



RWS INFORMATIE

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Zuiderwagenplein 2
8224 AD LELYSTAD
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT
T 088 797 37 01
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Patrick Oosterlo
*adviseur hydraulische
belastingen en data*

M 06 50 16 60 81
patrick.oosterlo@rws.nl

memo

Heranalyse ADCP-metingen MVED

Inleiding

In dit memo is een heranalyse uitgevoerd van de ADCP-metingen (Acoustic Doppler Current Profiler) van het project Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard (MVED) voor stormen Corrie en Eunice van 2022. Binnen MVED worden de golven (onder andere) gemeten met twee ADCP's. De ene ADCP ligt bij Uithuizerwad (UHW), de andere bij de Dubbele Dijk (DD), zie Figuur 1 voor meetlocatie UHW. De ADCP bij UHW ligt zo'n 130 m van de RWS-meetpaal UHW, met daaraan onder meer een stappenbaak en radar.

Datum

11 mei 2023



Figuur 1. Meetlocatie Uithuizerwad. RWS_UHW is de Rijkswaterstaatmeetpaal, WD_UHW de WaveDroid (boei), ADCP_UHW de ADCP. Bak_UHW zijn de overslagbakken en Lasers de laserscanneropstelling.

ADCP-metingen en eerste analyses MVED

De ADCP bij Uithuizerwad is deels ingegraven en steekt nog zo'n 20 cm boven de bodem uit. De lokale bodemhoogte is volgens het AHN4 (uit 2020), dronemetingen (tevens uit 2020) en de RWS-meetpaal (2023, wanneer ligt het wad droog in het waterstandssignaal) 0,63 m+NAP. De bovenkant van de ADCP ligt daarmee op ongeveer 0,83 m+NAP. Bij het plaatsen van de ADCP in 2019 is de hoogte van de bovenkant van de ADCP ook ingemeten, deze was toen 0,82 m+NAP. Deze hoogte lijkt dus betrouwbaar.

De ADCP meet op dit moment met 2 Hz. De meetdata bestaan uit de oppervlakte-uitwijking en snelheden langs drie assen voor (in dit geval) drie verschillende (hoogte)bins, in totaal dus tien parameters.

Tijdens storm Ciara van februari 2020 heeft de ADCP bij UHW niet goed gefunctioneerd. Tijdens stormen Corrie en Eunice van 2022 heeft de ADCP wel gemeten. De inwinning en eerste uitwerking van de metingen wordt gedaan door Aqua Vision, met behulp van de DIWASP-toolbox (DIrectional WAve Spectra-toolbox, Johnson, 2002). Binnen de toolbox wordt gewerkt met de EMEP-methode (Hashimoto et al., 1995) en worden spectra bepaald voor de frequentieruimte 0,01 Hz - 0,4 Hz, met een resolutie van 0,01 Hz. Verder wordt een cartesisch coördinatenstelsel gebruikt voor de uitwerking (optie *cart* in DIWASP).

In eerste instantie zijn spectra over perioden van 20 minuten uitgeleverd, later ook voor de gehele stormpieken. Dit zijn 29-01-2022 van 18:50 uur - 20:00 uur en 30-01-2022 van 07:00 uur - 09:00 uur voor Corrie, en 19-02-2022 van 00:20 uur - 01:40 uur voor Eunice. Zie bijvoorbeeld Van der Meer (2022a, 2022b) voor de resultaten.

Uit een eerste analyse van de resultaten, bleek dat de door de ADCP gemeten H_{m0} zo'n 30 cm - 40 cm kleiner is dan de golfhoogten gemeten door de RWS-meetpaal. Ook de golfrichtingen (uit de 2D-spectra) gaven geen consistent beeld voor opeenvolgende 20-minutenperiodes. De spectra over volledige stormpieken geven geen verbetering in H_{m0} , maar lijken wel een beter beeld te geven van de golfrichtingen. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het grotere aantal golven binnen deze stormpieken (ongeveer 120 Noordzeegolven in een periode van 20 minuten), waar bij analyses vaak orde 1000 golven wordt aangehouden.

Heranalyse ADCP-metingen

In dit memo zijn de 2D-spectra opnieuw uitgewerkt met de DIWASP-toolbox, zie Figuur 2 - Figuur 7 en Tabel 1 - Tabel 3 in de Appendix. Hieruit blijkt dat de ADCP-metingen bij UHW op dit moment nog niet betrouwbaar genoeg zijn en dat nog een aantal verbeterlagen nodig zijn, voordat de resultaten gebruikt kunnen worden voor verdere analyses. De volgende conclusies kunnen worden getrokken en aanbevelingen kunnen worden gedaan:

1. Het is niet gelukt om de door de ADCP gemeten 1D-spectra (en dus golfhoogten) op die van de RWS-meetpaal te krijgen, zie bijvoorbeeld Tabel 1 - Tabel 3. De totale hoeveelheid energie die de ADCP meet, is veel kleiner dan wat wordt gemeten door de stappenbaak en radar, wat betekent dat de golfhoogte dus ook niet goed wordt gemeten door de ADCP. Waarschijnlijk wordt dit (met name) veroorzaakt door de beperkte waterdiepte van ongeveer 2,5 m waarin de ADCP wordt gebruikt en waar het instrument mogelijk niet voor geschikt is. Er mag iets van dissipatie van golfenergie verwacht worden tussen de RWS-meetpaal en de ADCP,

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

11 mei 2023

aangezien de ADCP wat verder op het wad ligt. Dit zal echter niet zoveel zijn, als wat hier wordt gevonden, aangezien de afstand tussen beide slechts 130 m is. Naar de exacte hoeveelheid dissipatie van meetpaal tot ADCP tot teen van de dijk lopen op dit moment nog twee analyses, met SWAN en met de laserscannerdata.

2. Ook bij de gemeten (2D-)spectra kunnen nog kanttekeningen worden geplaatst. Er lijkt nog niet consistent te worden gemeten. Voor piek 1 van Corrie (Figuur 2) lijkt de vorm van het spectrum namelijk vrij goed te zijn, maar is geen gereflecteerde energie zichtbaar. Ook voor Eunice (Figuur 6) lijkt de vorm redelijk te kloppen, maar daar wordt juist wel veel gereflecteerde energie gevonden. Het spectrum van piek 2 van Corrie (Figuur 4) is echter veel te platgeslagen, en ook daar wordt een vrij grote hoeveelheid gereflecteerde energie gevonden.
3. Spectra zouden altijd voor de gehele stormpiek bepaald moeten worden, niet enkel voor perioden van 20 minuten, vanwege de beperkte hoeveelheid (Noordzee)golven in een periode van 20 minuten. Dit levert betrouwbaardere resultaten op. Dit aspect gaat een nog belangrijker rol spelen, als ook naar infragravitygolven gaat worden gekeken (met periodes tot 250 s).
4. De gemeten golfrichtingen, op basis van de gehele stormpieken, komen vrij goed overeen met de empirische relatie tussen windrichting en gemiddelde golfrichting voor UHW van Van der Meer (2018). De 2D-spectra bevatten een hoogfrequente Waddenzeepeik die meer uit het westen komt en een meer noordelijke, laagfrequenter Noordzeepeik. De laagfrequenter piek is sterker bij een meer noordelijke wind (zoals tijdens de tweede piek van storm Corrie), waarbij meer van de Noordzee-energie kan doordringen.
5. Naast de beperkte waterdiepte, kan ook de gebruikte frequentieruimte bijdragen aan de onderschatting van de hoeveelheid energie door de ADCP. De analyse is in eerste instantie uitgevoerd voor de frequentieruimte 0,01 Hz - 0,4 Hz. Hierdoor wordt de energie >0,4 Hz gemist, wat kan bijdragen aan de lagere H_{m0} die volgt uit de ADCP. Het wordt daarom aanbevolen de analyse in het vervolg uit te voeren van 0,01 Hz - 1,00 Hz, met dezelfde resolutie van 0,01 Hz. Voor de huidige metingen levert dit niet veel extra energie op (1 cm à 2 cm toename in H_{m0}), maar met een meetfrequentie van 2 Hz kan er überhaupt weinig (nauwkeurig) zijn gemeten boven de 0,4 Hz.
6. Op basis van bovenstaand punt wordt tevens aanbevolen de meetfrequentie van de ADCP in het vervolg op 4 Hz te zetten.
7. Het wordt aanbevolen nogmaals kritisch te kijken naar de keuze voor *cart* of *naut* (cartesisch of nautisch coördinatenstelsel) in DIWASP. Op basis van de toegeleverde data is lastig te zeggen welke van de twee opties de juiste is. Op basis van de resultaten van de huidige analyse lijkt dit *naut* te moeten zijn. De keuze heeft (voor de hier beschouwde metingen) een beperkte invloed op de golfrichtingen.
8. In de analyse wordt nu gebruik gemaakt van de door de ADCP gemeten afstand tot het wateroppervlak, welke wordt bepaald door de gemiddelde waarde van de gemeten oppervlakte-uitwijking te nemen. Met de hoogte boven de bodem van de ADCP van 0,2 m en de bodemligging van 0,63 m+NAP zou men dan uit moeten komen op de door de RWS-metpaal en laserscanners gemeten waterstand. Dit is voor storm Corrie echter niet het geval, waarbij de ADCP op 30 cm hogere waterstanden uitkomt (zie Tabel 1 en Tabel 2). De waterstand tijdens Eunice komt opvallend genoeg

wel goed overeen. Er is geprobeerd hiervoor te corrigeren, maar dit levert vrijwel gelijke resultaten op en verbetert de gemeten golfhoogten niet. Er wordt aanbevolen nog eens kritisch te kijken naar de door de ADCP gemeten oppervlakte-uitwijking, aangezien dit een belangrijke component in de analyse is.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

11 mei 2023

9. Op dit moment wordt de EMEP-methode gebruikt om de spectra te bepalen. De analyse is hier nogmaals doorlopen met de BDM-methode (Hashimoto & Kobune, 1988), welke in sommige situaties nauwkeuriger kan zijn. Dit levert in dit geval (voor de huidige stormen en huidige tien invoerparameters) geen significant beter resultaat op. De EMEP-methode lijkt dus te voldoen, al lijkt deze methode iets meer moeite te hebben met het scheiden van de inkomende en gereflecteerde energie.
10. Het reduceren van het aantal invoerparameters voor de analyse - bijvoorbeeld twee hoogtebins in plaats van drie of geen oppervlakte-uitwijking - levert (logischerwijs) minder nauwkeurige resultaten op.
11. DIWASP levert de richting (D_{Tp}) van de bin (in het 2D-spectrum, dus in richtingsruimte en frequentieruimte) met de meeste energie en de richting ($D_{dominant}$) van de richting met de meeste energie (dus gesommeerd over de frequenties). DIWASP levert echter geen gemiddelde golfrichting, die in het algemeen gebruikt wordt en als invoer dient voor bijvoorbeeld de overslagformules. De gemiddelde golfrichtingen zijn in de huidige analyse bepaald en het wordt aanbevolen dit in het vervolg mee te nemen in de standaarduitwerking. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de gereflecteerde energie, waardoor de gemiddelde golfrichting (sterk) kan wijzigen. Dit aandachtspunt geldt ook voor de invoer van de overslagformules: de formules gaan uit van enkel de inkomende golfhoogte, -periode en gemiddelde richting, waar nu vaak de totale golfhoogte uit de metingen wordt genomen.
12. De huidige analyse richtte zich op Uithuizerwad. Naar de Dubbele Dijk is nog niet in detail gekeken, omdat daar tot nu toe (veel) kleinere golfhoogten zijn gemeten. Het verdient echter aanbeveling om ook hier nog eens goed naar de (betrouwbaarheid van de) ADCP (en WaveDroidboei)metingen te kijken.
13. Uit eerdere analyses is gebleken dat de WaveDroid bij Uithuizerwad niet goed meet, door de beperkte waterdiepte (vaak orde 2 m - 2,5 m). Zoals beschreven, geldt dit mogelijk ook voor de ADCP en is voor een goede meting een grotere waterdiepte nodig. Door de TU Delft en Universiteit Gent worden ADCP's met name in grotere waterdiepten gebruikt (bijvoorbeeld tot 8 m bij RealDune/REFLEX). Voor ondieper water gebruikt men in België (Proefdijk Raversijde) bijvoorbeeld een combinatie van een wave staff (<https://oceansensorsystems.com/products.htm#WaveStaff> type OSSI-010-002F) voor de golfhoogte en velocimeter ([Nortek | Velocimeter I Vector - 300 m \(nortekgroup.com\)](https://www.nortekgroup.com)) voor de golfrichtingen. Er zijn ook wave staffs die op een accu werken. Het wordt aanbevolen om in gesprek te gaan met de universiteiten en de combinatie staff en velocimeter naast de ADCP's te plaatsen.

Referenties

- Hashimoto, N., & Kobune, K. (1988). Estimation of Directional Spectrum through a Bayesian Approach. *Coastal Engineering in Japan*, 31(2), 183–198.
<https://doi.org/10.1080/05785634.1988.11924491>
- Hashimoto, N., Nagai, T., & Asai, T. (1995). Extension of the maximum entropy principle method for directional wave spectrum estimation. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, 1, 232–246.
<https://doi.org/10.1061/9780784400890.019>
- Johnson, D. (2002). *DIWASP, a directional wave spectra toolbox for MATLAB: User Manual*. Centre for Water Research, University of Western Australia; MetOcean Solutions Ltd. <https://github.com/metocean/diwasp>
- Van der Meer, J. W. (2018). *Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard. Te verwachten stormomstandigheden en bepalen hoogte van de golfoverslagbakken in de dijk bij Uithuizerwad*.
- Van der Meer, J. W. (2022a). *Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard. Stormrapportage #04 - 29-1-2022 Corrie*.
- Van der Meer, J. W. (2022b). *Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard. Stormrapportage #05 - 19 februari 2022 Eunice*.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

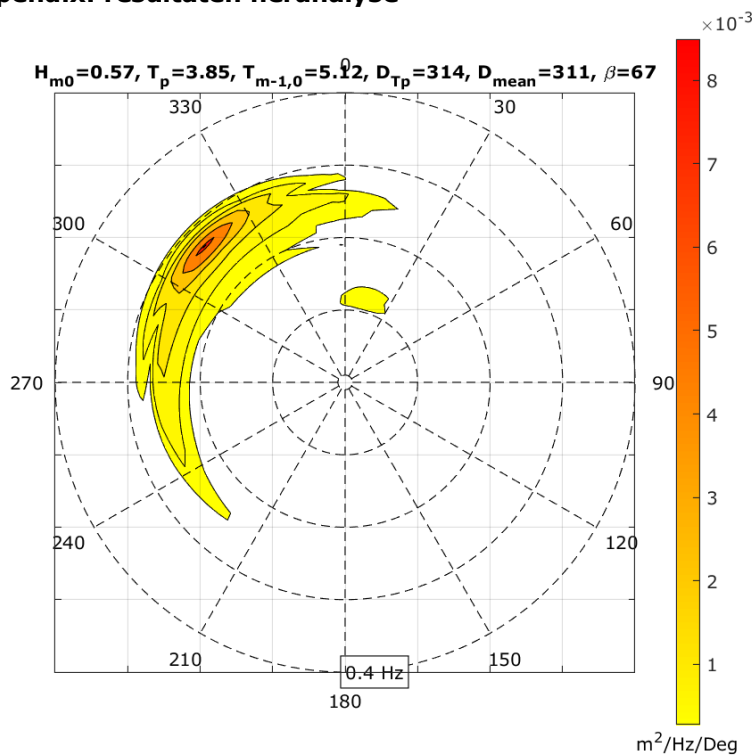
Datum

11 mei 2023

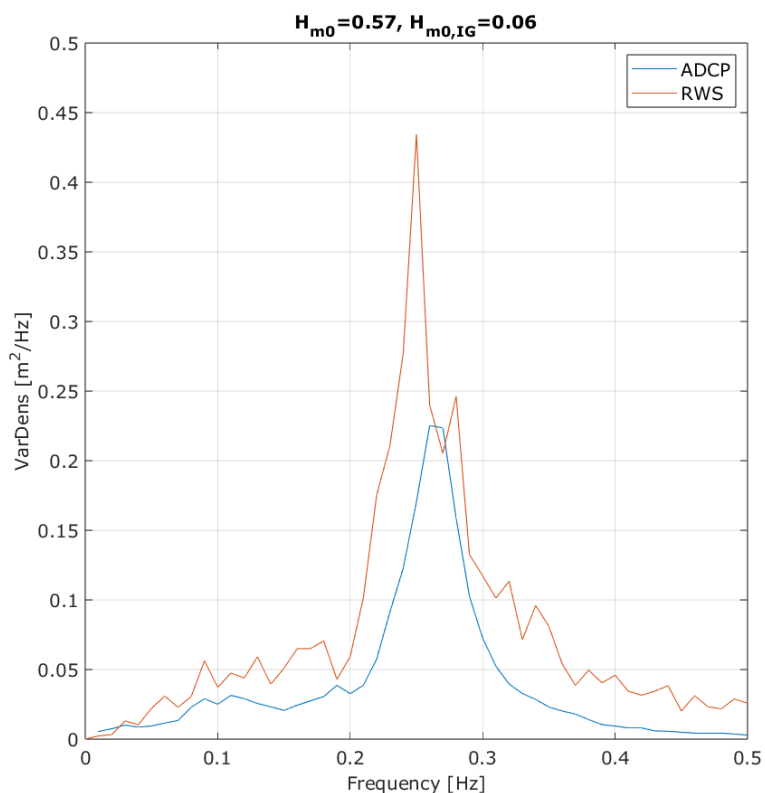
Appendix: resultaten heranalyse

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum
11 mei 2023



Figuur 2. 2D-spectrum voor Corrie piek 1. Nautische conventie, dus de richtingen waar de golven vandaan komen.



Figuur 3. 1D-spectra volgens ADCP (blauw) en RWS-meetpaal (rood) voor Corrie piek 1. De getallen in de titel van de figuur zijn de door de ADCP gemeten waarden.

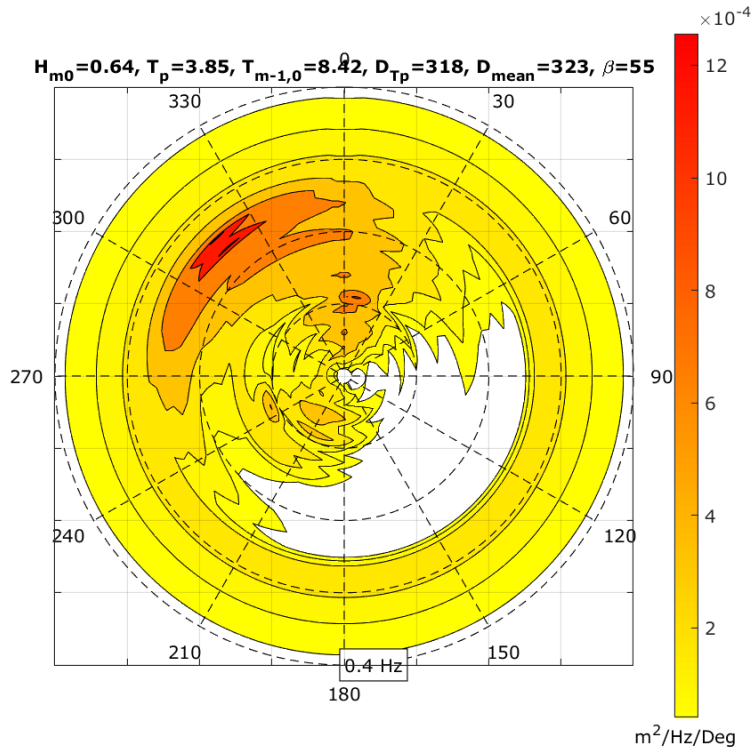
Tabel 1. Gemeten parameters voor de eerste piek van storm Corrie. D [$^{\circ}N$] is de windrichting, U [m/s] de windsnelheid, h [m+NAP] de waterstand, d [m] de waterdiepte, H_{m0} [m] de significante (spectrale) golfhoogte, $H_{m0,IG}$ [m] de infragravitygolfhoogte ($\leq 0,04$ Hz), T_p [s] de piekgolfperiode, $T_{m-1,0}$ [s] de spectrale periode, D_{Tp} [$^{\circ}N$] de richting van de bin met de meeste energie, $D_{dominant}$ [$^{\circ}N$] de richting met de meeste energie, δ [$^{\circ}N$] de gemiddelde golfrichting en β [$^{\circ}$] de hoek van golfaanval. ¹Uit door ADCP gemeten oppervlakte-uitwijking bepaalde waterstand. ²Uit door ADCP gemeten oppervlakte-uitwijking bepaalde waterdiepte. ³Het gaat hierbij in alle gevallen om de totale golfhoogte (inkomend + gereflecteerd). ⁴De gemiddelde golfrichting wordt niet gemeten door de RWS-meetpaal. Deze waarde volgt uit een empirische relatie van Van der Meer (2018). ⁵Gemiddelde golfrichting inclusief gereflecteerde energie.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

11 mei 2023

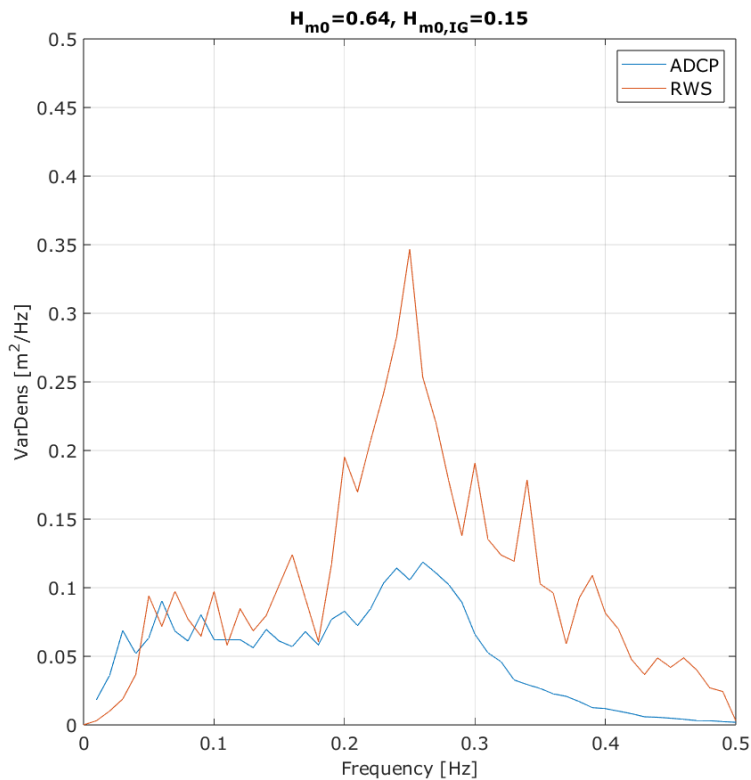
Corrie piek 1	RWS-meetpaal UHW	ADCP oorspronkelijk	ADCP heranalyse
Van	29-1-2022 18:50	29-1-2022 18:50	29-1-2022 18:50
Tot	29-1-2022 20:00	29-1-2022 20:00	29-1-2022 20:00
Lengte [hh:mm]	01:10	01:10	01:10
D [$^{\circ}N$]	289	-	-
U [m/s]	14,3	-	-
h [m+NAP]	2,86	3,18 ¹	3,18 ¹
d [m]	2,31	2,55 ²	2,55 ²
H_{m0} [m]	0,79 ³	0,56 ³	0,57 ³
$H_{m0,IG}$ [m]	-	-	0,06
T_p [s]	3,76	3,85	3,85
$T_{m-1,0}$ [s]	4,40	5,23	5,12
D_{Tp} [$^{\circ}N$]	-	316	314
$D_{dominant}$ [$^{\circ}N$]	-	316	314
δ [$^{\circ}N$]	320 ⁴	312 ⁵	311 ⁵
β [$^{\circ}$]	58	66	67



Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum
11 mei 2023

Figuur 4. 2D-spectrum voor Corrie piek 2. Nautische conventie, dus de richtingen waar de golven vandaan komen.



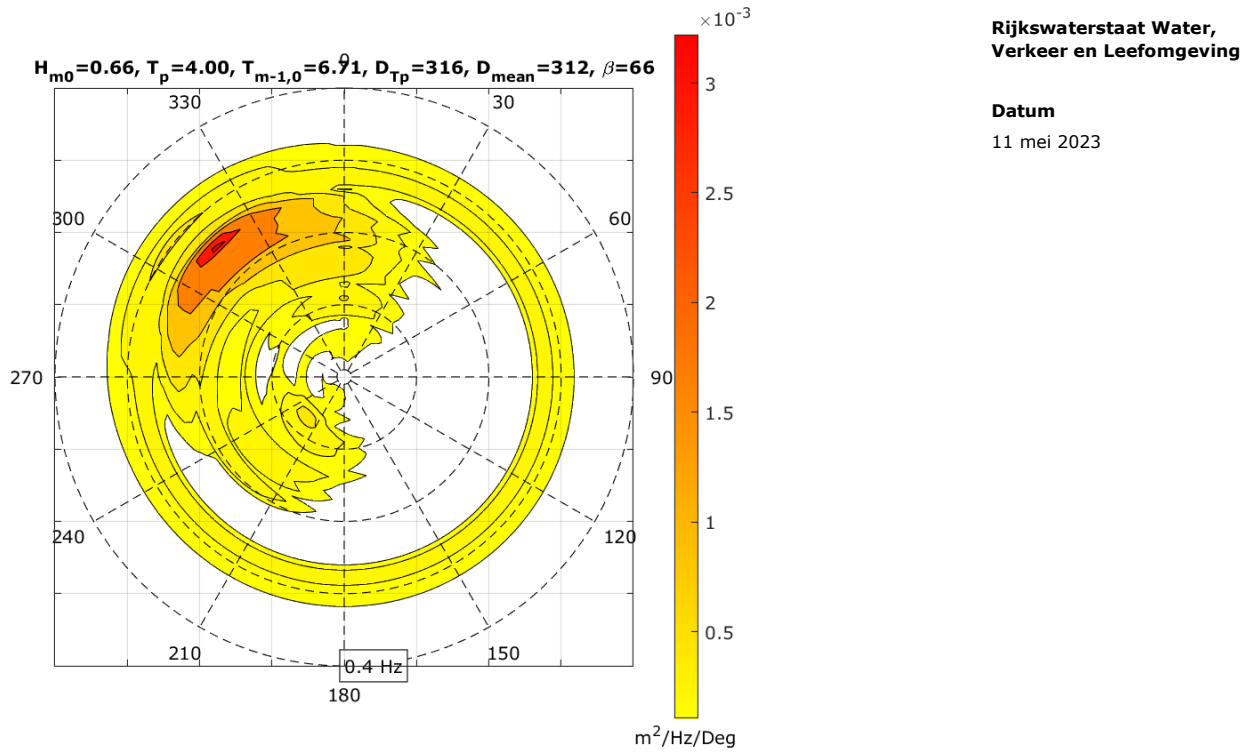
Figuur 5. 1D-spectra volgens ADCP (blauw) en RWS-meetpaal (rood) voor Corrie piek 2. De getallen in de titel van de figuur zijn de door de ADCP gemeten waarden.

Tabel 2. Gemeten parameters voor de tweede piek van storm Corrie.

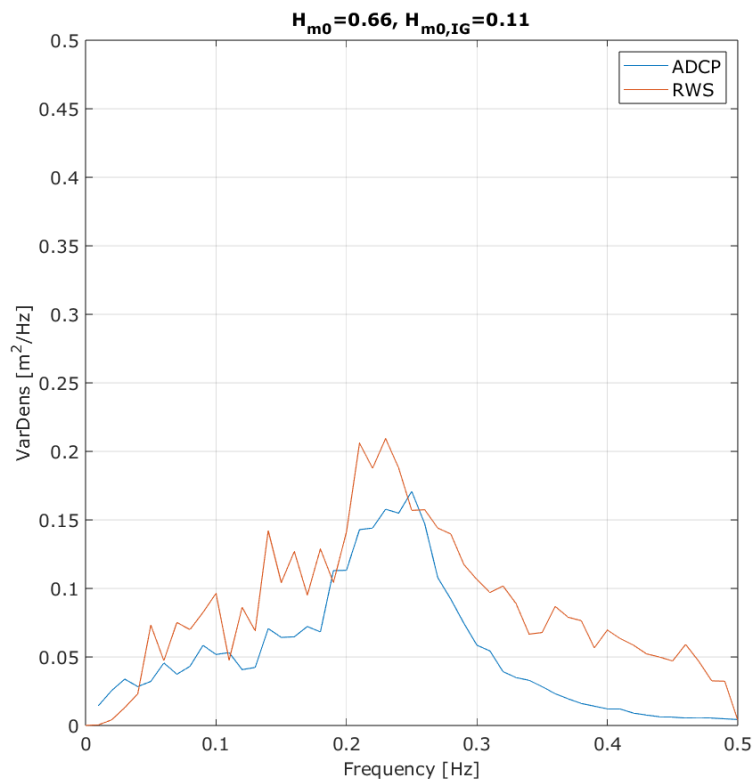
Corrie piek 2	RWS-meetpaal UHW	ADCP oorspronkelijk	ADCP heranalyse
Van	30-1-2022 07:00	30-1-2022 07:00	30-1-2022 07:00
Tot	30-1-2022 09:00	30-1-2022 09:00	30-1-2022 09:00
Lengte [hh:mm]	02:00	02:00	02:00
D [°N]	324	-	-
U [m/s]	14,6	-	-
h [m+NAP]	3,12	3,49 ¹	3,49 ¹
d [m]	2,57	2,86 ²	2,86 ²
H_{m0} [m]	0,91 ³	0,63 ³	0,64 ³
$H_{m0,IG}$ [m]	-	-	0,15
T_p [s]	3,80	3,85	3,85
$T_{m-1,0}$ [s]	5,08	8,62	8,42
D_{Tp} [°N]	-	314	318
$D_{dominant}$ [°N]	-	316	340
δ [°N]	330 ⁴	322 ⁵	323 ⁵
β [°]	48	56	55

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum
11 mei 2023



Figuur 6. 2D-spectrum voor Eunice. Nautische conventie, dus de richtingen waar de golven vandaan komen.



Figuur 7. 1D-spectra volgens ADCP (blauw) en RWS-metpaal (rood) voor Eunice. De getallen in de titel van de figuur zijn de door de ADCP gemeten waarden.

Tabel 3. Gemeten parameters voor de piek van storm Eunice.

Eunice piek 1	RWS-meetpaal UHW	ADCP oorspronkelijk	ADCP heranalyse
Van	19-2-2022 00:20	19-2-2022 00:20	19-2-2022 00:20
Tot	19-2-2022 01:40	19-2-2022 01:40	19-2-2022 01:40
Lengte [hh:mm]	01:20	01:20	01:20
D [°N]	264	-	-
U [m/s]	22,5	-	-
h [m+NAP]	3,12	3,13 ¹	3,13 ¹
d [m]	2,57	2,50 ²	2,50 ²
H_{m0} [m]	0,84 ³	0,64 ³	0,66 ³
$H_{m0,IG}$ [m]	-	-	0,11
T_p [s]	4,41	4,00	4,00
$T_{m-1,0}$ [s]	5,35	6,93	6,71
D_{Tp} [°N]	-	316	316
$D_{dominant}$ [°N]	-	318	318
δ [°N]	312 ⁴	314 ⁵	312 ⁵
β [°]	66	64	66

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum
11 mei 2023