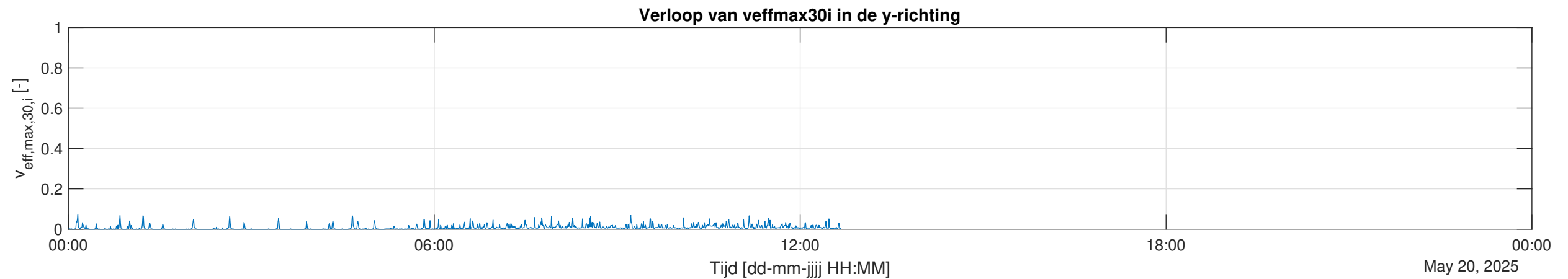
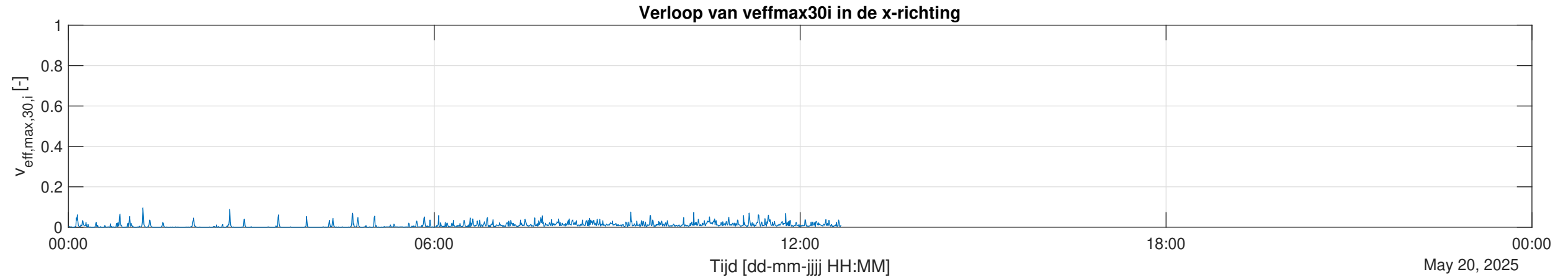
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 18-05-2025 en 19-05-2025



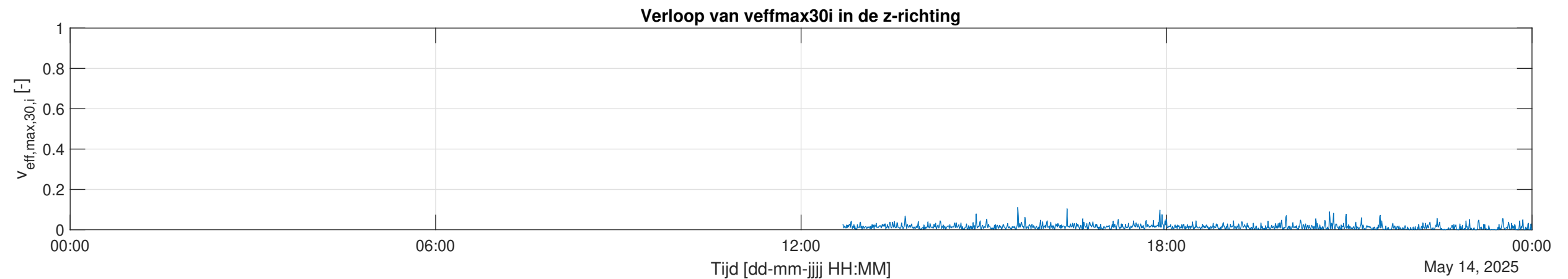
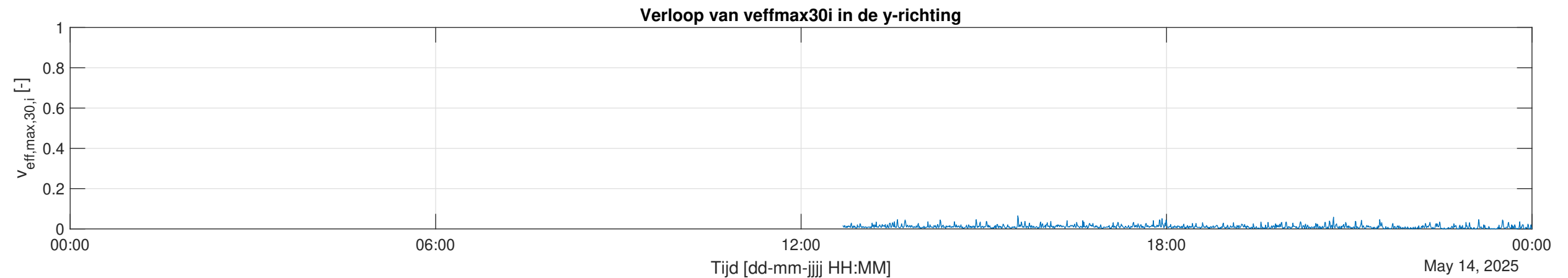
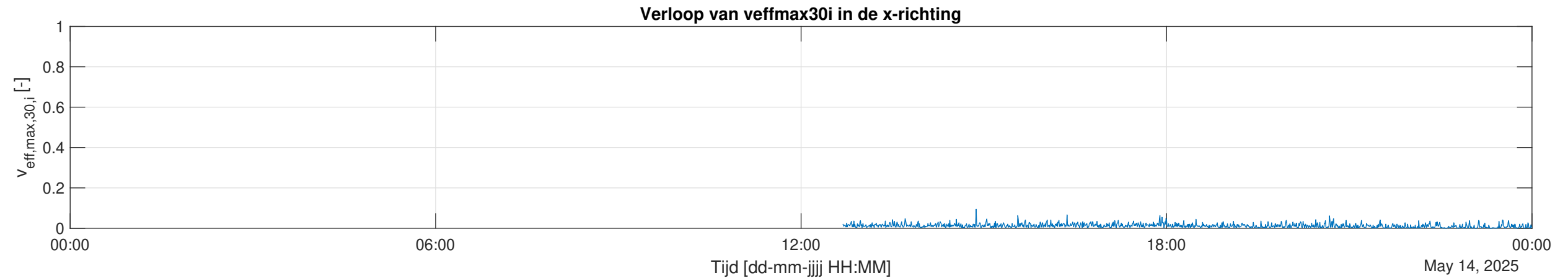
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 19-05-2025 en 20-05-2025



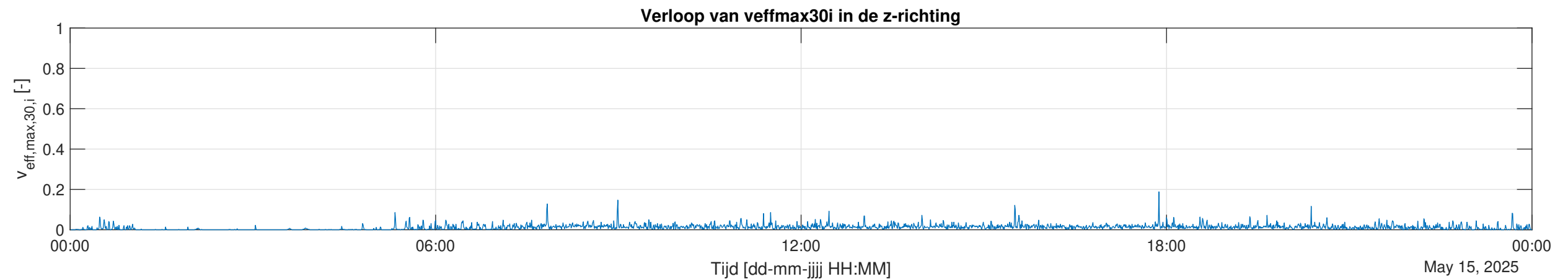
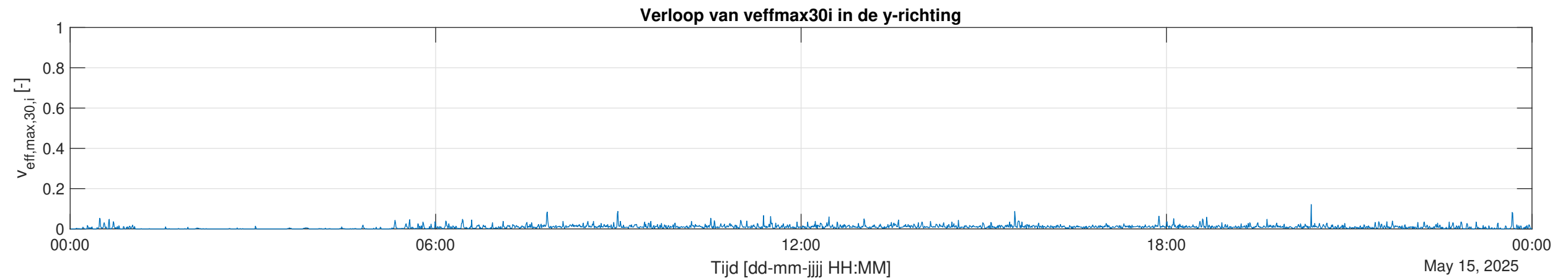
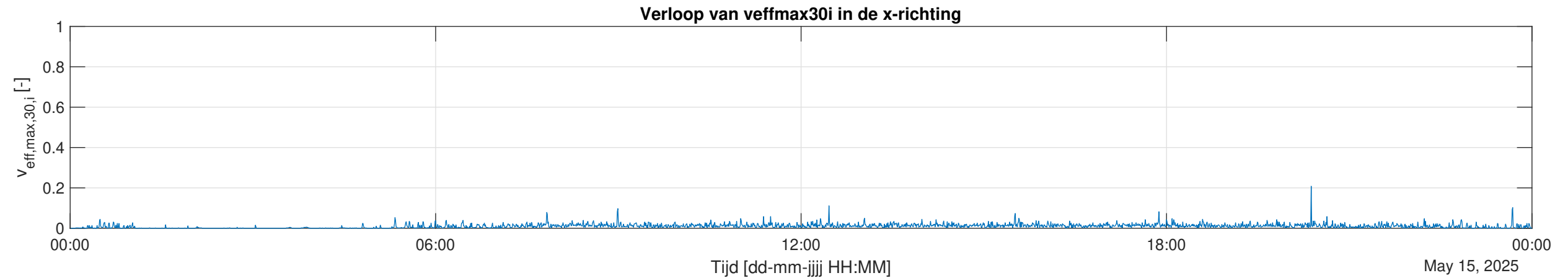
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT44 blauwtjes MP3 tussen 20-05-2025 en 21-05-2025



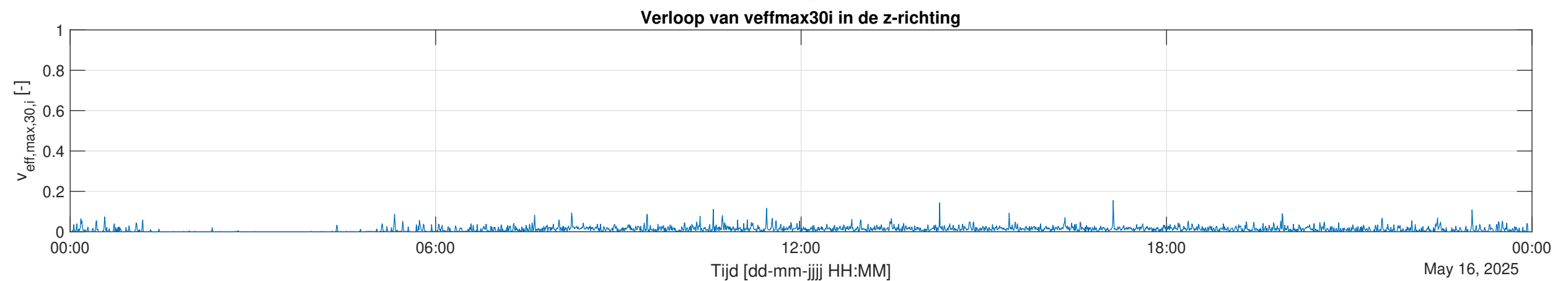
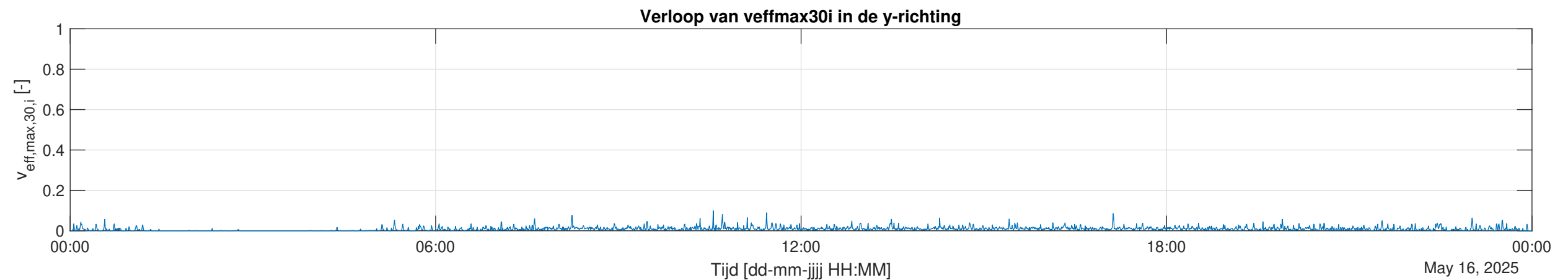
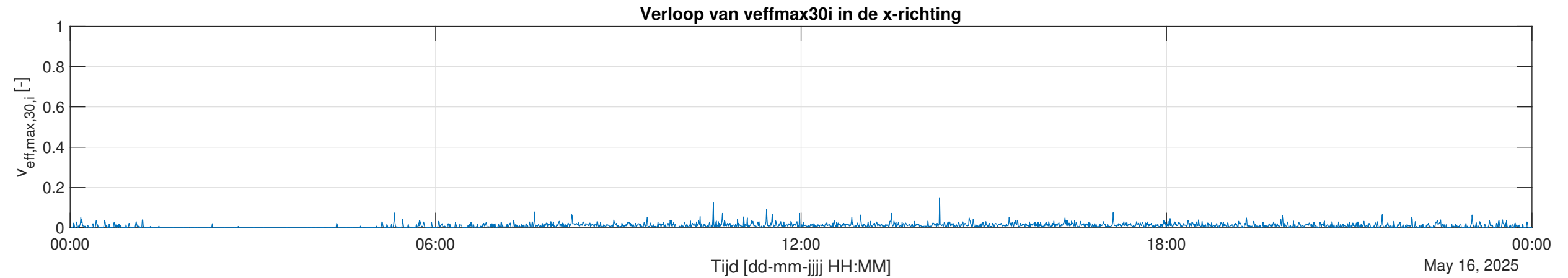
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 14-05-2025 en 15-05-2025



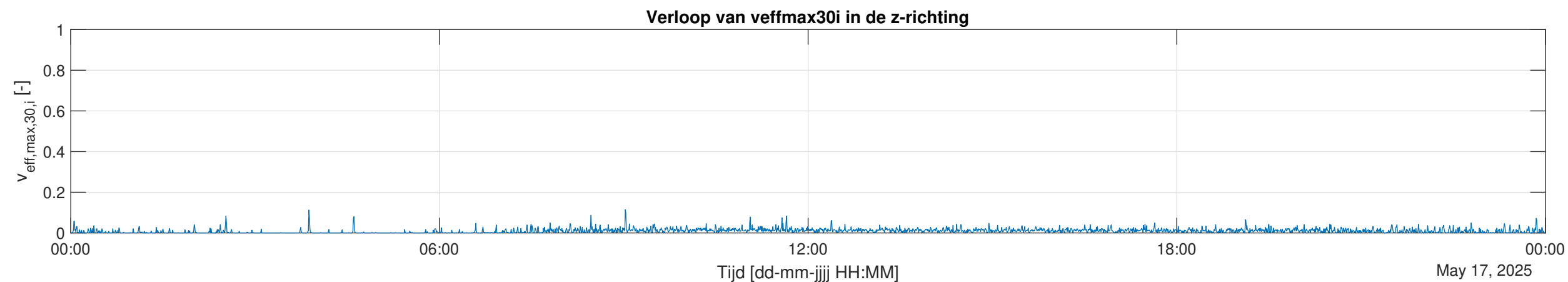
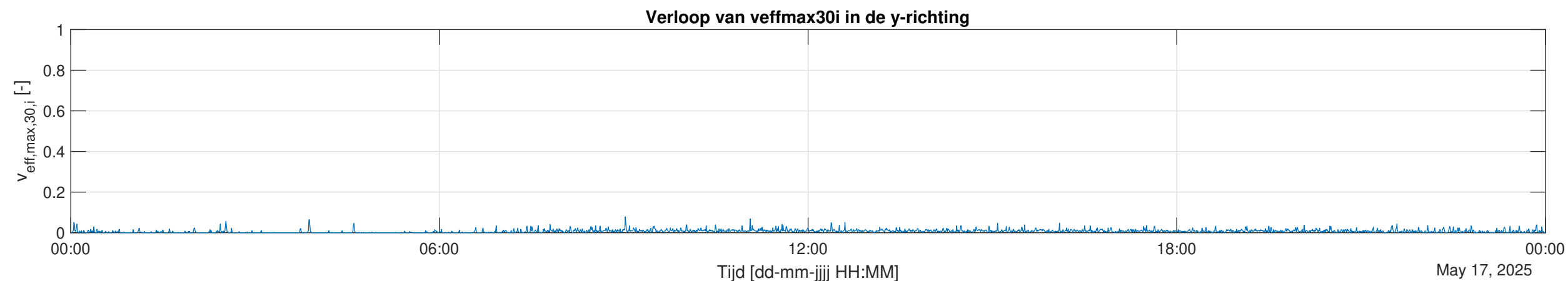
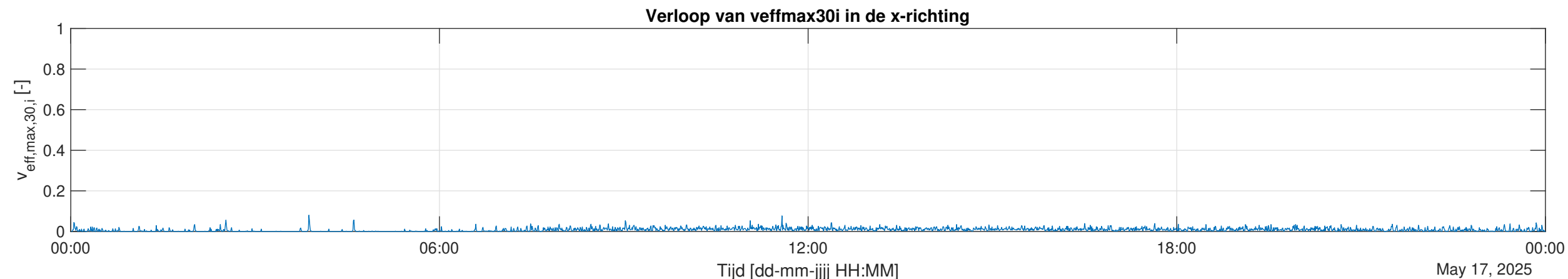
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 15-05-2025 en 16-05-2025



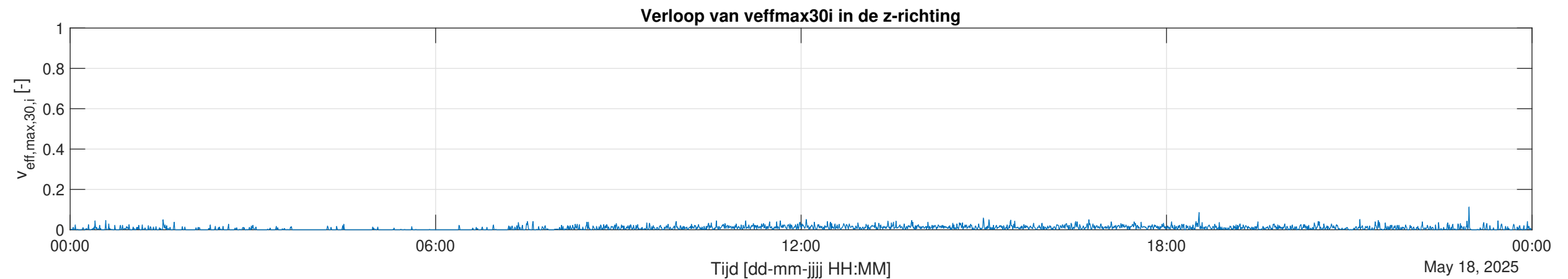
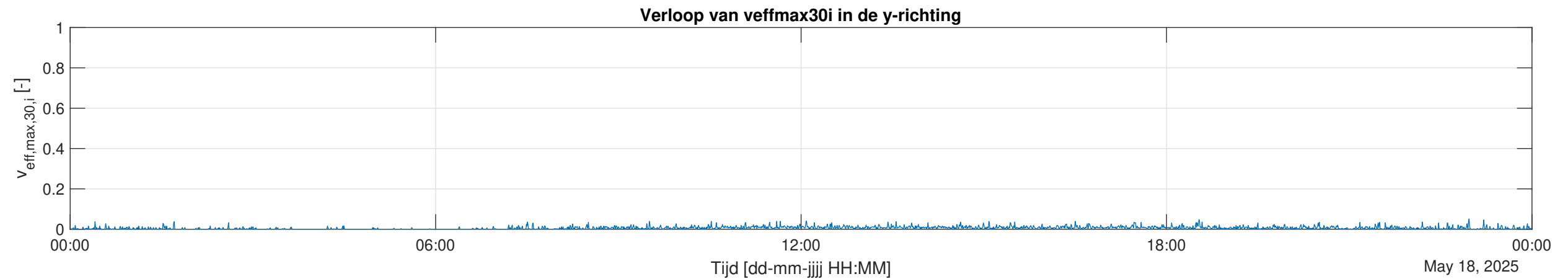
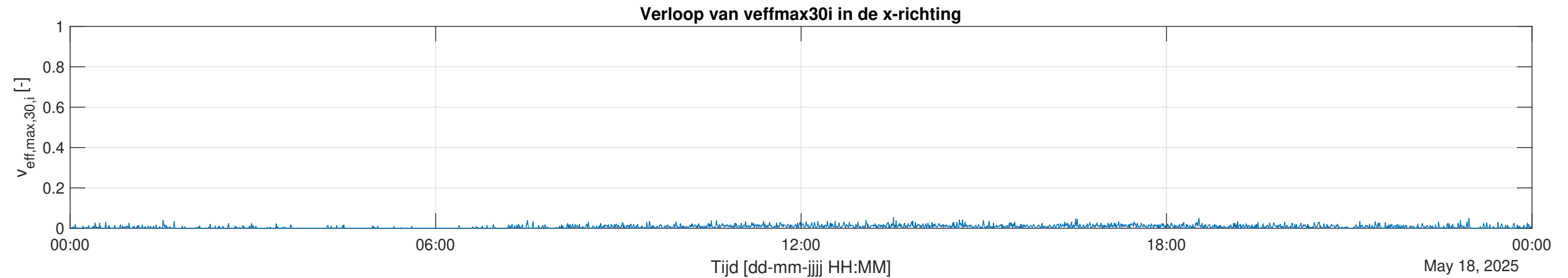
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 16-05-2025 en 17-05-2025



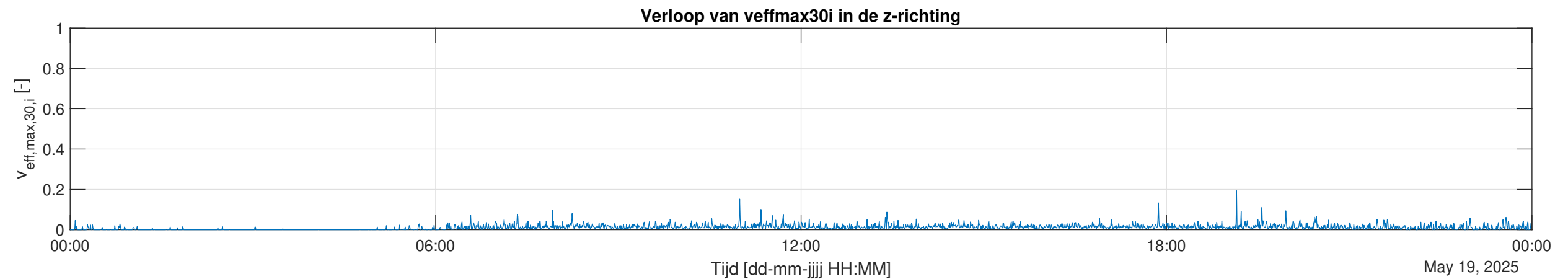
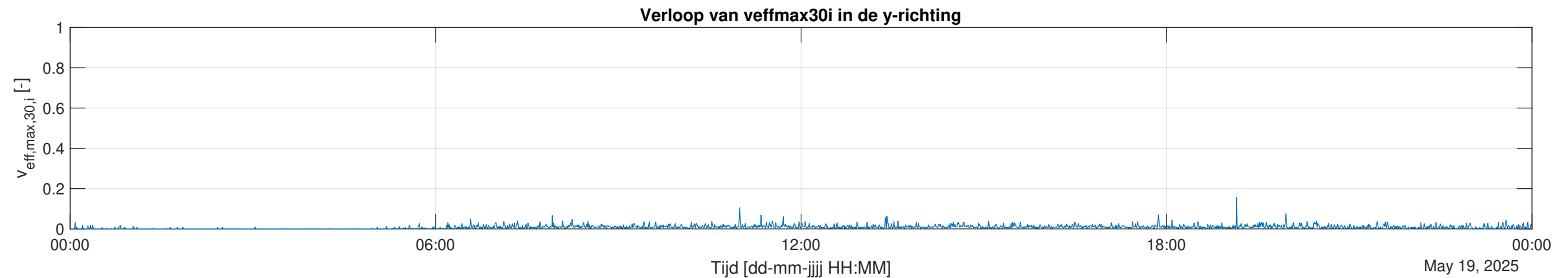
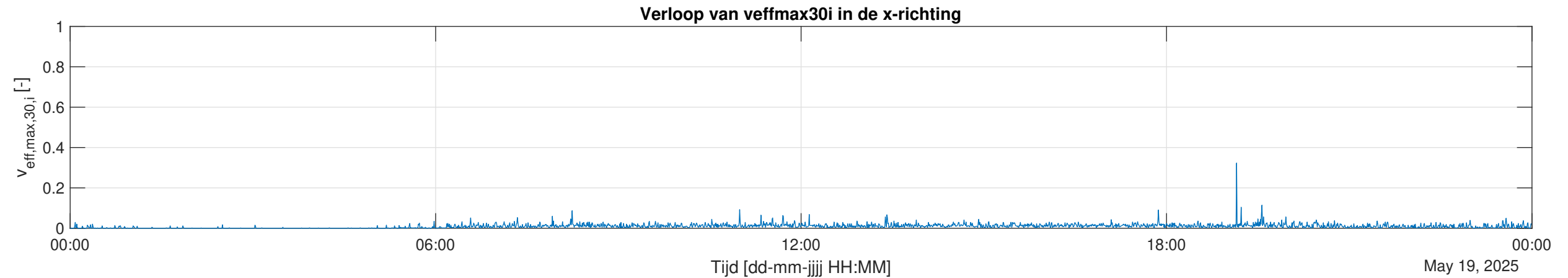
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 17-05-2025 en 18-05-2025



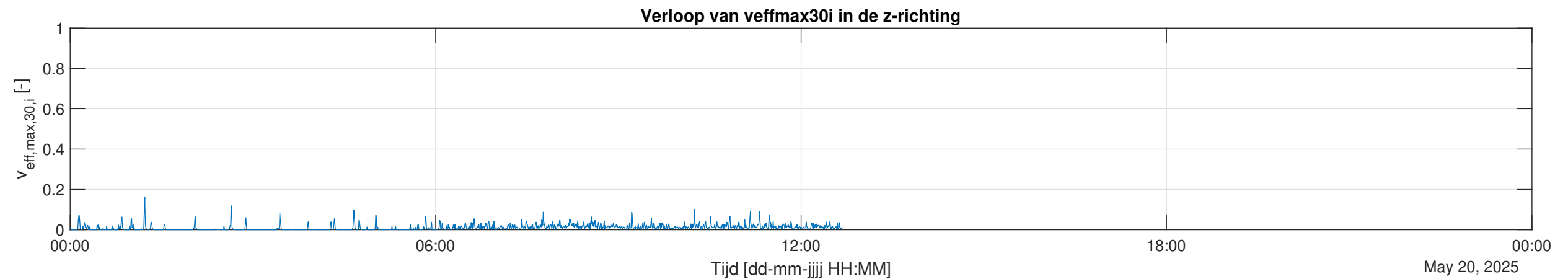
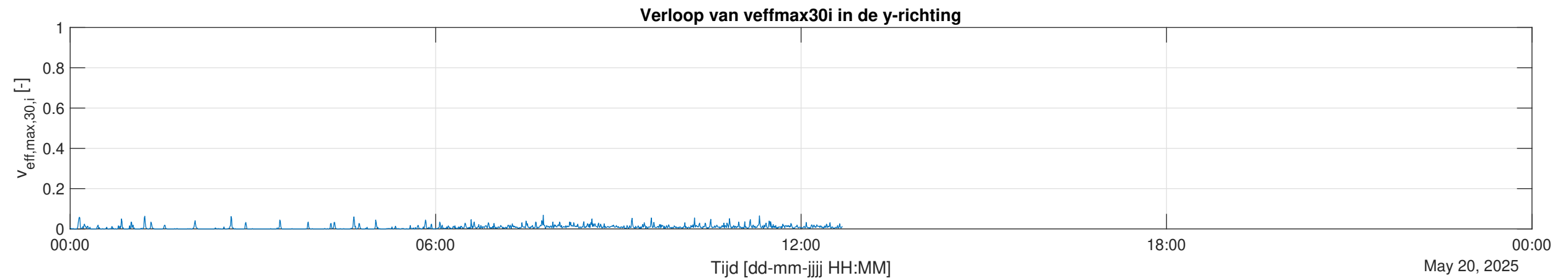
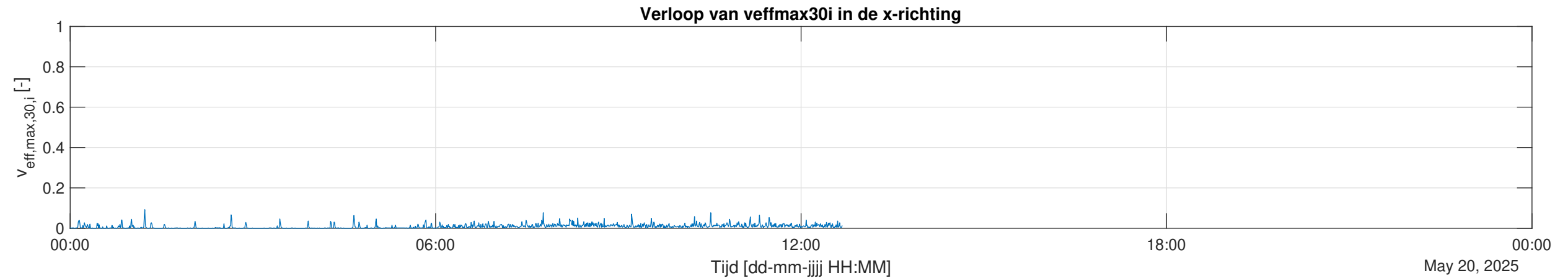
Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 18-05-2025 en 19-05-2025



Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 19-05-2025 en 20-05-2025

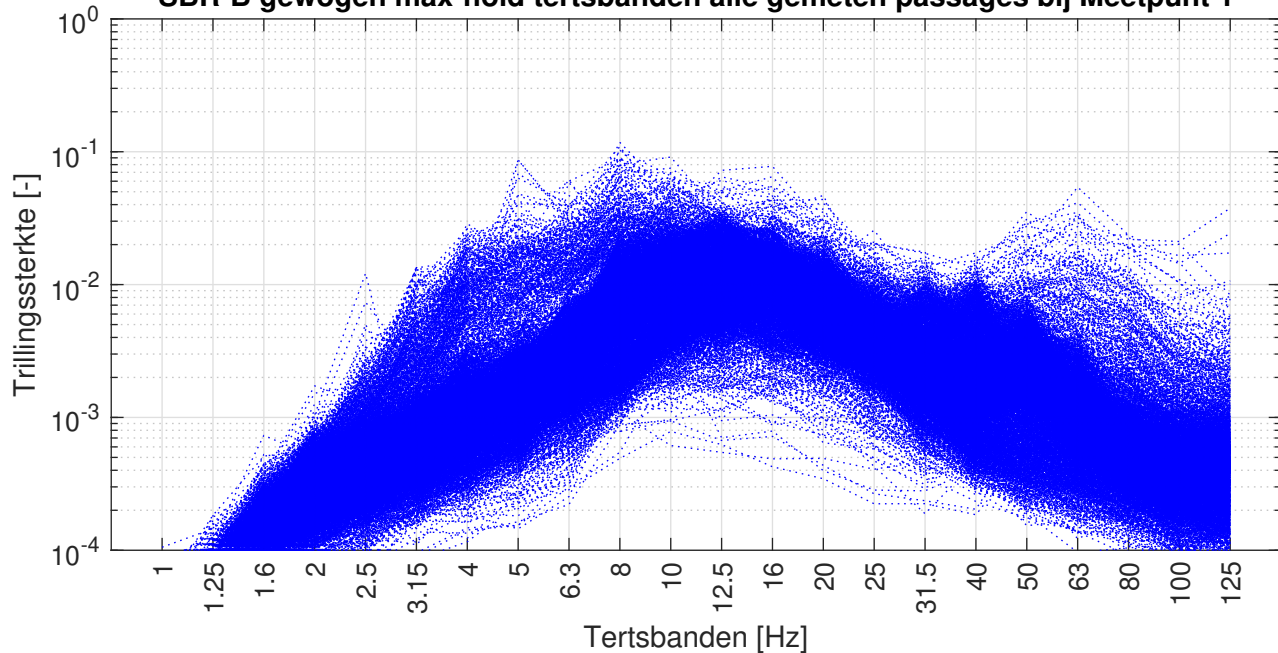


Verloop van veffmax30i gemeten bij background ZT46 blauwtjes mp4 tussen 20-05-2025 en 21-05-2025

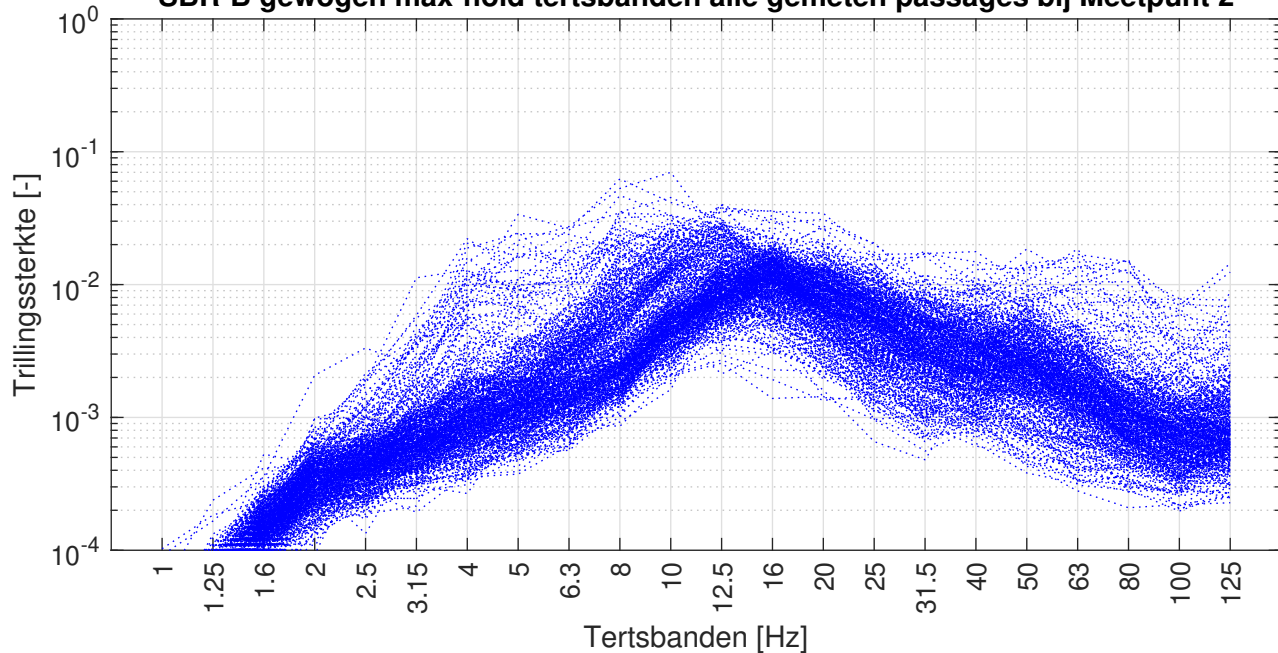


Bijlage II SBR-B gewogen tertsbandspectra voor prognosemodel

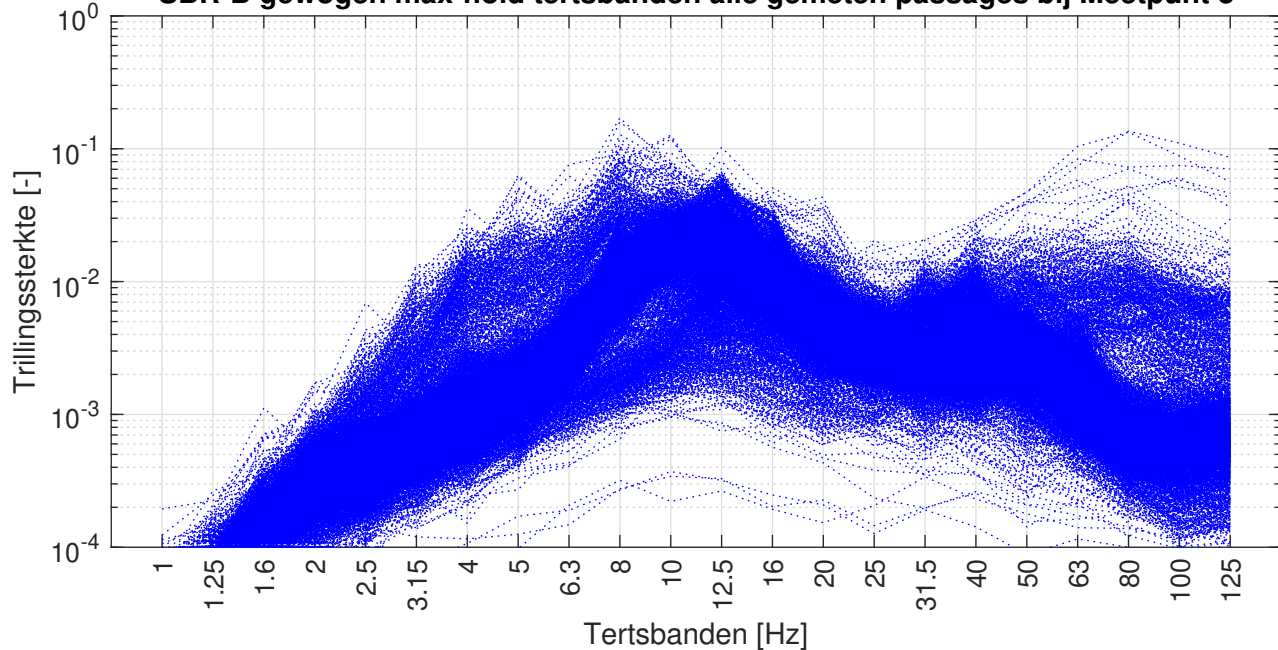
SBR-B gewogen max-hold tertsbanden alle gemeten passages bij Meetpunt 1



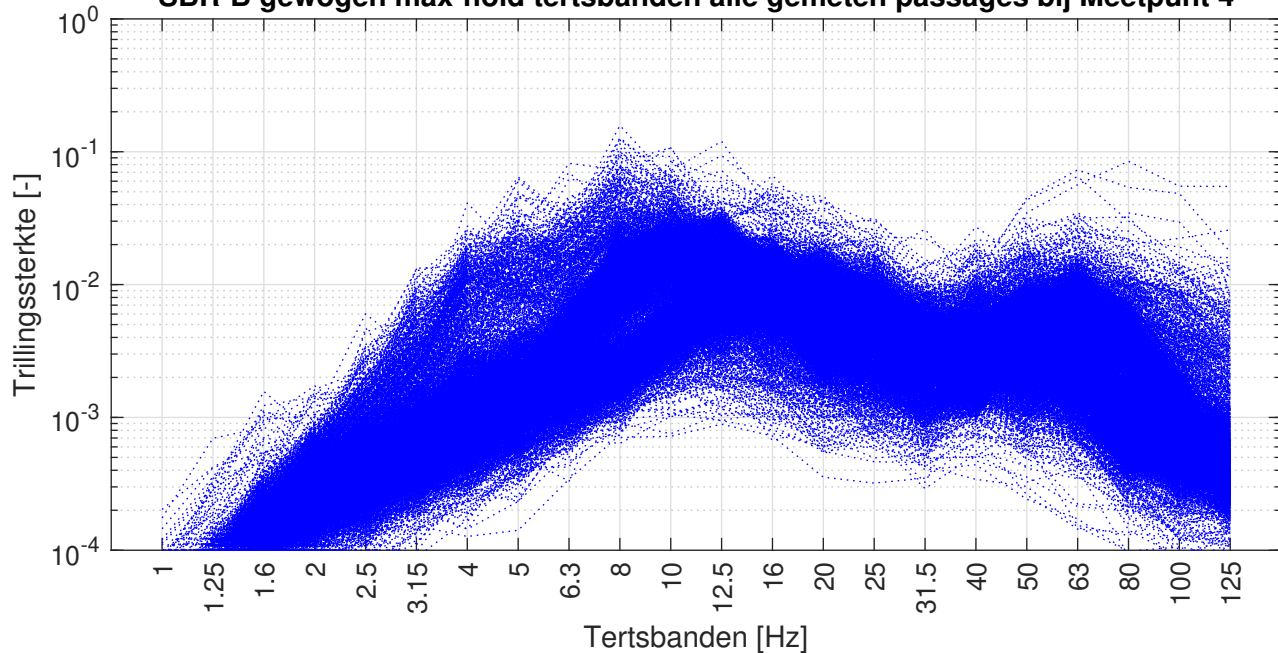
SBR-B gewogen max-hold tertsbanden alle gemeten passages bij Meetpunt 2



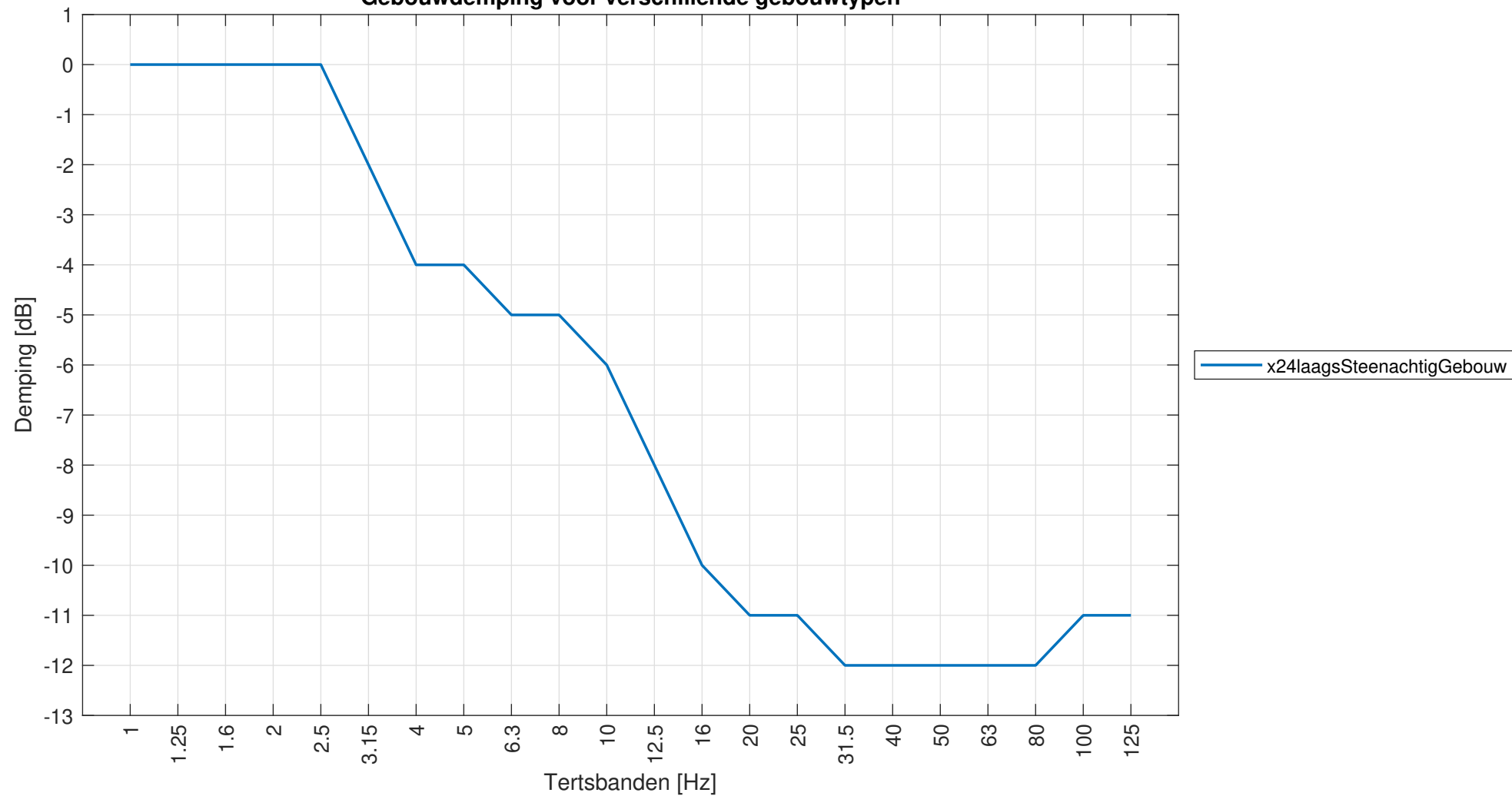
SBR-B gewogen max-hold tertsbanden alle gemeten passages bij Meetpunt 3



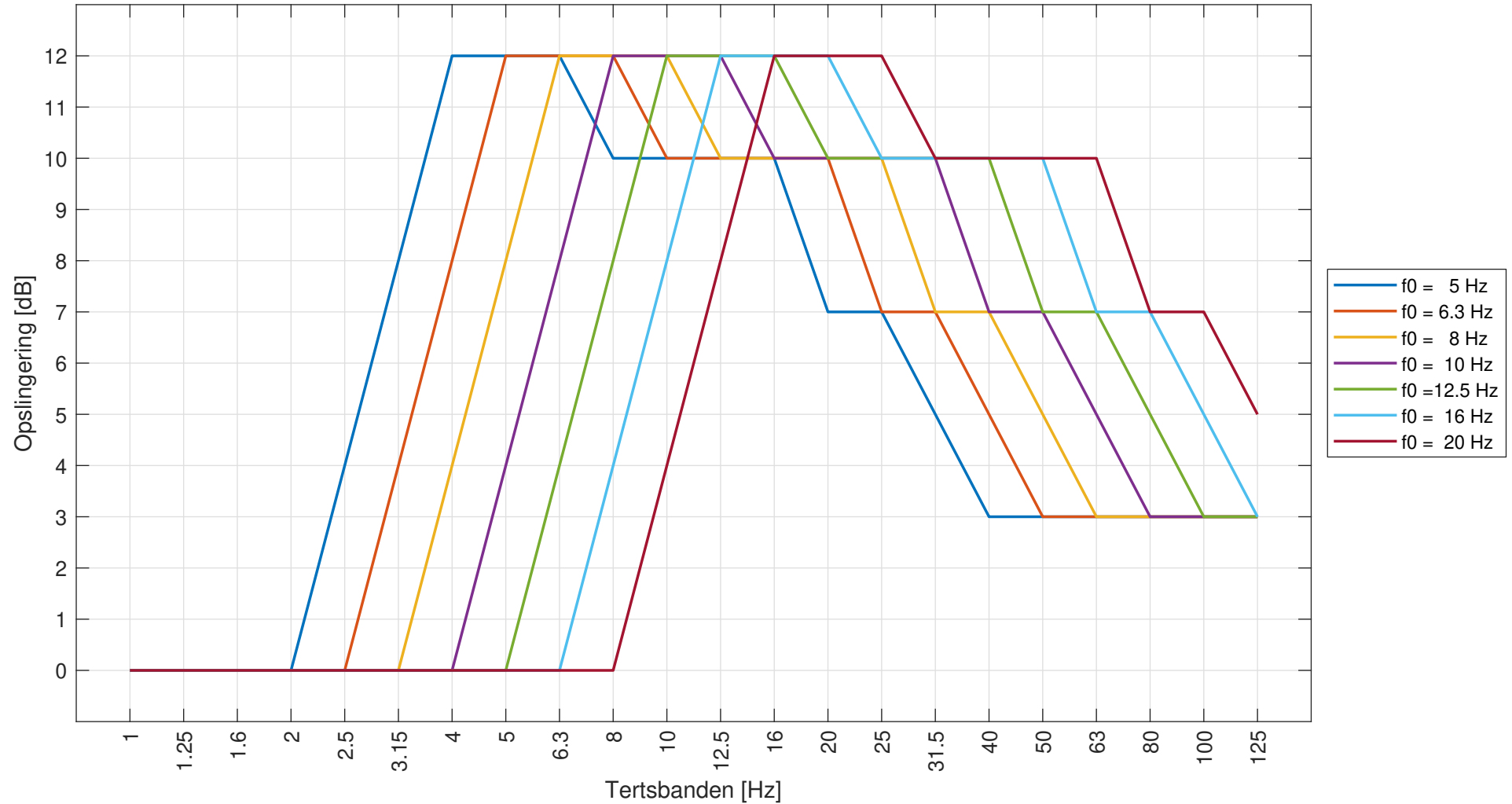
SBR-B gewogen max-hold tertsbanden alle gemeten passages bij Meetpunt 4



Gebouwdemping voor verschillende gebouwtypen

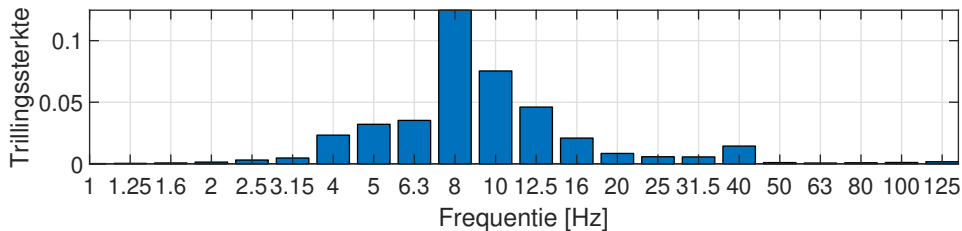
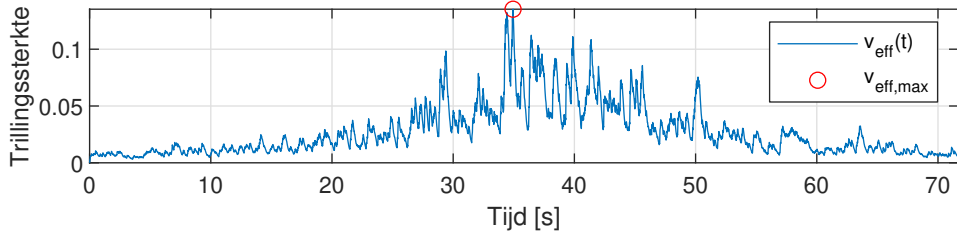
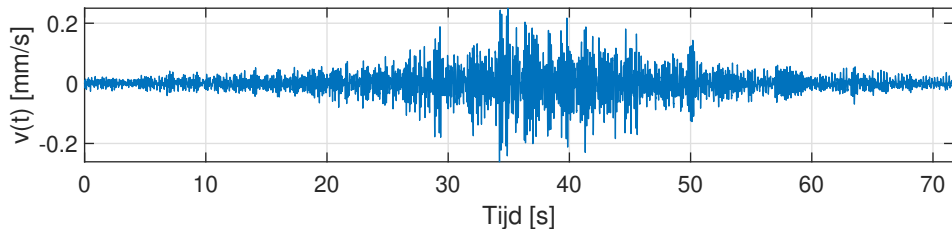


Opslingering per eigenfrequentie van de vloer

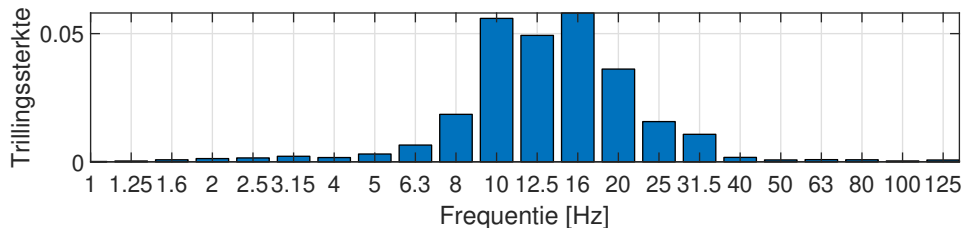
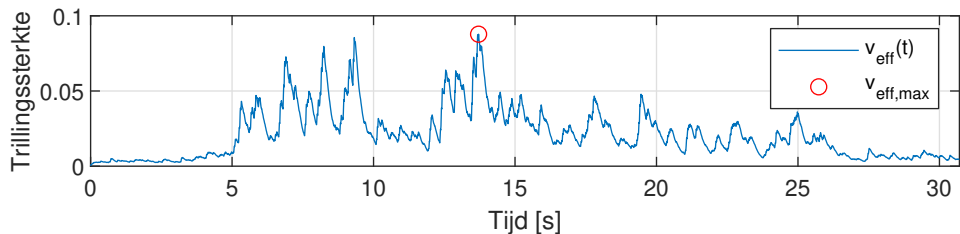
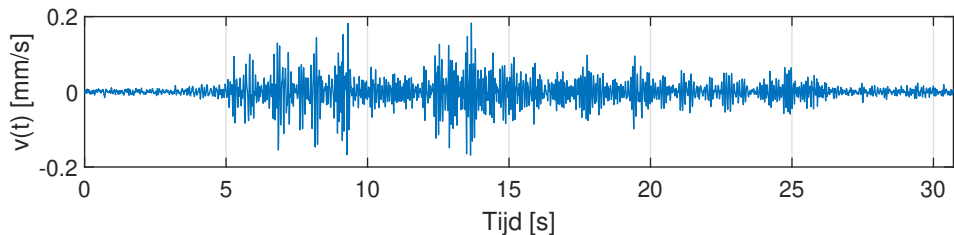


Bijlage III Maatgevende treinen per meetpunt

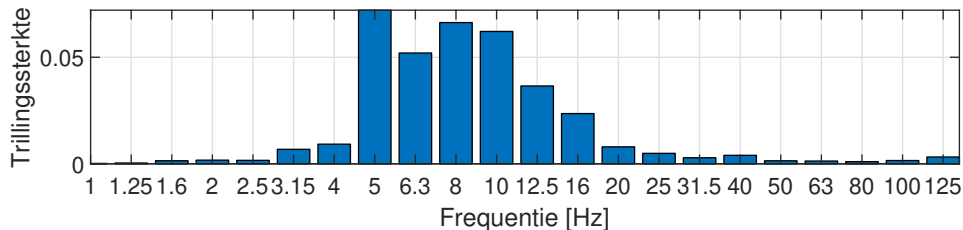
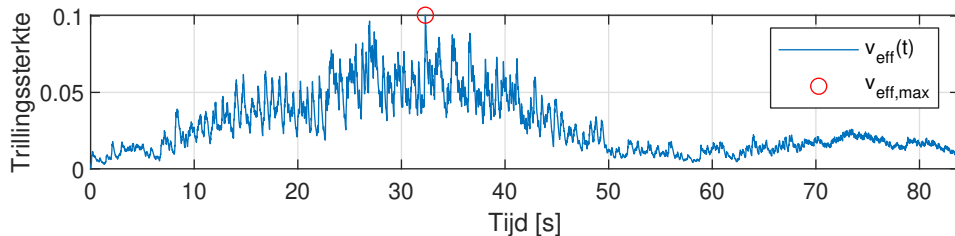
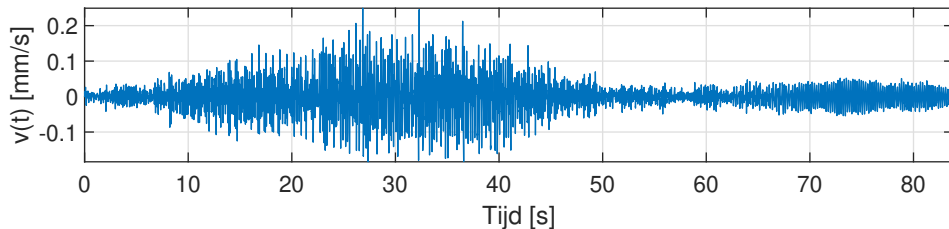
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-15 17:51



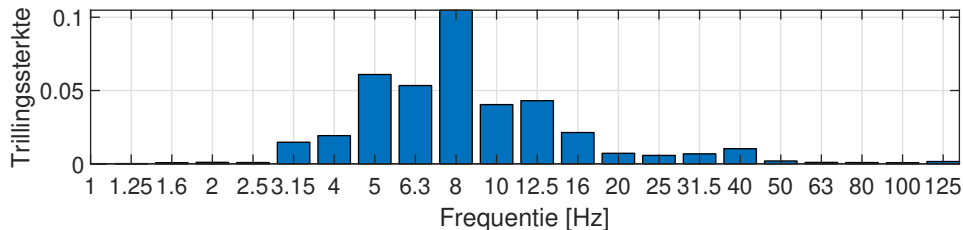
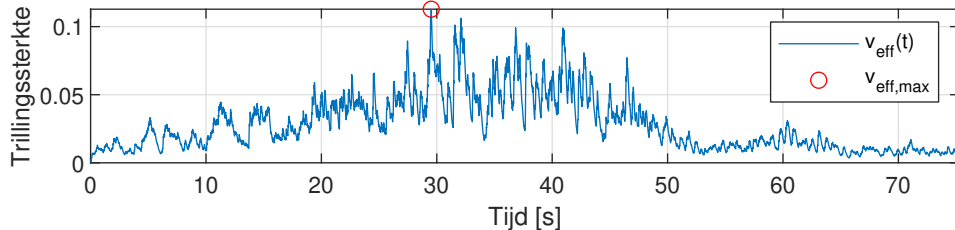
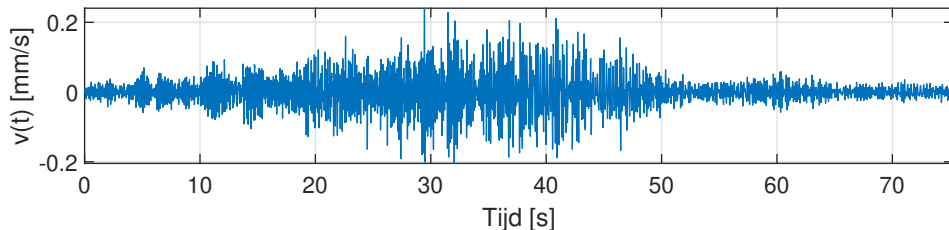
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-19 13:22



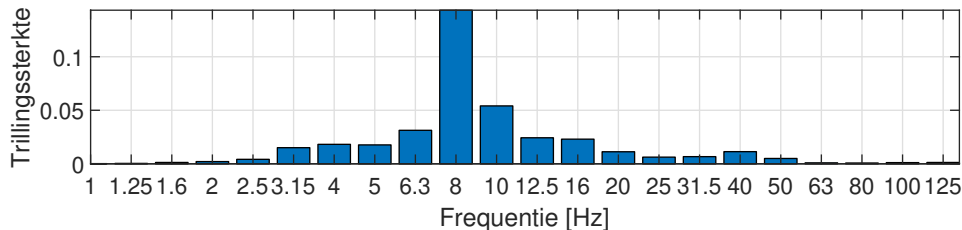
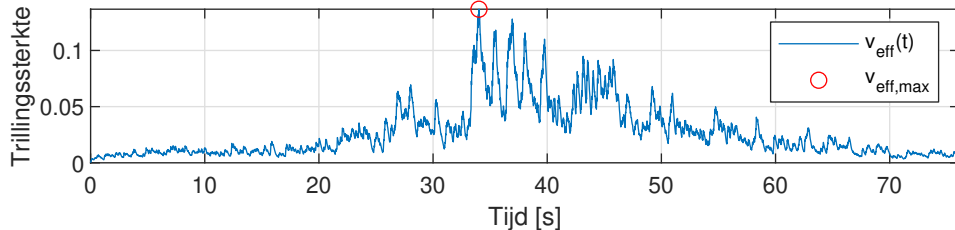
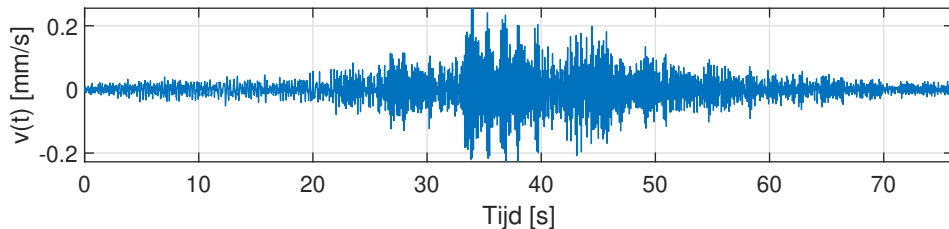
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-15 08:58



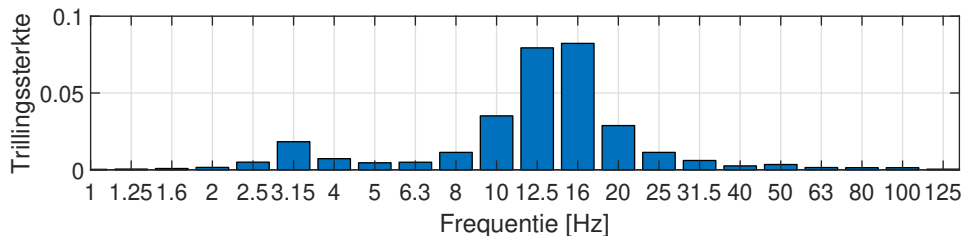
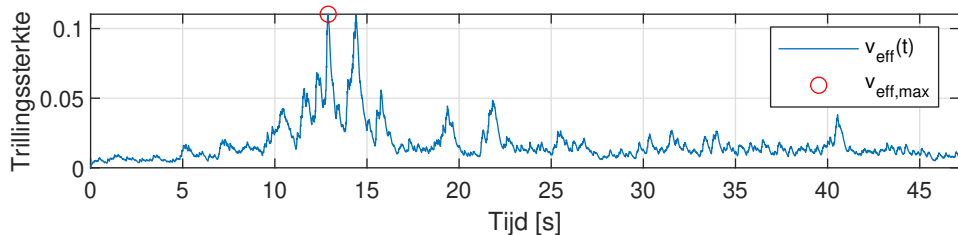
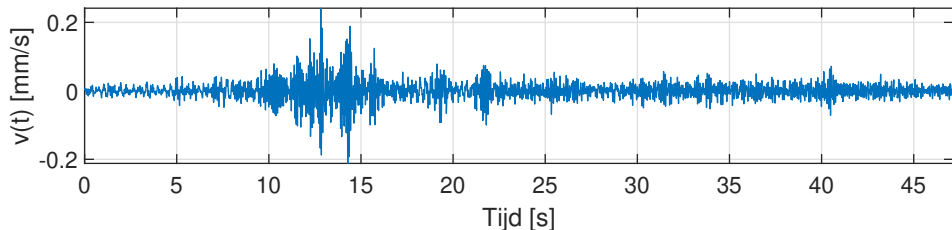
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-20 01:12



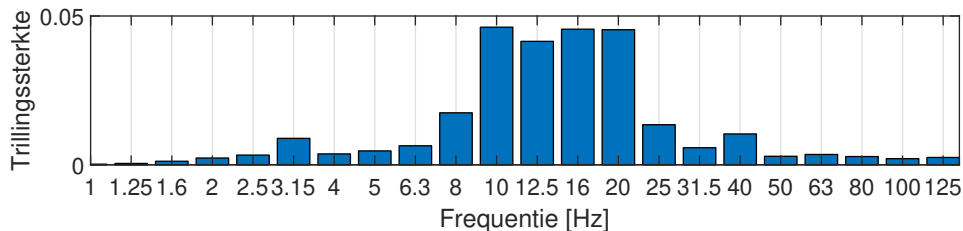
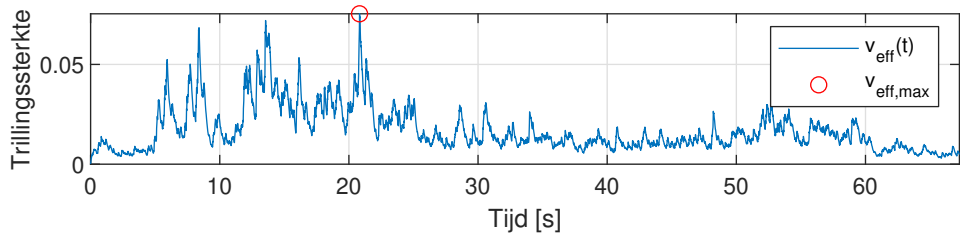
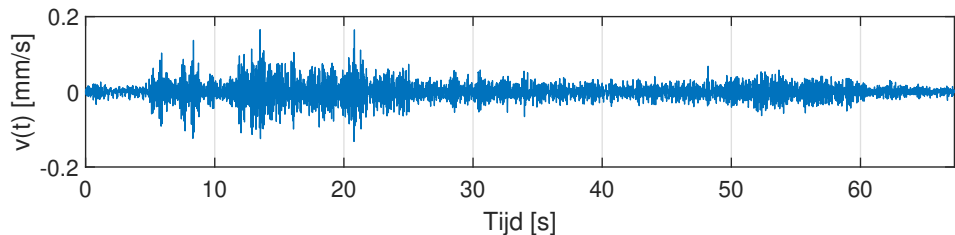
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-15 15:29



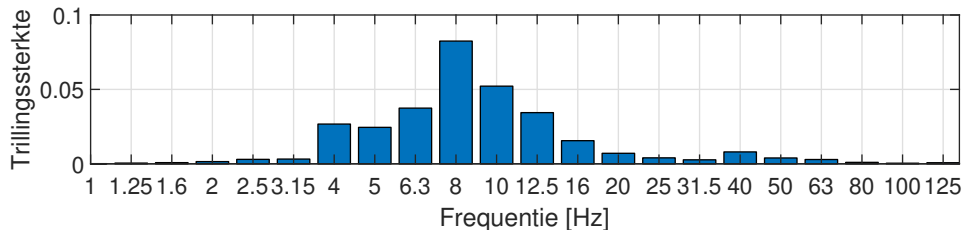
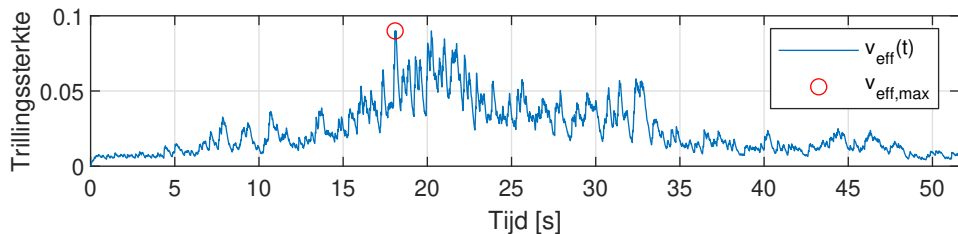
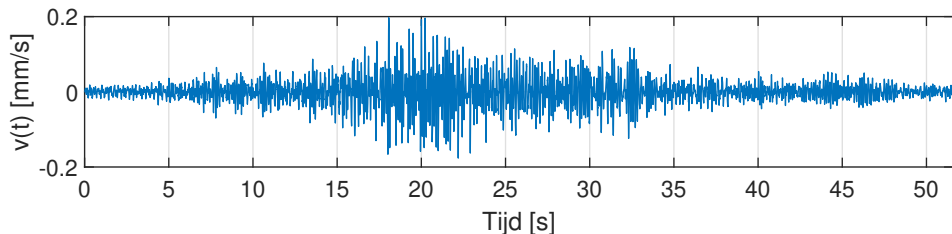
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-20 07:45



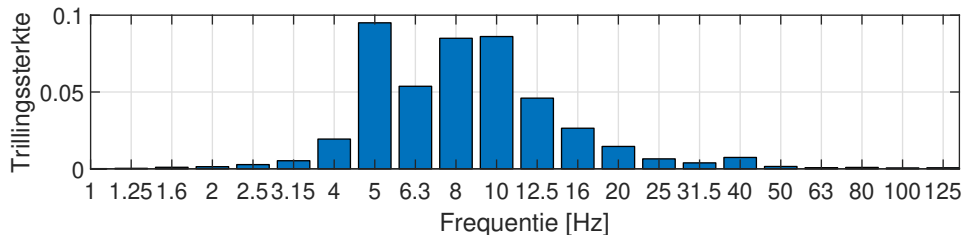
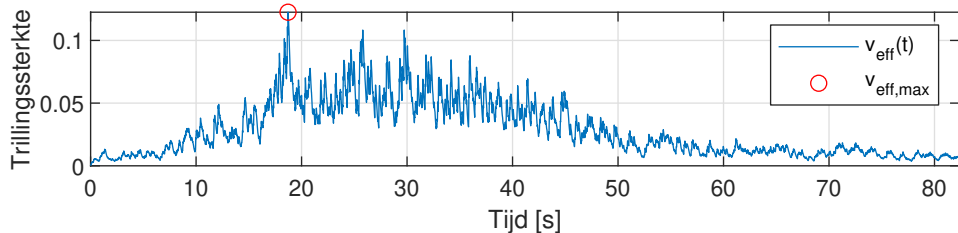
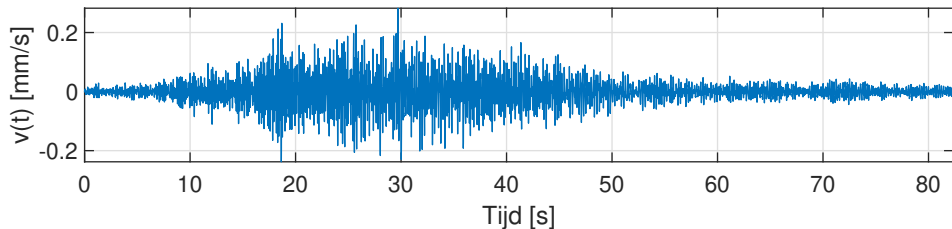
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-16 13:28



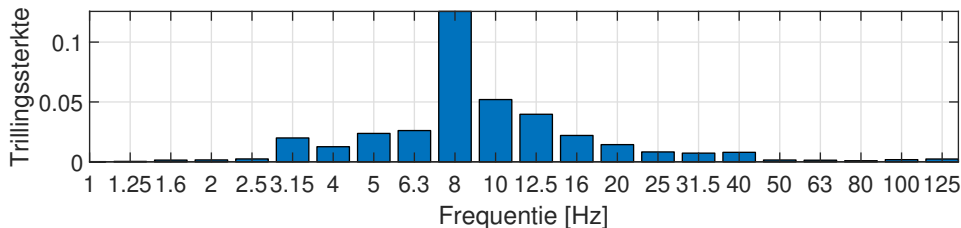
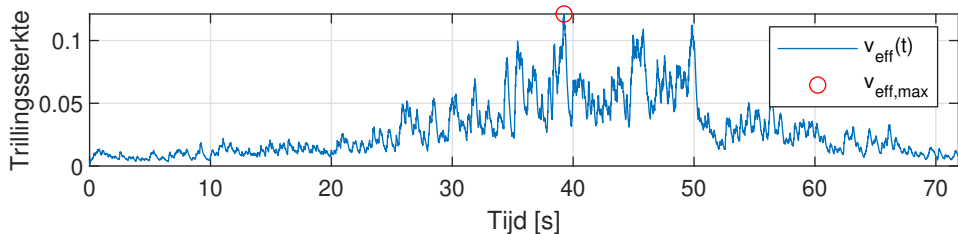
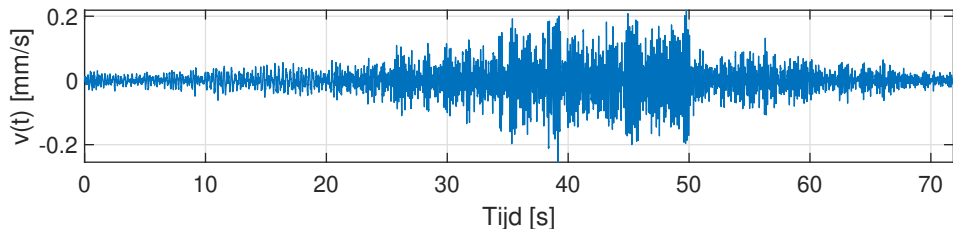
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-14 17:52



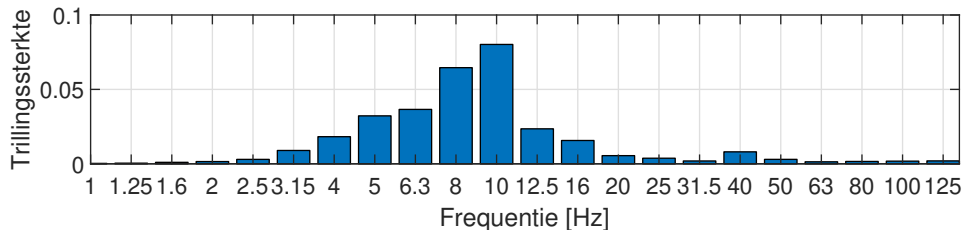
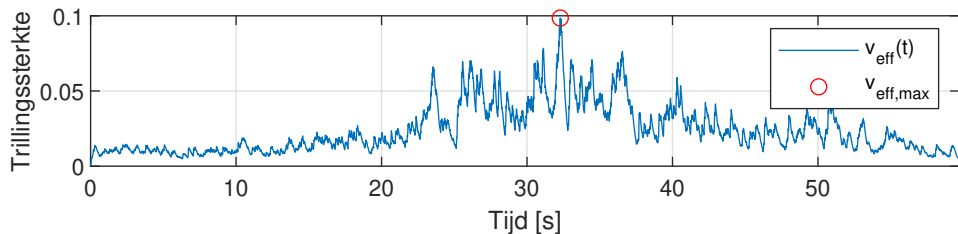
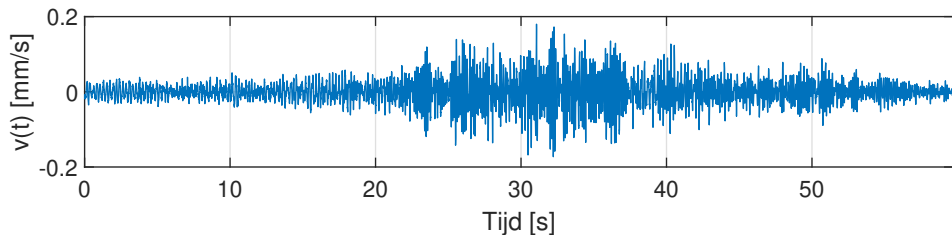
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-19 17:51



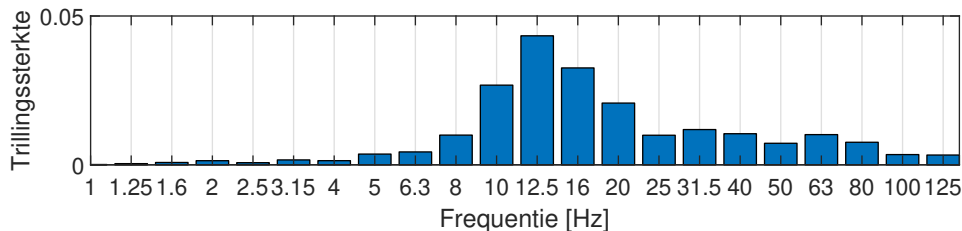
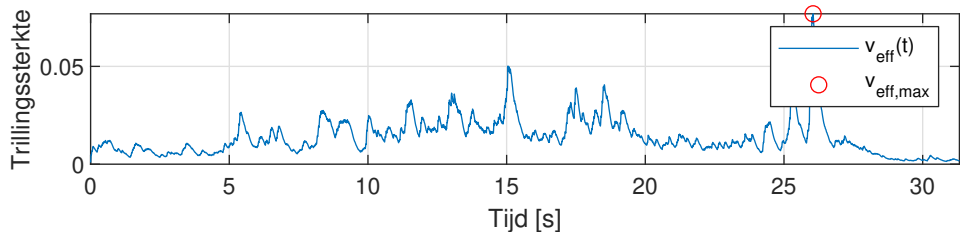
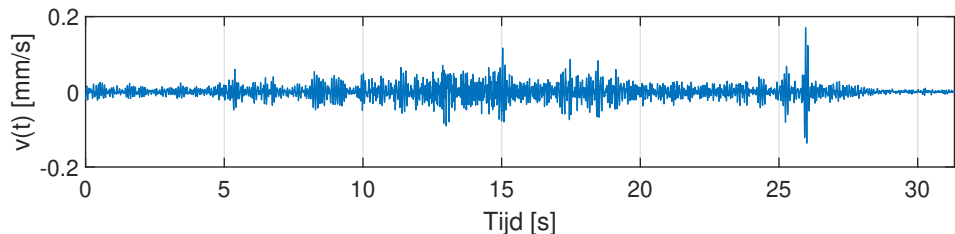
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 1 om 2025-05-19 10:58



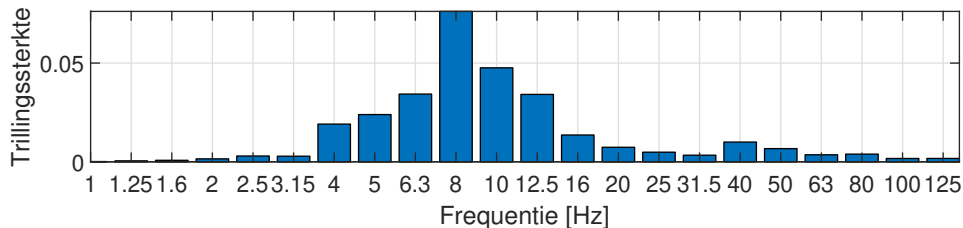
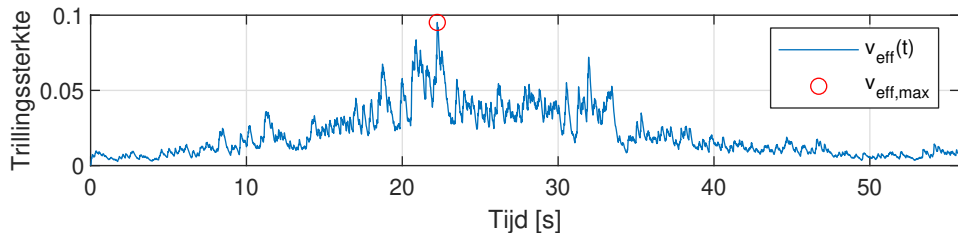
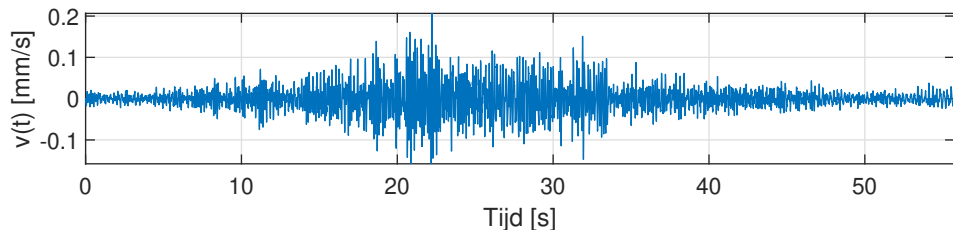
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 15:32



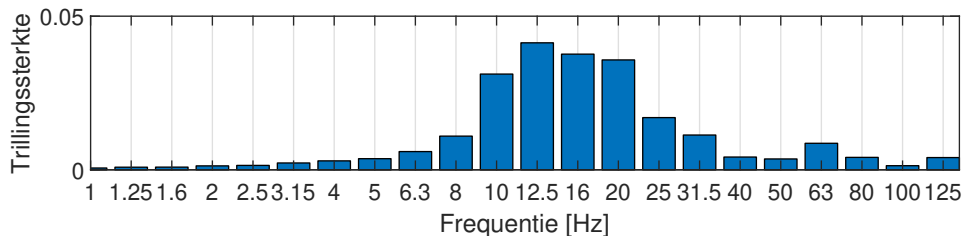
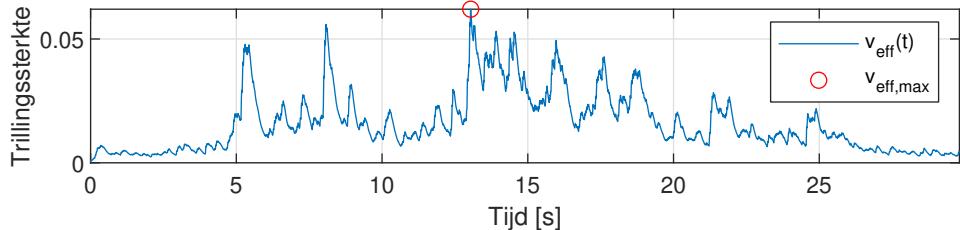
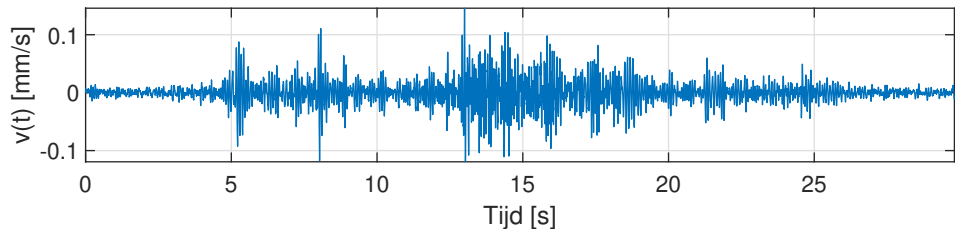
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 17:55



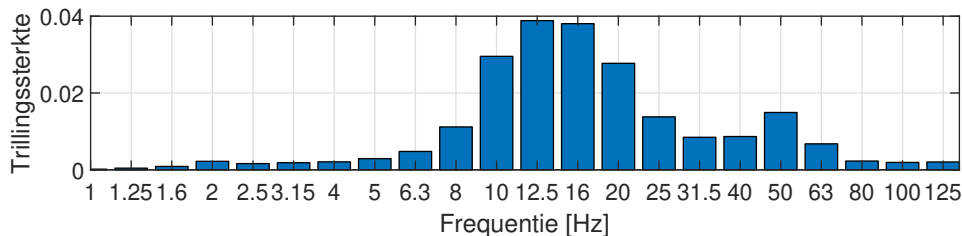
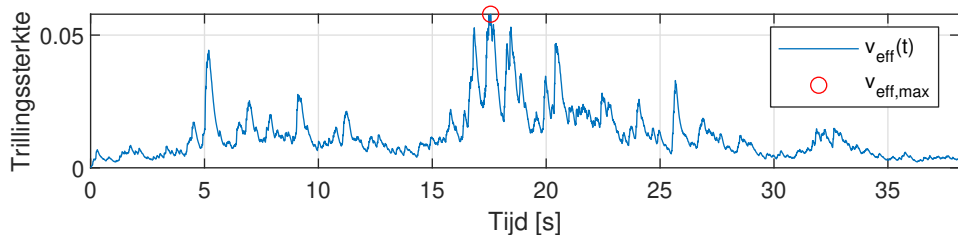
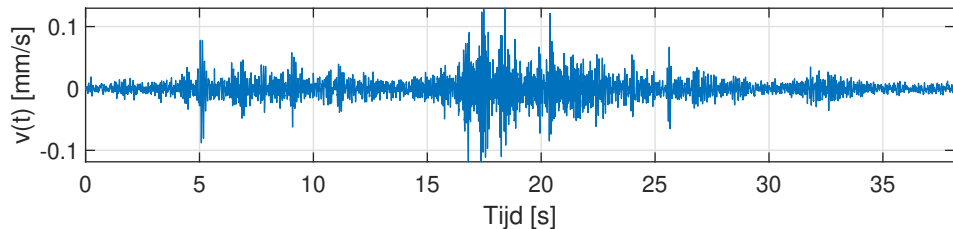
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 17:52



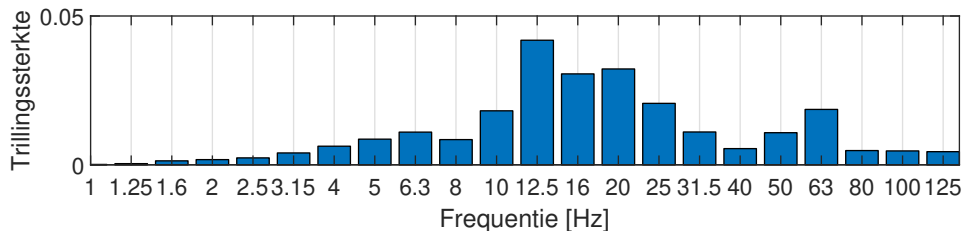
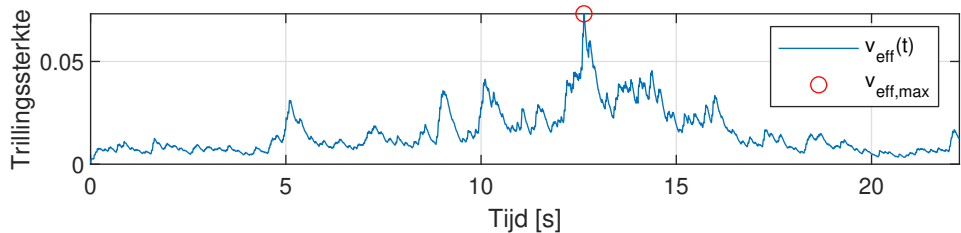
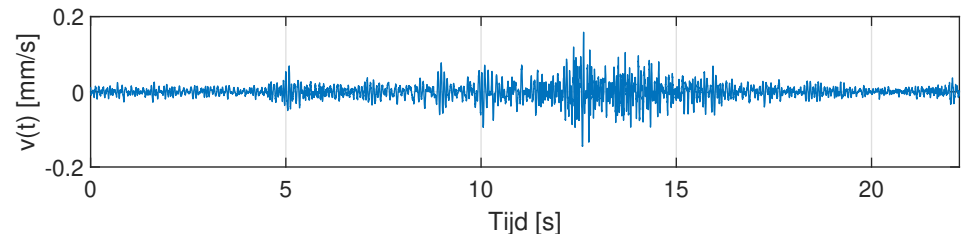
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 14:52



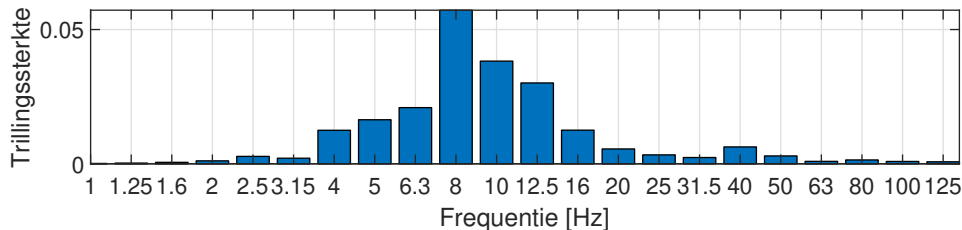
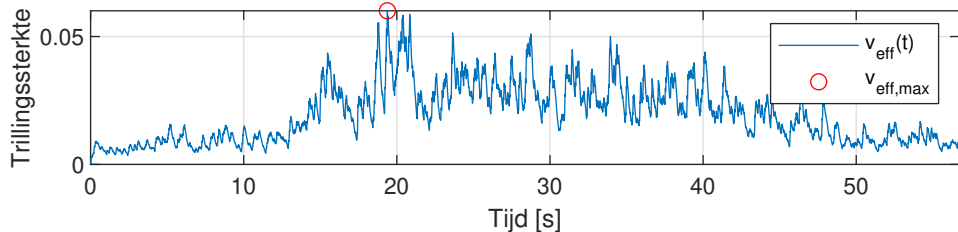
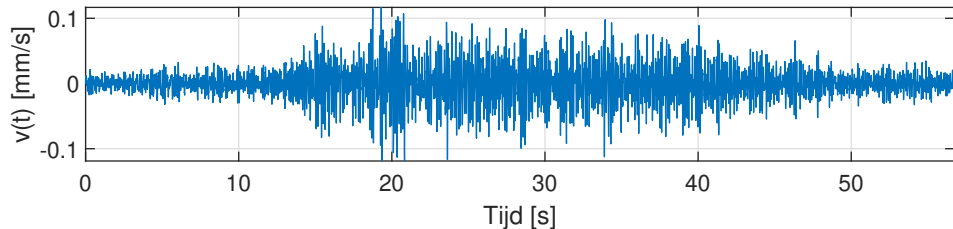
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 14:16



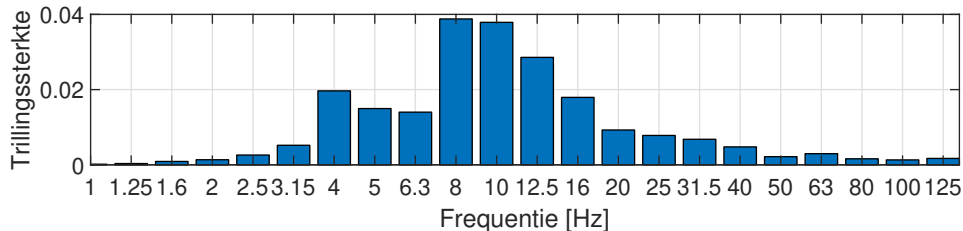
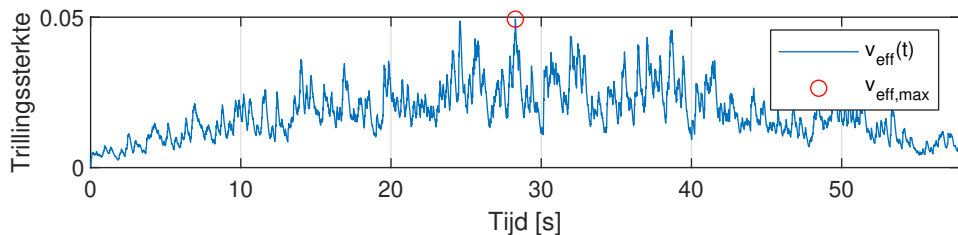
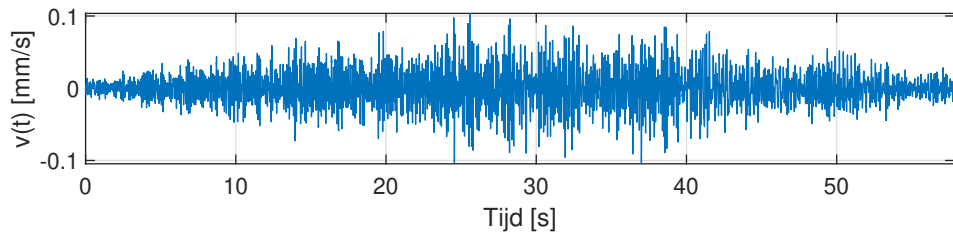
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 20:44



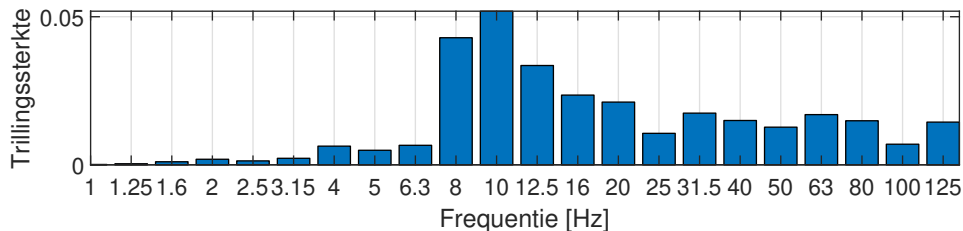
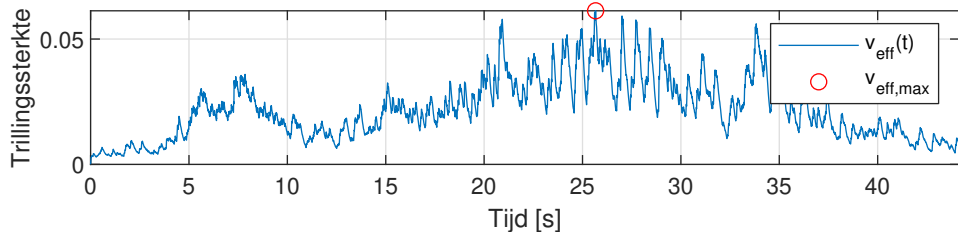
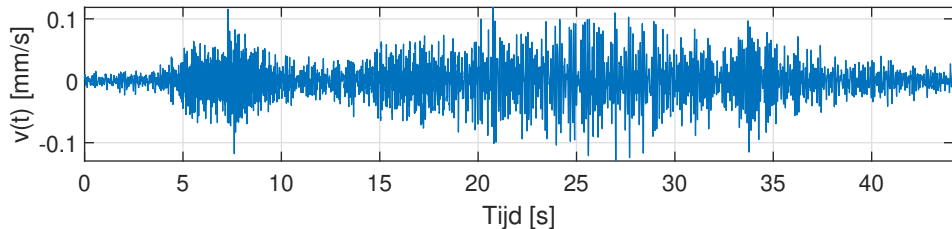
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 20:39



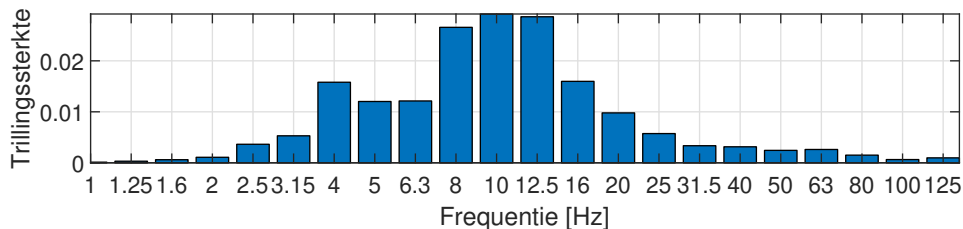
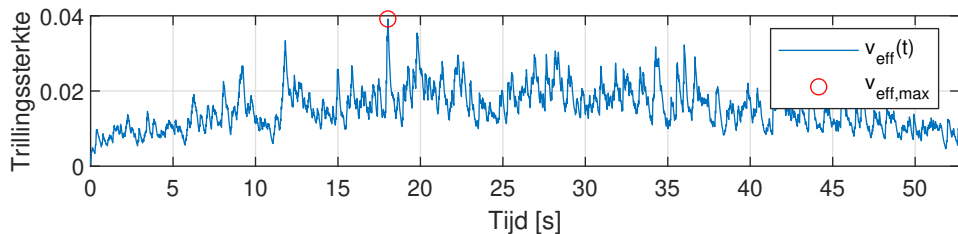
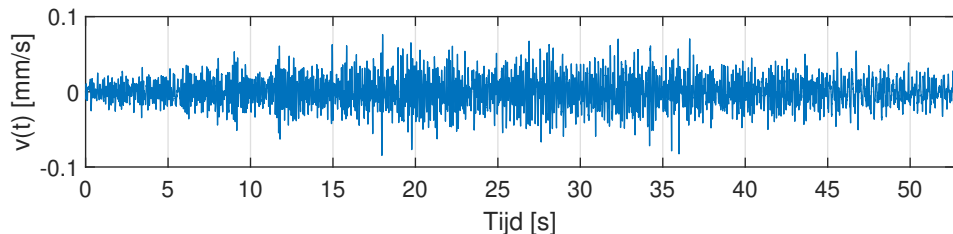
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 15:02



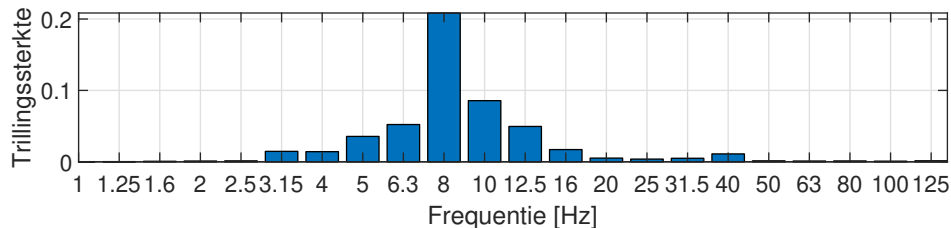
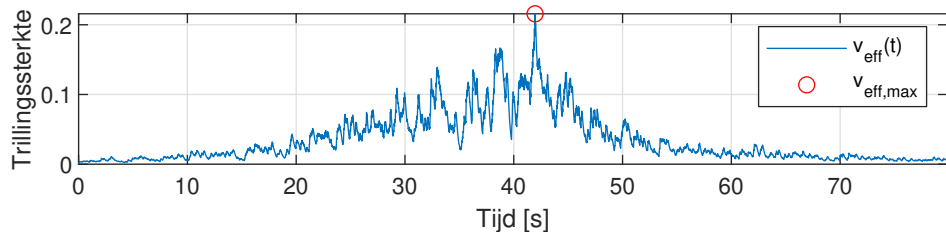
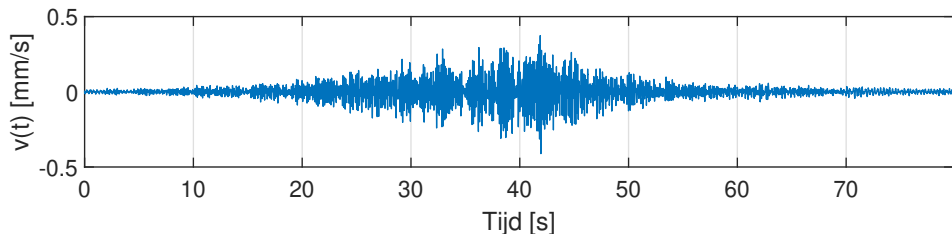
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 16:21



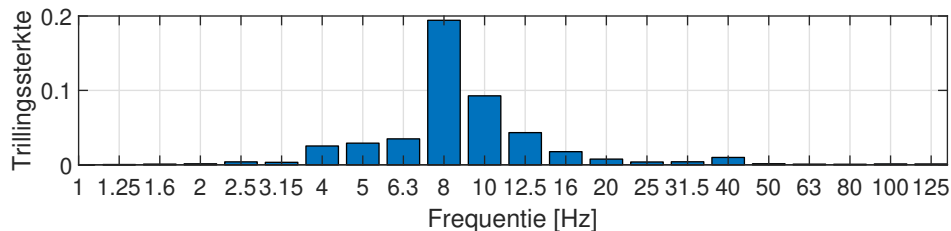
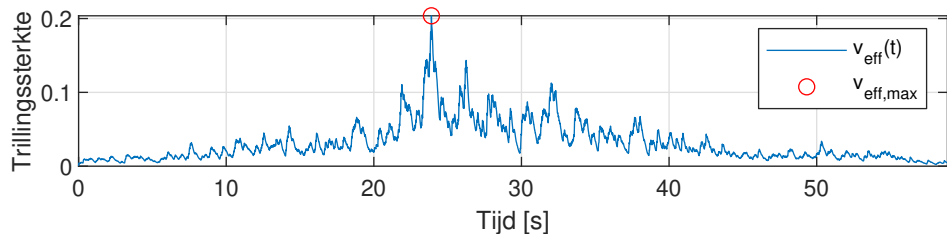
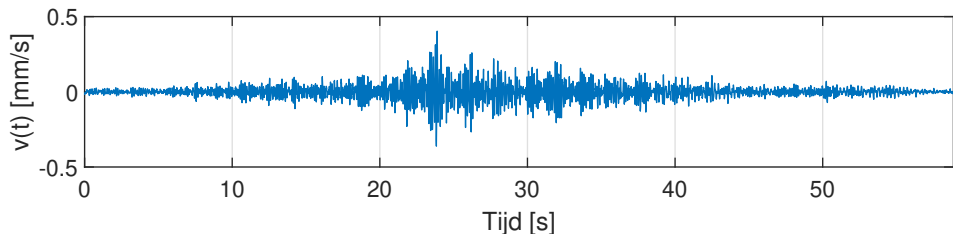
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 2 om 2025-05-14 19:52



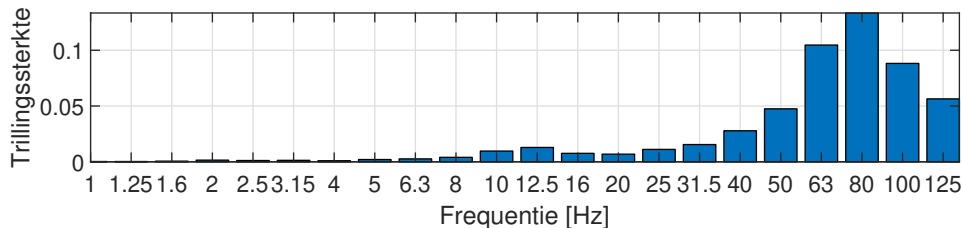
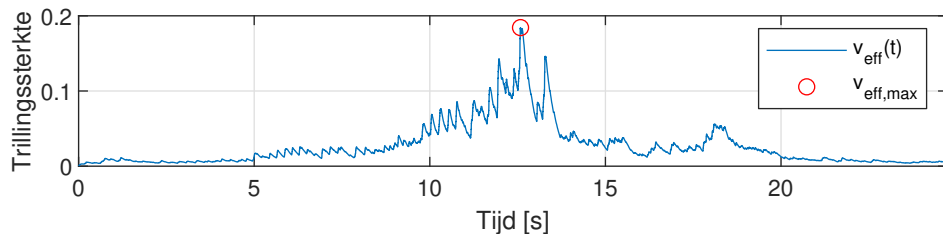
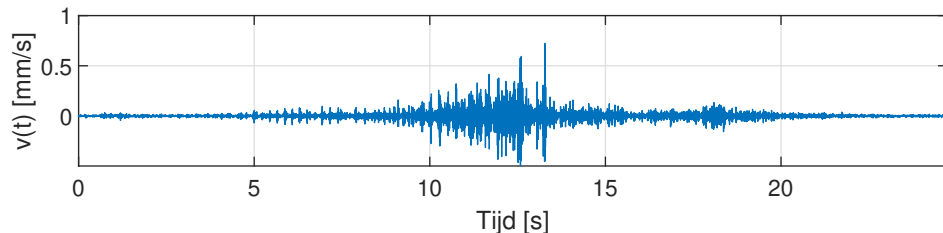
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-20 01:12



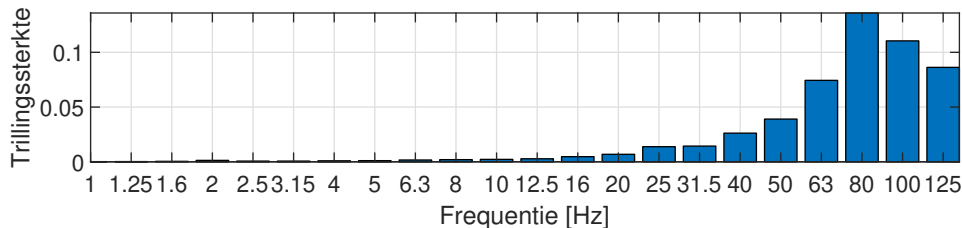
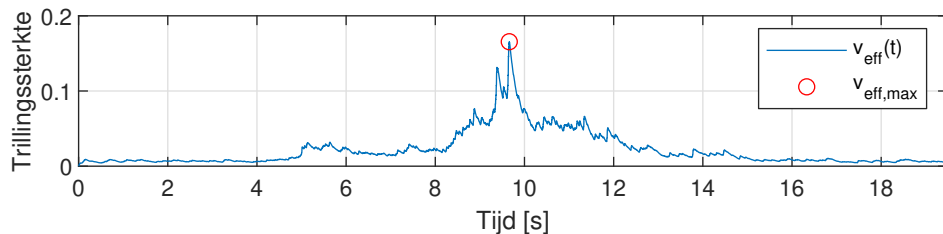
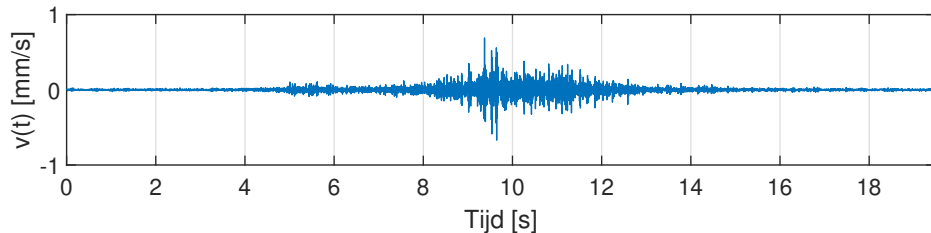
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-15 17:51



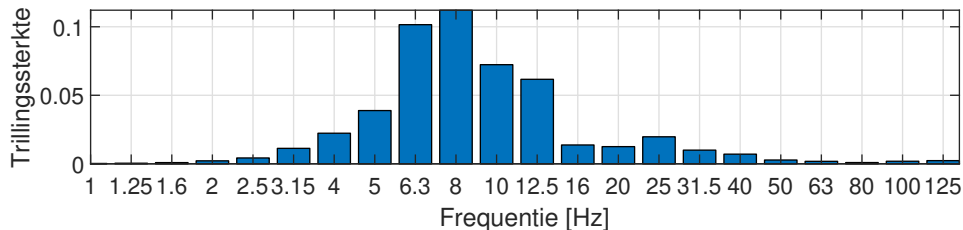
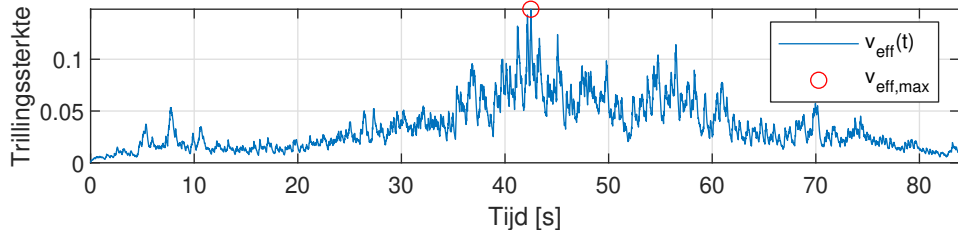
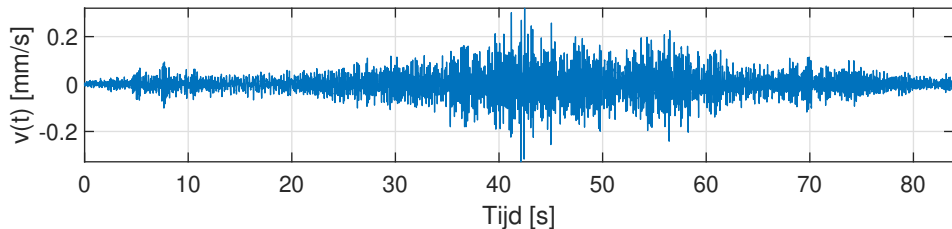
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-17 14:30



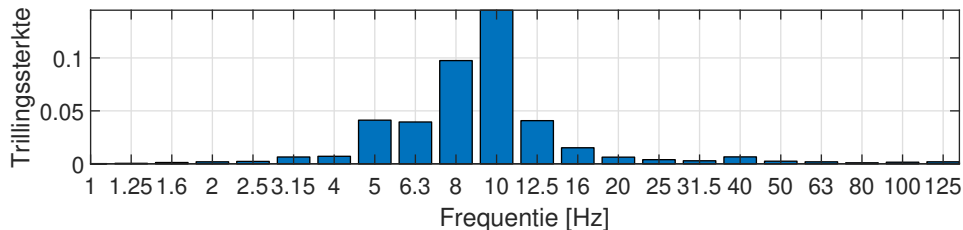
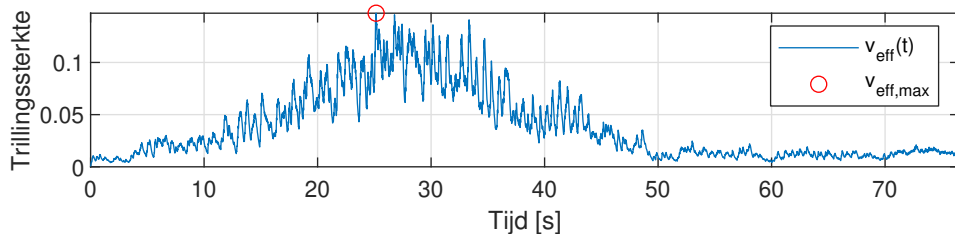
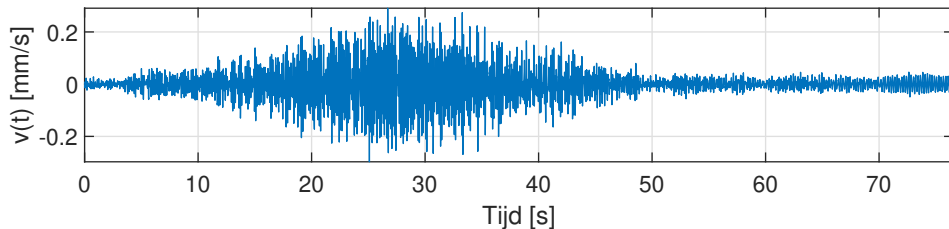
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-17 14:27



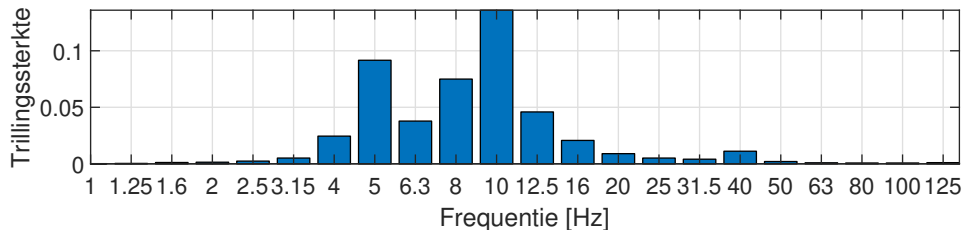
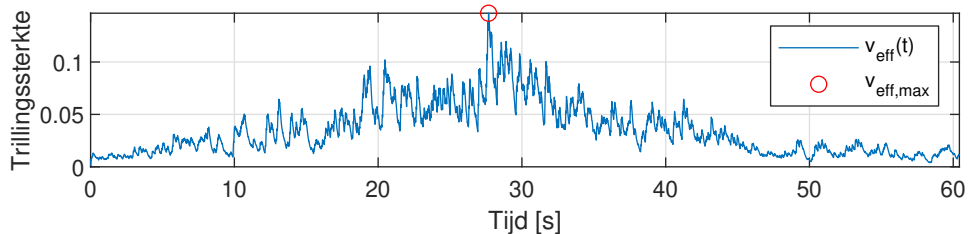
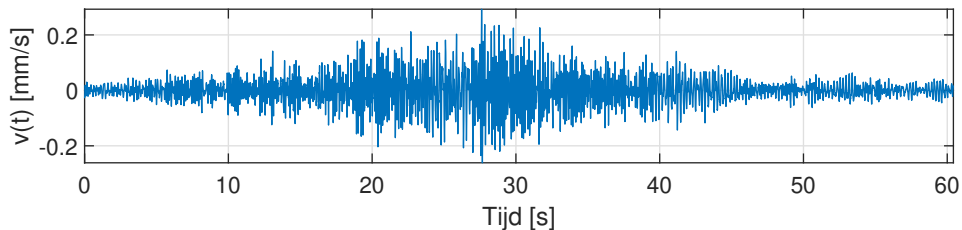
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-15 07:48



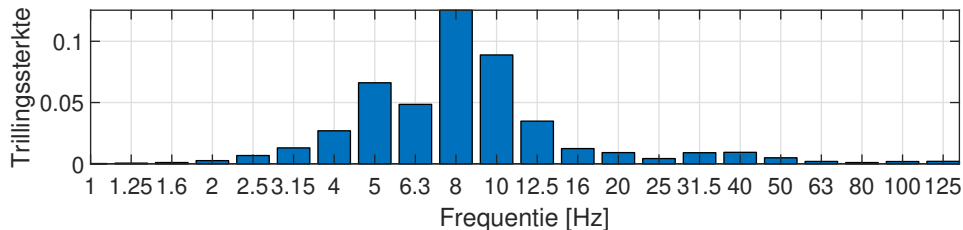
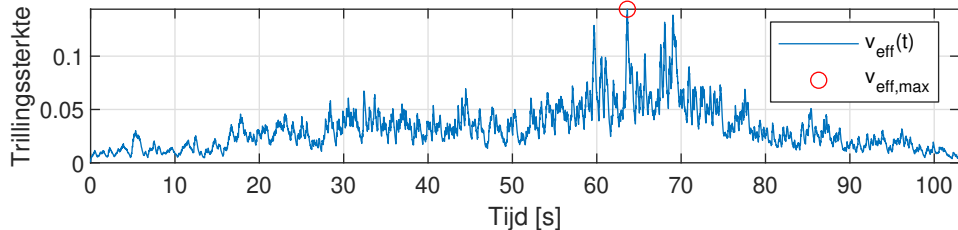
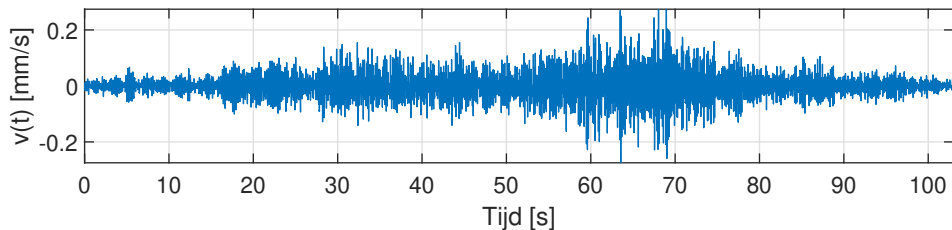
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-15 08:58



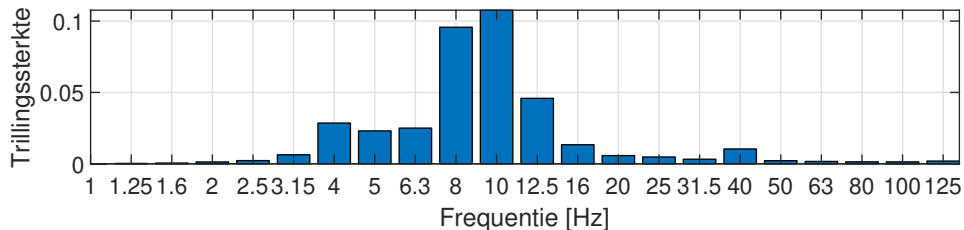
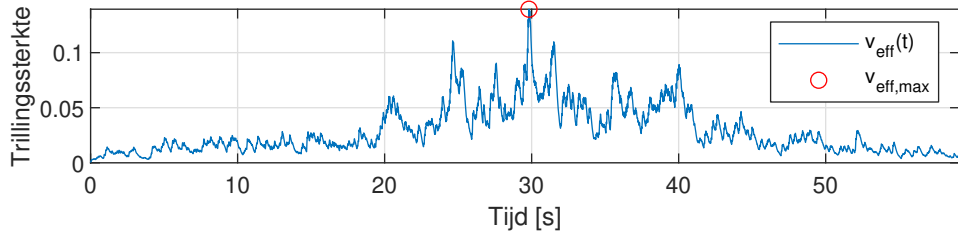
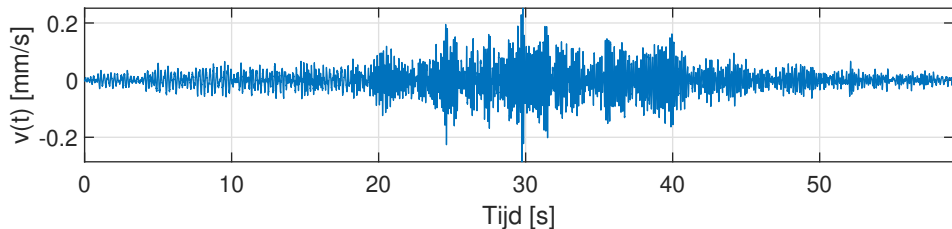
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-19 17:51



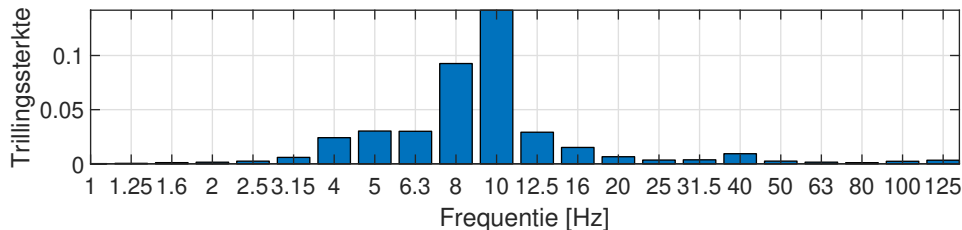
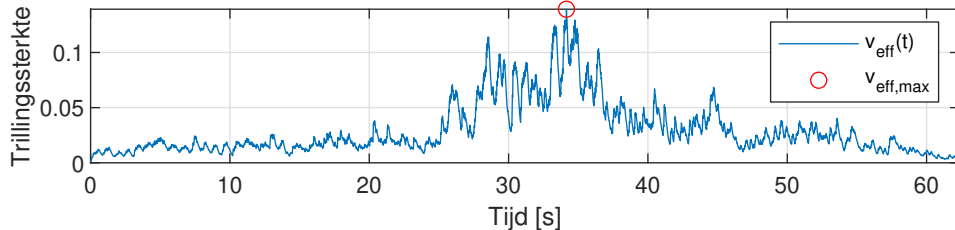
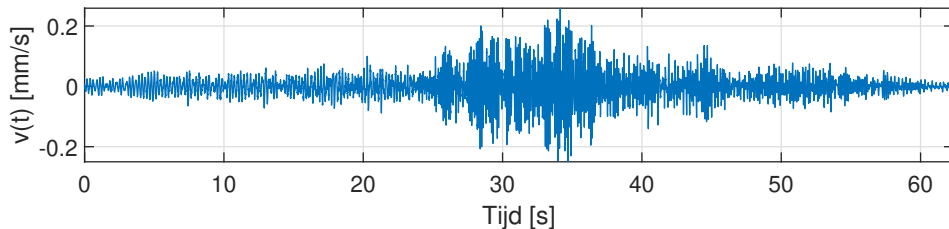
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-20 15:29



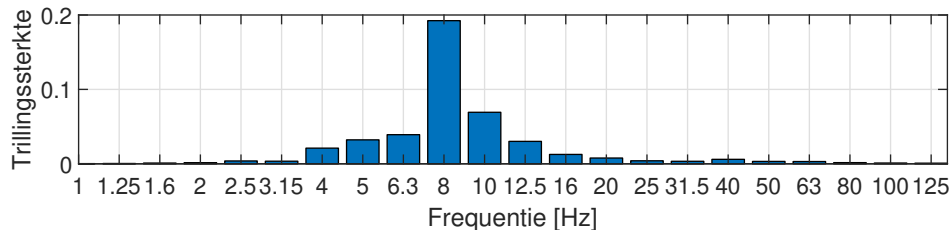
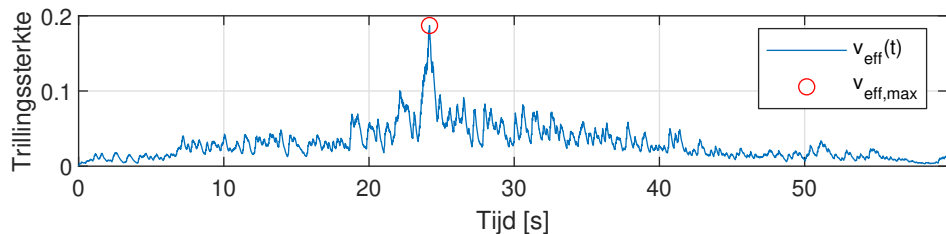
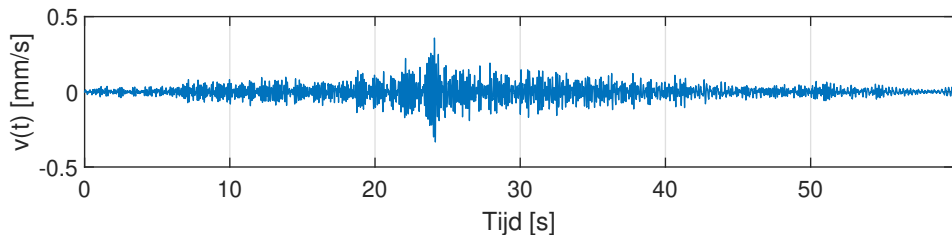
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-19 19:56



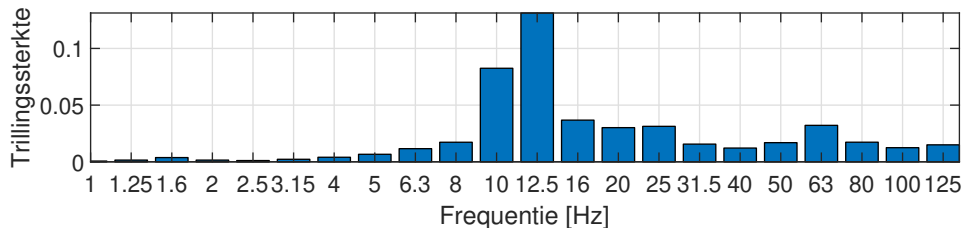
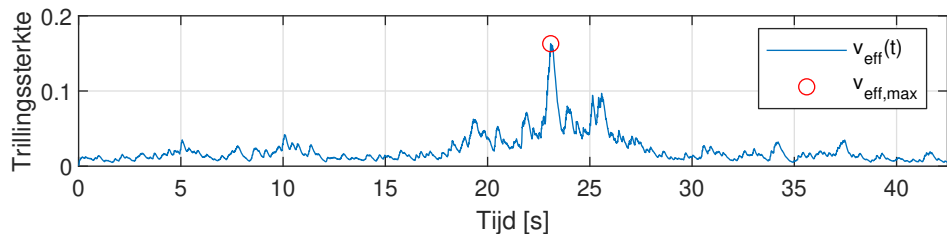
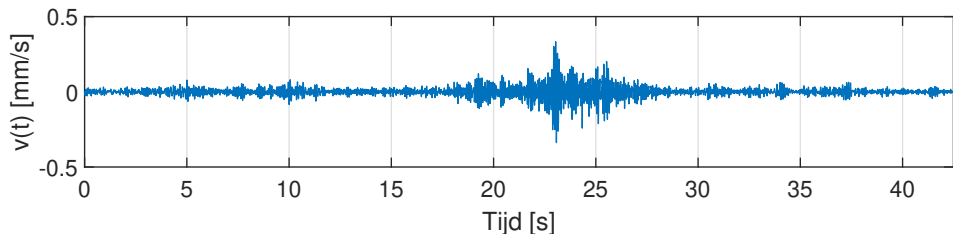
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 3 om 2025-05-14 15:32



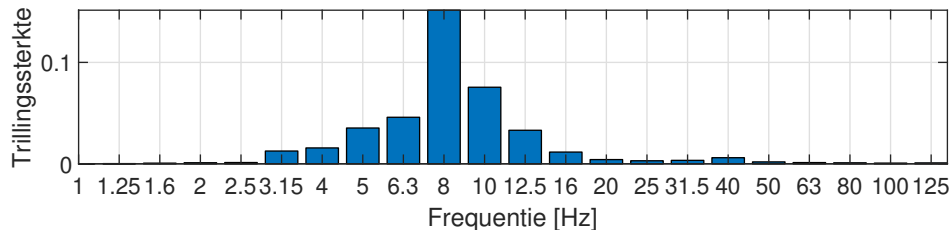
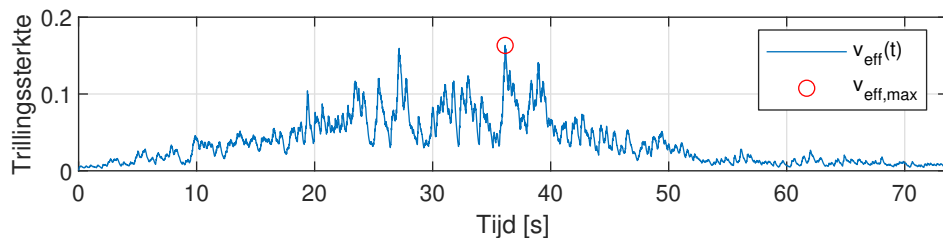
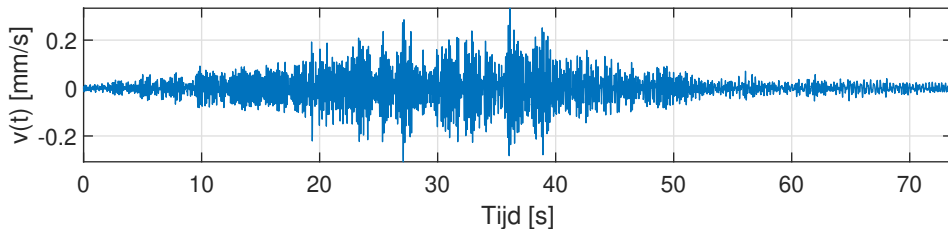
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-15 17:51



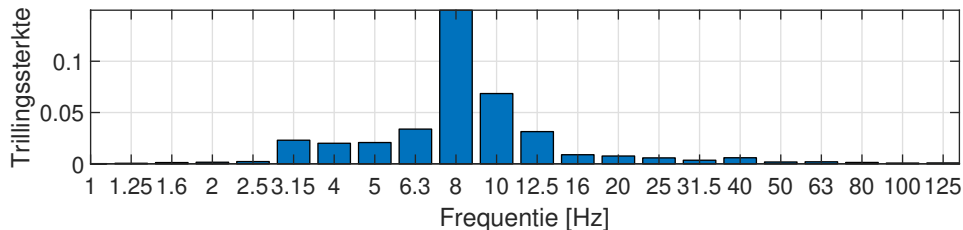
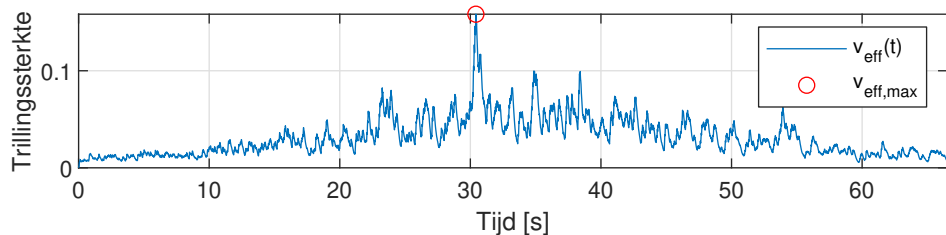
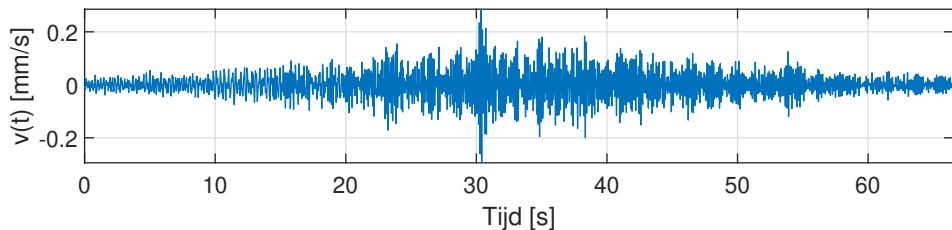
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-20 14:37



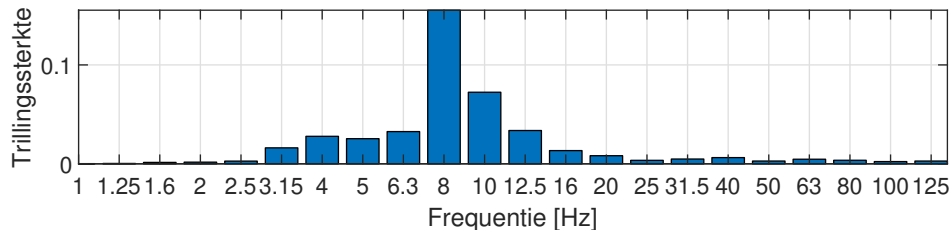
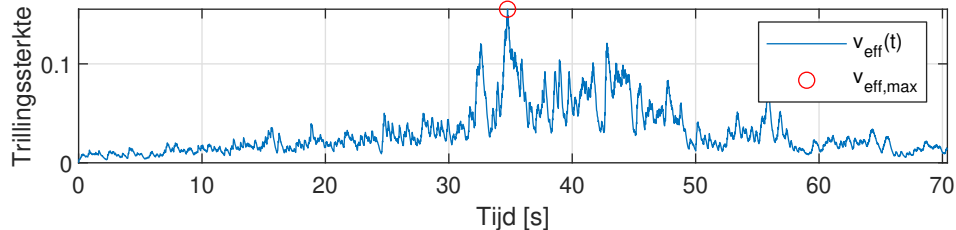
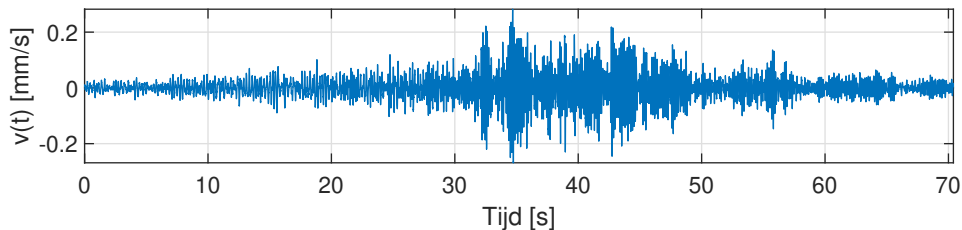
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-20 01:12



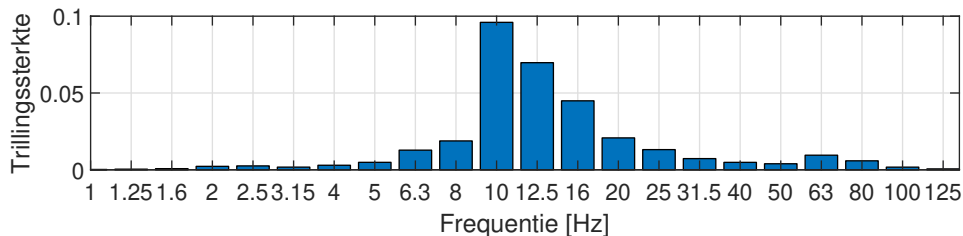
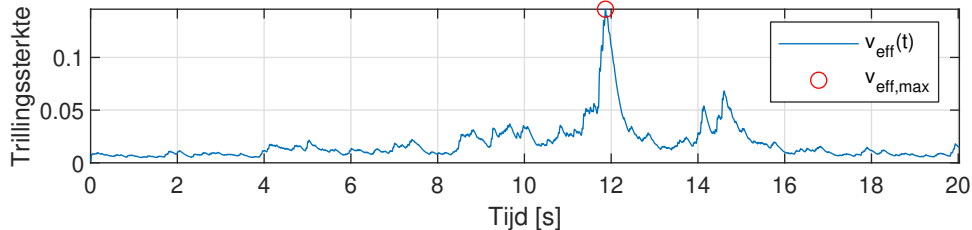
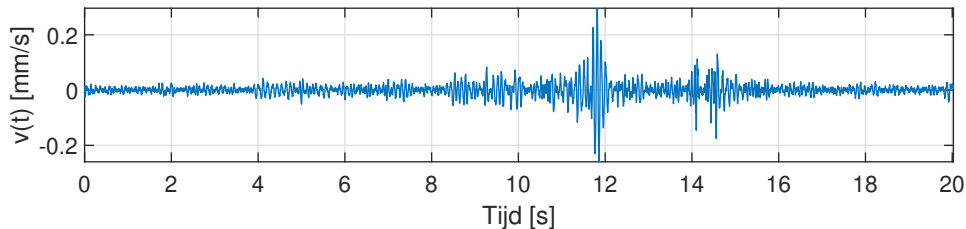
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-16 17:06



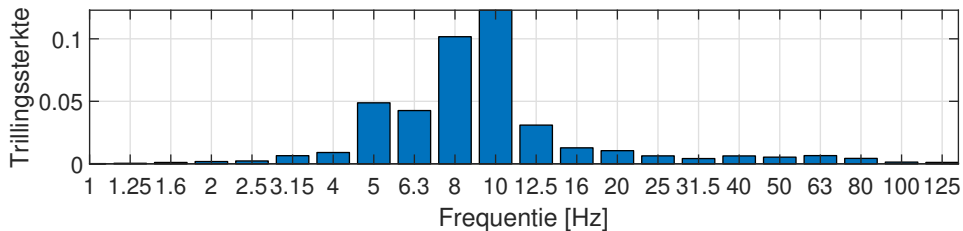
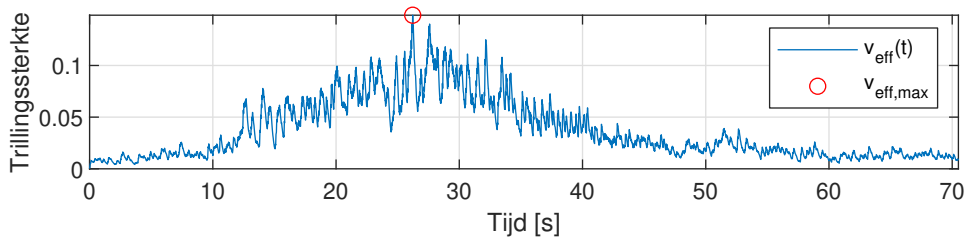
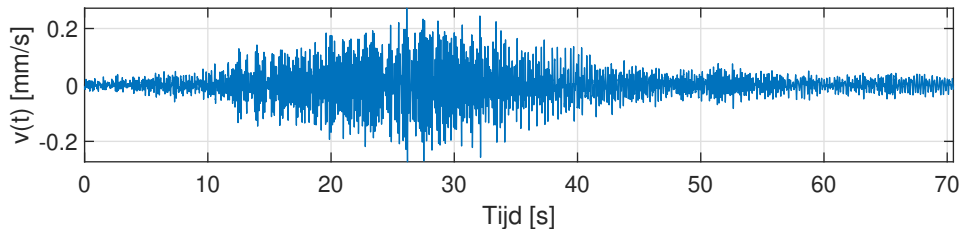
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-19 10:58



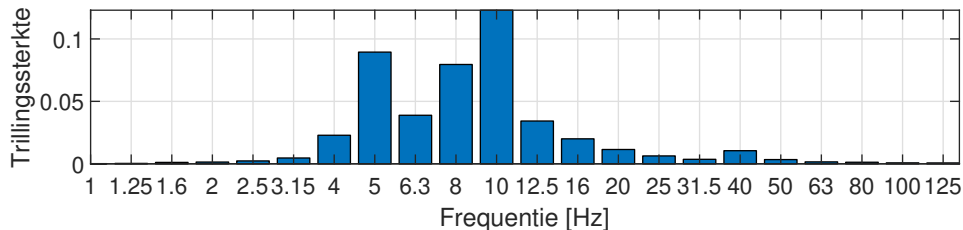
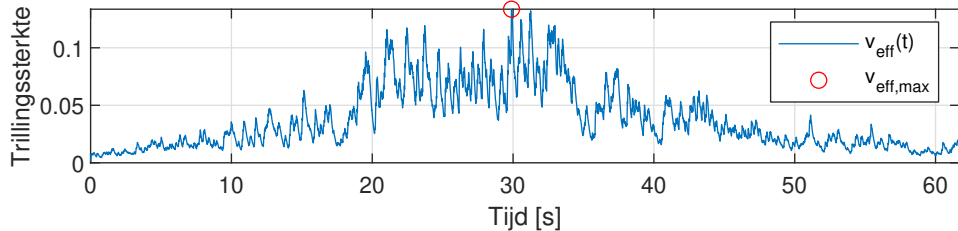
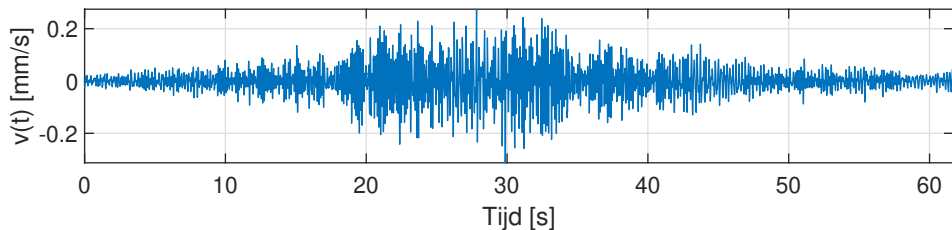
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-16 14:15



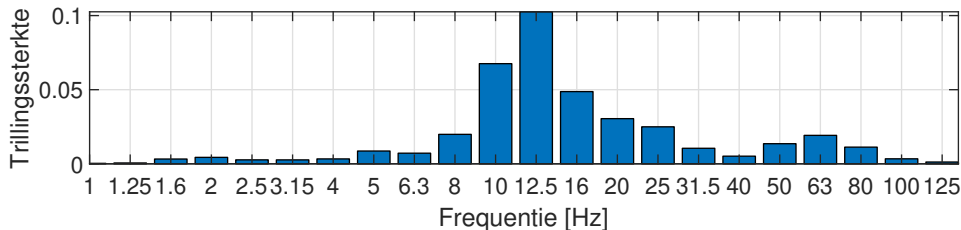
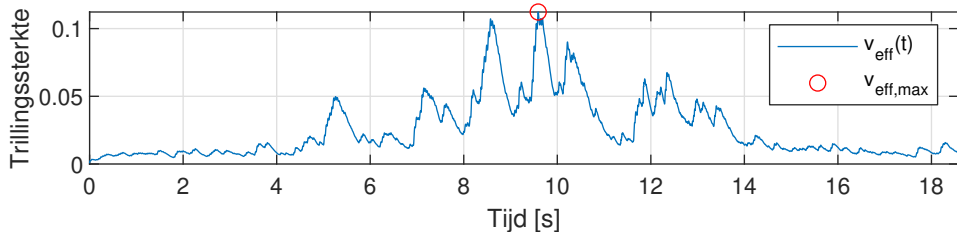
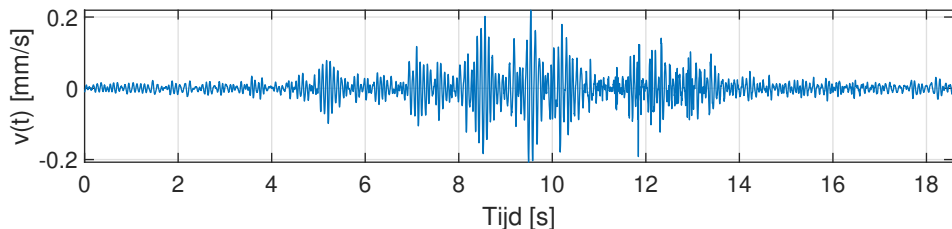
Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-15 08:58



Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-19 17:51



Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-16 10:33



Treinpassage gemeten bij Meetpunt 4 om 2025-05-15 07:48

