

Hindcast SWAN-IJsselmeer

inclusief IJssel-Vechtdelta



Hindcast SWAN-IJsselmeer
inclusief IJssel-Vechtdelta

Auteur(s)

Caroline Gautier

Djimin Teng

Hindcast SWAN-IJsselmeer

inclusief IJssel-Vechtdelta

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer M. Scholten
Referenties	Projectplan – SITO Programmasubsidie IenW 2024; MAD 09 2024 Hydraulica Schematisaties Zoet Zout
Trefwoorden	Golven, SWAN, IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta, golfmetingen, hindcast

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	21-11-2024
Projectnummer	11210333-009
Document ID	11210333-009-ZWS-0003
Pagina's	46
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Caroline Gautier	
	Djimin Teng	

Samenvatting

Voor de operationele verwachtingen van golven op de grote meren gebruikt Rijkswaterstaat diverse SWAN-golfmodellen die door Deltares zijn opgezet. Het is onvoldoende bekend hoe betrouwbaar die golfverwachtingen zijn. Het doel van deze studie is om de kwaliteit te bepalen van het SWAN-model dat gebruikt wordt voor de operationele golfverwachtingen op het IJsselmeer en de IJssel-Vechtdelta. Door modelsimulaties uit te voeren voor stormachtige periodes waarvoor ook relevante golfmetingen beschikbaar zijn is te bepalen hoe goed het model is. Hiertoe vergelijken we de modeluitkomsten met de metingen.

De hindcast geeft vertrouwen in het SWAN-ijsselmeer-ijyd model, hoewel voor individuele momenten SWAN soms wel afwijkt van de metingen. De significante golfhoogtes (H_{m0}) wijken gemiddeld 6% af (overschatting door SWAN), de periodes ($T_{m-1,0}$) -2% (onderschatting door SWAN). De scatter bedraagt 21% voor golfhoogte en 8% op golfperiode $T_{m-1,0}$. Deze getallen zijn gebaseerd op orde 1700 combinaties van meting en modelresultaat op drie locaties gedurende enkele maanden in 2023 en 2024. De scores zijn vergelijkbaar met de modelprestaties van het SWAN-Markermeer model (Deltares, 2024) en verschillen weinig met de modelonzekerheden die destijds voor WTI voor het IJsselmeer zijn vastgesteld (19% en 11% scatter voor H_{m0} respectievelijk $T_{m-1,0}$; Deltares, 2015).

De hoeveelheid geschikte metingen is beperkt. Er is nog slechts één stappenbaak actief op het IJsselmeer bij Rotterdamse Hoek en er lagen tijdelijk twee meetboeien bij Kornwerderzand en enkele bij Rotterdamse Hoek waarvan één beschikbaar voor deze studie. De boei voor de spuisluis van Kornwerderzand (KW1ob) is wel beschouwd, maar het SWAN-model is eigenlijk niet opgezet voor dat soort afgeschermd gebied met sterke bodemgradiënten. Hier is de modelprestatie ondermaats (36% bias en 39% scatter) en duidelijk minder goed dan voor de andere locaties. Vanwege gebrek aan metingen op de IJssel-Vechtdelta is dit gebied vooralsnog niet geanalyseerd.

Het wordt aanbevolen om in de toekomst verder te kijken naar de volgende metingen:

- Van Waterproof bij de Maxima elektriciteitscentrale nabij Lelystad. Deze meting is gedaan nabij de dijk, en dus relevant voor waterveiligheid en de operationele modellen.
- Onderlinge verschillen tussen de metingen van verschillende meetinstrumenten bij Rotterdamse Hoek in de winter 2023/2024. Dit was een test met stappenbaak, Obscape boei en Spotter boei, dus dit kan een beter beeld geven bij de verschillen tussen de meetapparaten onderling, en zo ook beter de verschillen te duiden tussen de meetapparaten en SWAN.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Algemeen	6
1.2	Probleemstelling	6
1.3	Doelstelling	6
1.4	Aanpak	6
1.5	Hoofdboodschap	6
1.6	Leeswijzer	6
2	Metingen en model	7
2.1	Beschikbare metingen	7
2.2	Selectie hindcastperioden	8
2.3	SWAN-model IJsselmeer en IJssel-Vechtdelta	10
2.3.1	Operationeel SWAN-model in RWsOS-Meren	10
2.3.2	SWAN-Model zoals gebruikt in hindcast	11
3	Resultaten	13
3.1	SWAN uitvoer	13
3.2	Tijdreeksen, vergelijking met metingen	14
3.3	Spectra, vergelijking met metingen	15
3.4	Statistiek, vergelijking met metingen	16
4	Conclusies en aanbevelingen	18
5	Literatuur	19
A	Figuren	20
B	Statistiek formules	43
C	Voorbeeld resultaten Reevediep	44

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voor de operationele verwachtingen van golven op de grote meren gebruikt Rijkswaterstaat diverse SWAN-golfmodellen die door Deltares zijn opgezet en die draaien binnen RWsOS ('Rijkswaterstaats Operationele Systemen'). Het KPP-project "MAD09 2024 - Hydraulica schematisaties – zoet en zout" zorgt voor de hydraulische modelschematisaties voor Rijkswaterstaat en dus ook voor de SWAN-modelschematisaties. Voor het IJsselmeer en de IJssel-Vechtdelta inclusief het Ketelmeer, Vossemeer en Zwarte Meer, is de modelschematisatie 'swan-ijsselmeer_ijvd' beschikbaar.

1.2 Probleemstelling

Omdat de modeluitkomsten van het swan-ijsselmeer_ijvd-model nog nooit goed met metingen zijn vergeleken, is niet bekend hoe betrouwbaar de operationele golfverwachtingen zijn die Rijkswaterstaat voor het IJsselmeer en de IJssel-Vechtdelta uitgeeft.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is om de kwaliteit te bepalen van het SWAN-model dat gebruikt wordt voor de operationele golfverwachtingen op het IJsselmeer en de IJssel-Vechtdelta.

1.4 Aanpak

Door golfmodelsimulaties uit te voeren voor stormachtige periodes met beschikbare relevante golfmetingen, is te bepalen hoe goed het golfmodel is ('hindcast'). Hiertoe vergelijken we de modeluitkomsten met de metingen. De golfmetingen die ons bekend zijn vinden uitsluitend op het IJsselmeer plaats.

1.5 Hoofdboodschap

De hindcast geeft vertrouwen in het swan-ijsselmeer_ijvd model. De golfhoogtes wijken gemiddeld 6% af, de periodes -2%. De scatter bedraagt 21% voor golfhoogte en 8% op golfperiode. Deze getallen zijn gebaseerd op orde 1700 combinaties van meting en modelresultaat op drie locaties gedurende enkele maanden in 2023 en 2024.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de beschikbare metingen, een toelichting op de geselecteerde hindcastperiodes en een omschrijving van het gebruikte SWAN-model (met verschillen t.o.v. het operationele model). In hoofdstuk 3 worden de SWAN-resultaten en de vergelijking met de metingen toegelicht, voor zowel tijdreeksen als spectra. Als laatste worden in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen gegeven. Appendix A bevat figuren betreffende de resultaten (hoofdstuk 3).

2 Metingen en model

2.1 Beschikbare metingen

Zo uitgebreid als in de eerste 10-15 jaar van deze eeuw (zie bijvoorbeeld Bottema, 2007) wordt er niet meer gemeten op het IJsselmeer maar bij de Rotterdamse Hoek (ten westen van de Noordoost polder) staat nog altijd een golfmeetpaal en bij Kornwerderzand (waar de Afsluitdijk Friesland aan doet) zijn dit jaar twee meetboeien geplaatst.

We beschouwen twee bronnen met meetgegevens, te weten:

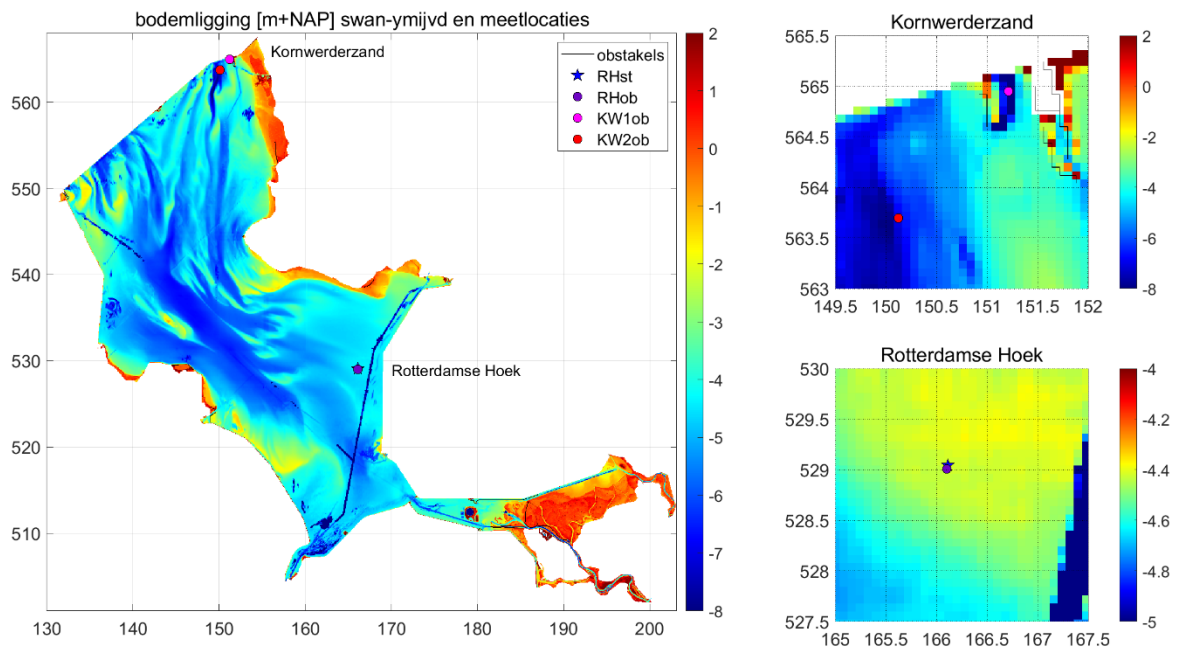
- Rijkswaterstaat LMW (Landelijk Meetnet Water) metingen via rws.waterinfo.nl
 - De meetpaal Rotterdamse Hoek (RH, ook wel FL2 genaamd) doet al ruim 25 jaar dienst.
- Obscape meetboeien, via Rijkswaterstaat:
 - Rotterdamse Hoek;
 - Kornwerd 1 (nabij de spuisluisen van de Afsluitdijk, in het spuikanaal);
 - Kornwerd 2 (ruim een kilometer ten zuidwesten van de spuisluisen).

Zie Tabel 2.1 en Figuur 2.1 voor de locatie van de meetinstrumenten en de bodemligging in de omgeving.

Tabel 2.1: Overzicht golfmeetlocaties IJsselmeer (bodemligging o.b.v. SWAN bodembestand)

			Xrd [m] lon	Yrd [m] lat	Bodemligging [m+NAP]
RHst	Rotterdamse Hoek	Stappenbaak	166115	529043	-4.42
RHob	Rotterdamse Hoek	Obscape meetboei	166101 5.551610°O	529008 52.7483°N	-4.42
KW1ob	Kornwerderzand Spuikanaal	Obscape meetboei	151212 5.33069°O	564951 53.0714°N	-8.08
KW2ob	Kornwerderzand Buitengaats	Obscape meetboei	150126 5.31304°O	563695 53.0601°N	-6.65

De projectmetingen nabij de Houtribdijk (HKV & Tauw, 2021) die in het kader van 'monitoring Houtribdijk' in 2019-2021 zijn gedaan beschouwen we niet in deze studie omdat we de voorkeur geven aan een recentere periode waarbij metingen van meerdere boeien beschikbaar waren.



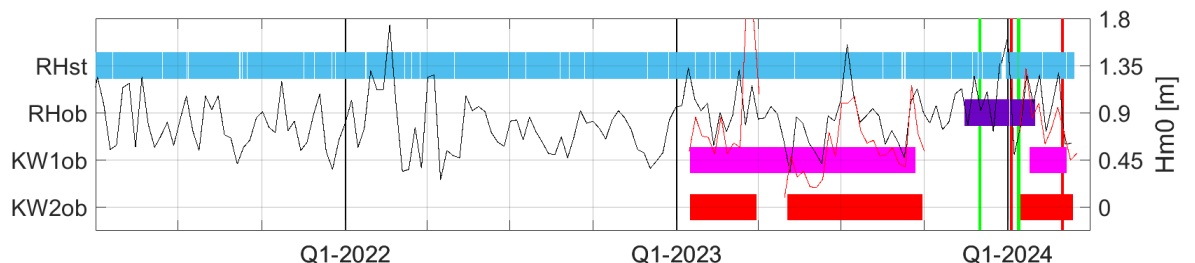
Figuur 2.1: Bodemligging modelgebied en golfmeetlocaties (coördinaten in km RD)

2.2 Selectie hindcastperioden

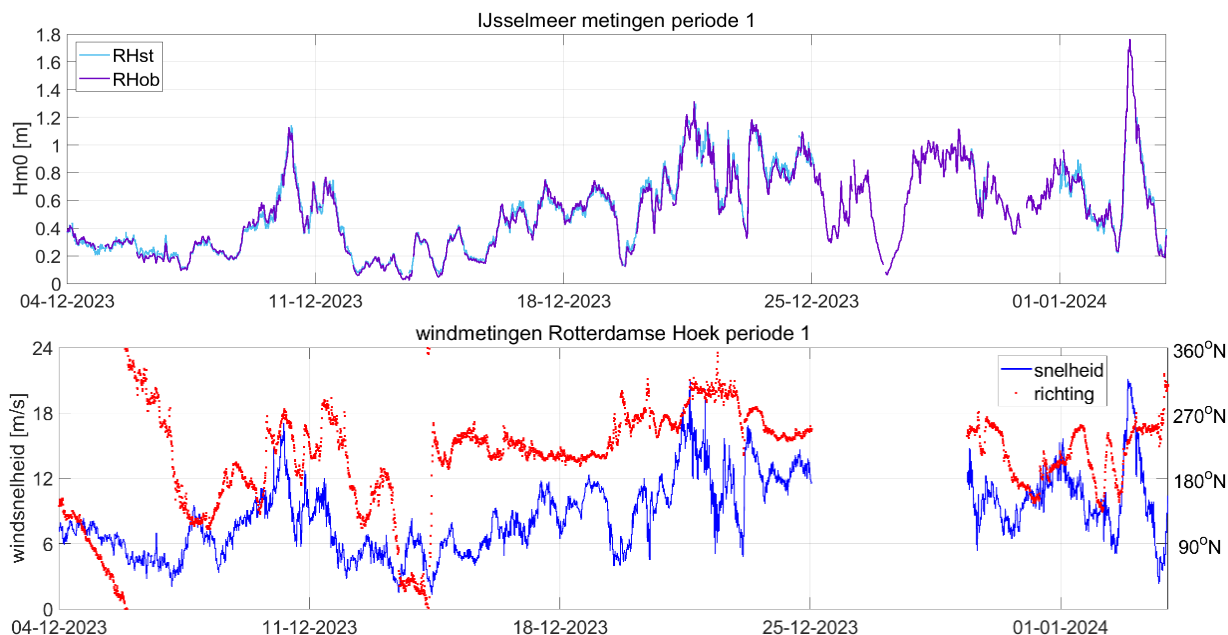
Voor het selecteren van de hindcastperiode is de wens om verschillende locaties (tegelijk) en verschillende condities te beschouwen waarbij ook hogere golven boven 1.2 m voorkomen. Daarnaast geven we de voorkeur aan situaties die niet langer dan een jaar of vijf geleden zijn opgetreden. Bovendien moeten invoervelden van waterstand en wind beschikbaar of maakbaar zijn voor de SWAN berekeningen. De keuze is op twee periodes gevallen, aangegeven in het beschikbaarheidsfiguur (Figuur 2.2) met verticale groene (start) en rode (eind) lijnen:

- 1) 4 december 2023 – 4 januari 2024
- 2) 15 januari 2024 – 1 maart 2024

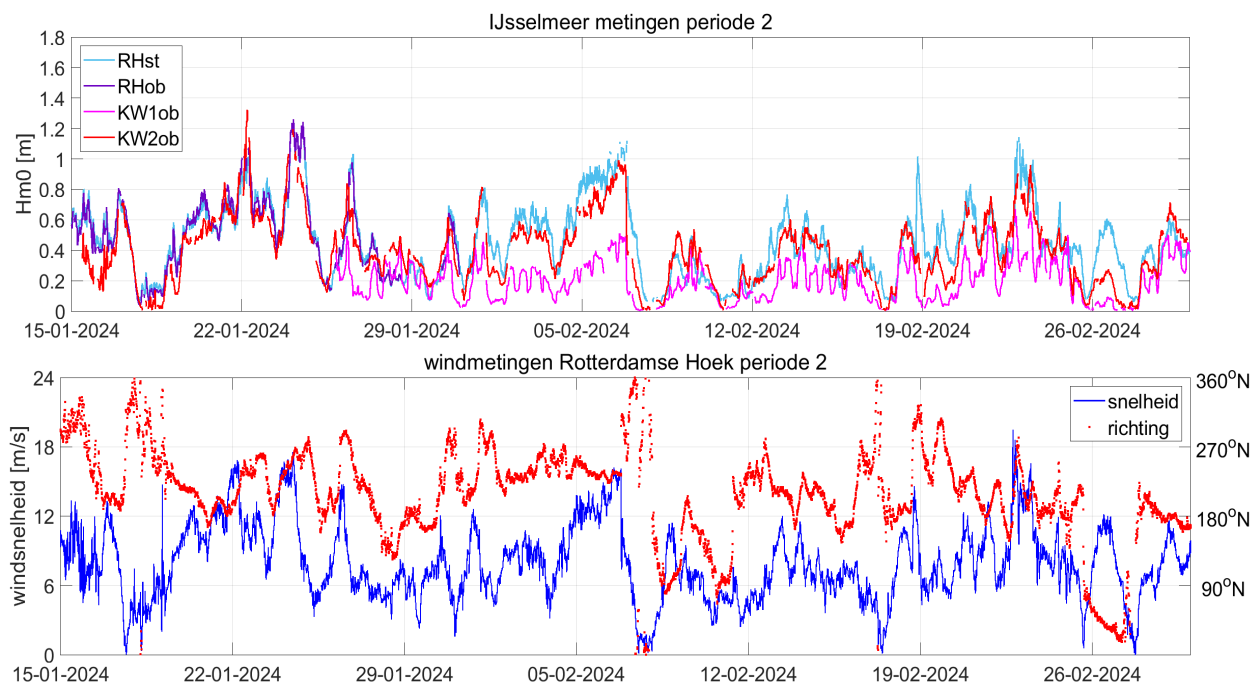
Voor deze periodes is een Stormflits (WMCN-Meren, 2024a) gepubliceerd en later een Stormrapport (WMCN-Meren, 2024b), want er waren wel flinke depressies: storm Pia op 21 december 2023, storm Henk op 2/3 januari 2024 en storm Isha 21/22 januari 2024. December 2023 werd gekenmerkt door hoge waterstanden op de rivieren en het IJsselmeer. Wekenlang (23 dec - 4 jan) was de waterstand boven NAP+0.5 m terwijl die 's winters meestal niet boven NAP uitkomt. Meerdere keren zijn golven van meer dan een meter gemeten en de hoogste meting is bijna 1.8 m, zie de tijdreeksen in Figuur 2.2. In Tabel 2.2 staat vermeld welke instrumenten en welke parameters beschikbaar zijn voor de geselecteerde periodes.



Figuur 2.2: Beschikbaarheid golfmetingen IJsselmeer. Kleurenbalken horen bij linker y-as; zwarte lijn geeft maximale significante golfhoogte per week op locatie Rotterdamse Hoek, rode lijn op KW2 (rechter y-as). RH staat voor Rotterdamse Hoek; KW voor Kornwerderzand



Figuur 2.3: Bij Rotterdamse Hoek gemeten golfhoogtes (boven) en wind (onder) waar SWAN hindcast simulaties voor zijn uitgevoerd, eerste periode.



Figuur 2.4: Gemeten golfhoogtes voor alle locaties waar SWAN hindcast simulaties voor zijn uitgevoerd (boven) en gemeten wind bij Rotterdamse Hoek (onder), tweede periode. NB; RH=Rotterdamse Hoek; KW=Kornwerderzand; st=stappenbaak; ob=Obscape boei

De meetgegevens die via de website RWS.Waterinfo.nl van de stappenbaak bij Rotterdamse Hoek beschikbaar waren betroffen alleen golfhoogte H_{m0} (zelfs na expliciet nagevraagd te hebben). Via de CIV hebben we echter ook 1d golfspectra van de stappenbaak ontvangen maar die data bevat meer gaten, o.a. ten tijde van de hoogste golven rond 3 januari 2024. Rond die storm hebben we wel de golfhoogtes van waterinfo. We beschouwen voor de gehele periode 1 de golfhoogte H_{m0} van Waterinfo terwijl we de golfperiodes uit de spectra van de CIV

bepalen. Voor periode 2 baseren we niet allen de golfperiodes maar ook de golfhoogte H_{m0} op de spectra van de CIV. Het verschil in golfhoogte tussen de H_{m0} uit waterinfo en op basis van de spectra lag in de orde van millimeters.

De Obscape-metingen waren via een webportal te downloaden, maar niet direct betrouwbaar vanwege soms onrealistische energiepieken bij lage frequenties (<0.2 Hz), zie het voorbeeld in Bijlage A, Figuur A.2.1. Het advies van Obscape om alleen frequenties boven 0.1 Hz te beschouwen en daar golfparameters mee te bepalen was niet afdoende, want er bleek soms ook tussen 0.1 en 0.2 Hz nog een onrealistische energiepiek te zitten. Tussen deze onrealistische piek en de rest van het golfspectrum boven 0.2 Hz, zit een lokaal minimum in energie (zie Figuur A.2.1). Alle energie met frequenties lager dan de frequentie van dit lokale minimum is verwijderd. Vervolgens zijn de golfparameters op basis van deze aangepaste spectra bepaald. Dit is voor alle Obscape-locaties zo gedaan.

Tabel 2.2: Meetlocaties, instrumenten, beschikbare parameters, frequentiebereik en beschikbare tijdstap

Hindcast	locatie	Uitvoer	Instrument	bron	Parameters en spectra gebruikt voor de hindcast	Meet freq [Hz]	Freq. bereik param [Hz]	Tijdstap [minuut]
1	RHst	H_{m0}	STB	waterinfo	H_{m0}	2.56	0.03 - 0.5	10
1	RHst	1d spec	STB	CIV	$T_{m-1,0}$, T_{m02} , spectra	2.56	0.1 - 1.0	10
2	RHst	1d spec	STB	CIV	H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{m02} , spectra	2.56	0.1 - 1.0	10
1 en 2	RHob	2d spec	Boei	Obscape	H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{m02} , spectra	6	0.1 - 1.0	30
1 en 2	KW1ob	2d spec	Boei	Obscape	H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{m02} , spectra	6	0.1 - 1.0	30
1 en 2	KW2ob	2d spec	Boei	Obscape	H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{m02} , spectra	6	0.1 - 1.0	30

2.3 SWAN-model IJsselmeer en IJssel-Vechtdelta

2.3.1 Operationeel SWAN-model in RWsOS-Meren

Deze hindcaststudie richt zich op het operationele SWAN model van het IJsselmeer en aanliggende meren. De modelschematisatie swan-ym_ijvd_rd-j19_6-v2a-rwsos (Deltares, 2022) beslaat niet alleen het IJsselmeer maar ook het Ketelmeer, Vossemeer Zwarte Meer, Zwarte Water, het Reevediep en delen van de IJssel en de Vecht. Sinds september 2023 loopt het operationeel mee in RWsOS-meren met 48 uren forecast-berekeningen die vier keer per dag worden opgestart als nieuwe windverwachtingen van het HARMONIE model beschikbaar zijn. Naast windvelden worden waterstandsvelden als invoer gebruikt; die komen van operationele D-HYDRO berekeningen.

Het rekenrooster bestaat uit 1317 x 1040 rechthoekige cellen van 80 m x 80 m op het grootste deel van het IJsselmeer en 40 m x 40 m ten oosten van de Ketelbrug. Vanwege deze twee verschillende maten is het rooster als curvilineair rooster gedefinieerd. Het heeft 293.875 roosterpunten. De bodem (zie Figuur 2.1) is gebaseerd op Baseline schematisatie 'ym_ijvd_rd-j19_6-v2a'. De modelschematisatie bevat ook obstakels om sub-rooster elementen weer te geven. De 933 obstakels bevinden zich voornamelijk op het Ketelmeer, het Zwarte Meer, bij Kornwerderzand en Den Oever, Enkhuizen, Medemblik en Makkum.

De SWAN-versie die gebruikt wordt in de operationele setting is sinds 2023 versie 41.45. Dit heeft enkele aanpassingen (Deltares, 2023) geveerd t.o.v. de oorspronkelijke modelopzet zoals opgeleverd in 2022 (Deltares, 2022) voor versie 41.31.A1.

Kenmerken van het model zijn onder meer dat de richtingsresolutie 10° is en het frequentiebereik 0.08 – 2 Hz, verdeeld in 24 bins. Voor windgroei, whitecapping en golfbreken worden de formuleringen van Van der Westhuysen gebruikt en voor de bodemwrijving de default Jonswap formulering. De afgekapte ($2.75 \cdot 10^{-3}$) winddrag volgens Wu wordt toegepast in combinatie met pseudowind. De triads worden berekend volgens de LTA-OCA methode:

```
TRIAD ITRIAD=11 TRFAC=0.1 CUTFR=2.5 URCRIT=0.2 URSLIM=0.01
```

Het convergentiecriterium wordt als volgt toegepast:

```
NUMERIC STOPC DABS=0.005 DREL=0.01 CURVAT=0.1 NPNTS=98 STAT &  
MXITST=50 ALFA=0.001
```

Deze numerieke instellingen zijn iets minder strikt dan de default SWAN settings (CURVAT=0.005 NPNTS=99.5) In de forecast mode worden de berekeningen quasi-niet-stationair uitgevoerd voor een periode van 48 uur met een tijdsinterval van twee uur. Dit betekent dat elke twee uur een stationaire berekening wordt uitgevoerd waarbij het golfveld van het vorige tijdstip gebruikt wordt als initiële conditie ('hotstart'). Het initiële golfveld waar de 48 uren periode mee begint komt van een operationele zes uren hindcastberekening.

2.3.2 SWAN-Model zoals gebruikt in hindcast

In deze validatiestudie gaat het om de kwaliteit van de modelschematisatie en niet om de operationele omgeving. We draaien de modellen dus als 'hindcast' met wind en waterstanden waarvan onzekerheden niet gerelateerd zijn aan de voorspelhorizon. Dit maakt het ook mogelijk om langere duur door te rekenen en daarom beperken we ons niet tot perioden van 48 uur.

We houden vast aan de semi-niet-stationaire opzet en de tijdstap van twee uur, en rekenen daar orde twee weken mee door. Deze orde twee weken komt voort uit het maximaal aantal rekenstappen van SWAN. Voor geselecteerde hindcast periodes langer dan twee weken starten we een nieuwe berekening, gebruik makend van hotstart files.

De wind- en waterstandsvelden, respectievelijk van HARMONIE ("knmi_harmonie40") en D-HYDRO ("wdij_ijsselmeer_harmonie_fews") halen we uit RWS-MATROOS. Het downloaden en interpoleren naar het SWAN-rooster gebeurt mogelijk net iets anders dan in de operationele omgeving maar de verschillen zullen minimaal zijn, met uitzondering van het Reevediep. In de operationele omgeving komen de waterstandsvelden van 'IJsselmeer FM Harmonie" dat wel het Reevediep bevat. De waterstandsvelden die in deze hindcast studie zijn gebruikt dekken abusievelijk het Reevediep niet. De waterstanden zijn naar het SWAN-rooster geïnterpoleerd, de wind die toch al op een regelmatig grover rooster beschikbaar is, niet. SWAN zorgt zelf voor interpolatie. De wind is wel omgezet naar (Wu) pseudowind zodat SWAN dezelfde windstress gebruikt als HARMONIE oplevert. Dit is consistent met hoe het in RWsOS gebeurt.

Qua uitvoer verschilt het model dat voor deze hindcast gebruikt wordt enigszins van het originele model. Ten eerste zijn de meetlocaties als extra uitvoerlocaties toegevoegd. Ten tweede worden de uitvoerparameters H_s , T_{m01} , T_{m02} , $T_{m-1,0}$, richting en richtings spreiding bepaald over het frequentiebereik dat overeenkomt met dat van de metingen. Dat betekent 0.1-1.0 Hz voor de metingen met de stappenbaak Rotterdamse Hoek gebaseerd op de spectra (zie Paragraaf 2.2), 0.03-0.5 Hz voor de H_{m0} -metingen uit waterinfo.rws.nl voor periode 1, en 0.1-1.0 Hz voor de metingen van Obscape. Dit om een eerlijke vergelijking met de metingen mogelijk te maken. Het zijn kleinere bereiken dan waar de simulatie mee wordt uitgevoerd (0.08-2 Hz). We gebruiken hiertoe in SWAN de regel:

```
QUANTITY HS TM01 TM02 TMM10 DIR DSPR fmin=0.1 fmax=1.0
```

Let wel dat in één simulatie slechts één bereik gebruikt kan worden voor de uitvoer. De verschillende frequentiebereiken vergen dus meerdere simulaties.

Voor het overige zijn de modelinstellingen identiek als benoemd in de voorgaande paragraaf. Ook de bodem wordt dus gebruikt zoals in het operationele model.

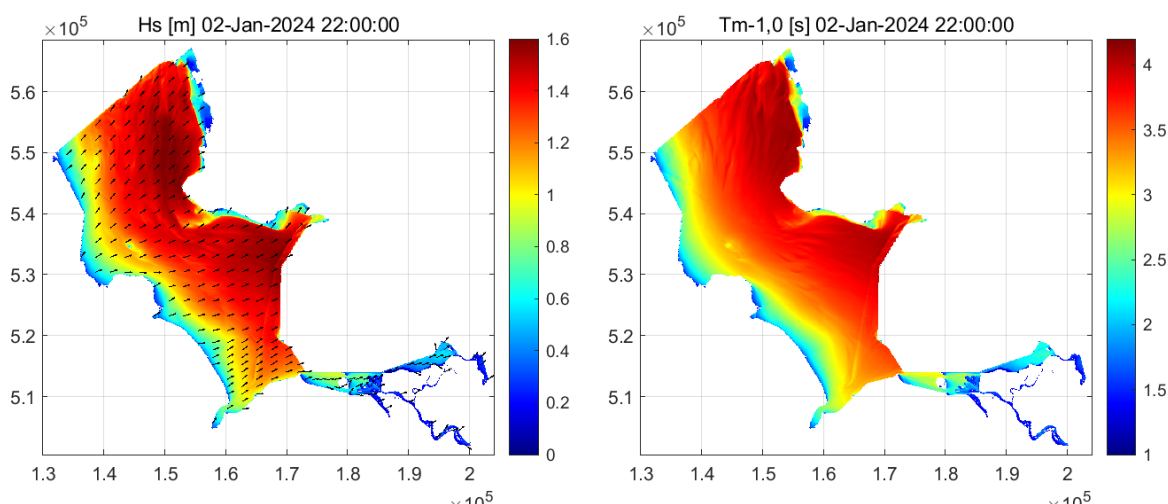
De SWAN-versie van deze hindcast is 41.45.AB.2. Deze versie is nog niet in gebruik bij RWsOS maar voor het stormseizoen 2024/2025 zal de overstap gemaakt zijn.

3 Resultaten

3.1 SWAN uitvoer

Figuur 3.1 toont het ruimtelijk veld van golfhoogte en golfperiode op het moment dat de golven bij de Rotterdamse Hoek maximaal zijn binnen de beschouwde hindcastperiodes (2 januari 2024; 22 uur). Bij een westzuidwesten wind biedt de lange strijklengte de ruimte om te groeien naar 1.6 m significante golfhoogte en ongeveer 4 s golfperiode. Voor andere momenten met relatief hoge golven en verschillende windrichtingen zijn vergelijkbare figuren beschikbaar in Appendix A.3.1a-c. De golven op het Ketel-, Vosse- en Zwarte meer zijn beduidend lager dan op het IJsselmeer, en in de beschouwde hindcasts zelden boven de 1.0 m.

In Appendix A (Figuur A.3.2.a-c) zijn ook detailfiguren voor de IJssel-Vechtdelta opgenomen. Het is interessant om te zien dat bij hoge waterstanden de eilanden in het oosten van het Ketelmeer onder water staan. Ook de uiterwaarden van de IJssel vertonen minder droge stukken dan in bijvoorbeeld februari 2024.

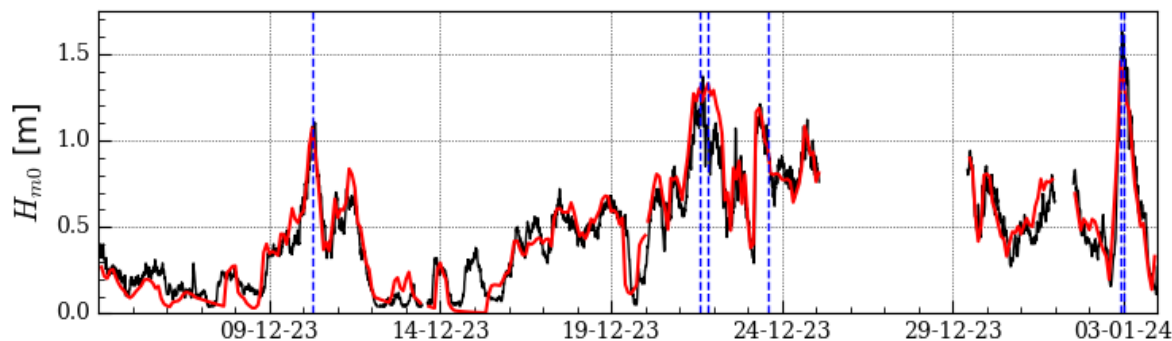


Figuur 3.1: Voorbeeld van SWAN uitvoer op het IJsselmeer/IJVD van golfhoogte (links) en golfperiode (rechts) op 2 jan 2024 22:00

Vanwege de minder geschikte keuze voor de waterstandsbron bevat het Reevediep in deze hindcasts geen water en dus geen golven. In werkelijkheid is er een open verbinding tussen het Drontermeer en het Reevediep en staat er wel water. Bovendien is de bovenstroomse drempel (bovenkant op NAP+1.5 m) op de grens van het Reevediep en de IJssel eind december 2023 ook overstromd geweest maar er waren toen geen hoge golven. Als voorbeeld zijn in Appendix C enkele figuren opgenomen van berekeningsresultaten op het Reevediep die buiten deze hindcast om zijn gemaakt.

3.2 Tijdreeksen, vergelijking met metingen

Voor alle meetlocaties zijn (indien beschikbaar) de golfhoogte H_{m0} , twee spectrale periodes ($T_{m-1,0}$ en T_{m02}) en de golfrichting geplot voor de metingen en de SWAN-uitvoer, zie Figuur A.3.3.a-f in Appendix A.



Figuur 3.2: Tijdreeks (dd-mm-jj) golfhoogte Rotterdamse Hoek, stappenbaak. Zwart: meting, rood: SWAN. Blauwe verticale lijnen geven tijdstippen waarop spectrale plots beschikbaar zijn in Appendix A

Omdat de metingen per instrument een ander frequentiebereik hebben, zijn de SWAN-resultaten daaraan aangepast. Echter, vanwege het verwijderen van de (sporadische) onrealistische energiepieken tussen 0.1 en 0.2 Hz van de Obscape-boeimeting, is er geen eenduidige ondergrens van het frequentiebereik van de Obscape-metingen in een tijdreeks. Voor de SWAN resultaten die vergeleken worden met Obscape-metingen is wel een consistente ondergrens van 0.1 Hz aangehouden.

Als voorbeeld is Figuur 3.2 (Rotterdamse Hoek) hier tussen de tekst opgenomen. Over het algemeen is er een goede overeenkomst tussen de metingen en de SWAN uitvoer voor deze locatie. De metingen hebben een hogere datafrequentie dan de SWAN uitvoer waarvan de tijdstap 2 uur bedraagt (zie Tabel 2.2) en tonen dus meer variatie in de tijd. SWAN volgt de golfgroei rondom de pieken van >1 m golfhoogte goed (nabij de gestippelde blauwe lijnen). Opvallend is het relatief grote verschil tussen SWAN en de meting rondom 15 december 2023. Op basis van de windsnelheid en windrichting zoals opgegeven in SWAN (niet getoond hier) zouden er wel hogere golven verwacht worden. Het lijkt erop dat SWAN hier niet voldoende snel reageert na het draaien van de windrichting en de bijbehorende daling en stijging van de windsnelheid (zie ook Figuur 2.3), maar omdat de berekeningen stationair uitgevoerd worden speelt het tijdsaspect juist geen rol. Het is onduidelijk waar dit verschil tussen meting en model vandaan komt.

Net zoals bij de hindcast voor het Markermeer (Deltares, 2024) zijn er bij lage golfhoogte (<0.1m) in de metingen zeer abrupte veranderingen in de golfperiodes en golfrichting te zien. Deze parameters zijn niet accuraat te meten bij zulke lage golfhoogtes, en dus niet betrouwbaar.

Over het algemeen lijken de hoogste gemeten periodes onderschat te worden door SWAN, in ieder geval ten opzichte van de boeimetingen bij Rotterdamse Hoek en KW2. Dit is sterker aanwezig bij T_{m02} dan bij $T_{m-1,0}$. Voor de metingen van de stappenbaak is het minder duidelijk, omdat er tijdens de eerste hindcastperiode (zie Figuur A.3.3.a) data mist op de tijdstippen waarop de golfboei (RHob) de hoogste periodes (bijv. $T_{m-1,0} > 4s$) heeft gemeten. In de tweede hindcast periode van de stappenbaak lijken de hoogste periodes wel door SWAN onderschat te worden, maar minder duidelijk dan bij de boeidata. Hierdoor kan geen duidelijke conclusie getrokken worden of dit verschil bij de hoogste periodes te maken heeft met de meetapparaten, met SWAN of met beide. Bij de Markermeershindcast (Deltares, 2024) bleek op sommige

locaties een vergelijkbare afvlakking. Misschien zijn de drie-golfwisselwerkingen (triads) die op ondiep water golfenergie van lagere naar hogere frequenties herverdelen hier debet aan.

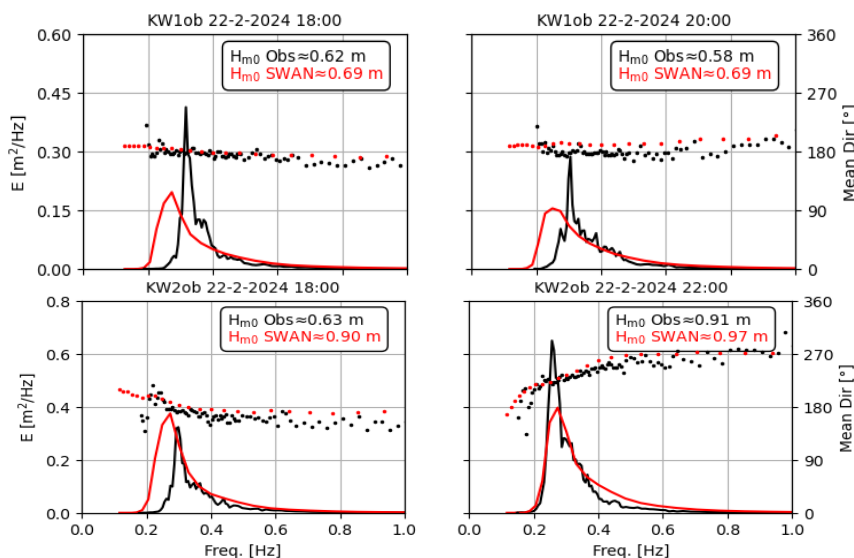
Bij locatie Kornwerd1 is de overeenkomst tussen SWAN en meting het minst goed. Dat is op zich niet vreemd, gegeven de beschutting ligging van de boei tussen de dammen van de sluis. De resolutie van 80 m is daar relatief grof en het SWAN-model is niet opgezet voor zulke gedetailleerde gebieden. In de metingen lijkt het effect van het getij zichtbaar te zijn in de oscillerende bewegingen van alle parameters, maar dat is niet of in mindere mate terug te zien zijn in de SWAN uitvoer. Waarschijnlijk komt dat doordat in het SWAN-IJsselmeer_IJVD model de stroming niet wordt beschouwd. Opvallend is dat de oscillering ook in de golfrichting terug te zien is. Voornamelijk de dalingen van de oscillering in golfhoogte worden niet gevolgd door SWAN, waardoor er een algemene overschatting is van de golfhoogte.

3.3 Spectra, vergelijking met metingen

Voor elke golfmeetlocatie is een zestal momenten geselecteerd om golfspectra van meting en SWAN te vergelijken, te zien in Figuur A.3.4.a-f. De geselecteerde momenten zijn met gestippelde blauwe lijnen ook aangegeven in de tijdreeksen. Voor de locatie Rotterdamse Hoek zijn de spectra van de stappenbaak en de Obscape boei in hetzelfde figuur opgenomen. Ook zijn de spectra met log-log schaal weergegeven, om de spectrale staart in de hoge frequenties uit te lichten.

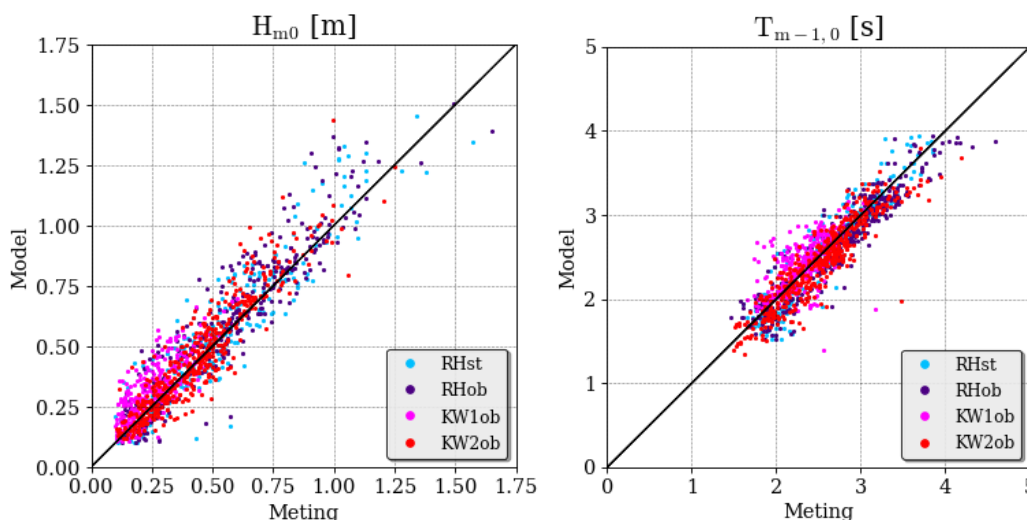
De overeenkomst tussen SWAN en meting is over het algemeen goed, zowel qua richting als qua energie. Vaak zijn de gemeten spectra op de meren gepiekerd dan wat SWAN berekent (Bottema en Van Vledder, 2009). Ook hier zijn ze iets gepiekerd maar de verschillen met SWAN zijn klein. De te brede flank aan de hoogfrequente zijde in SWAN zorgt vaak voor onderschatting van de golfperiode.

Voor alle locaties zijn ook momenten te zien waarbij het spectrum van SWAN naar de lage frequenties geschoven staat ten opzichte van de metingen. Bijvoorbeeld KW1obs, 22 februari 2024 om 18:00 en 20:00 (zie Figuur 3.3). Bij KW2 zien we om 18:00 hetzelfde gedrag maar om 22:00 is de overeenkomst met metingen juist weer heel goed. Let wel dat om 22:00 de golfrichting heel anders is dan om 18:00 en dat niet alleen het SWAN spectrum nu bij de hogere frequenties ligt, maar ook de meting juist bij de lagere frequenties, resulterend in een goede overeenkomst.



Figuur 3.3: spectra (meting en model) KW1 (boven) en KW2 (onder) op 22 feb 2024, 18:00 en 20:00 uur (boven) en 18:00 en 22:00 uur (onder). Stippen geven gemiddelde golfrichting weer (rechter as)

3.4 Statistiek, vergelijking met metingen



Figuur 3.4: Scatterplots H_{m0} en $T_{m-1,0}$ SWAN-IJsselmeer hindcasts over delen van december 2023 tot maart 2024. Alleen momenten worden getoond waar voor zowel de meting als het SWAN resultaat geldt: $H_{m0} > 0.1$ m.

In Figuur 3.4 ziet men in één oogopslag alle modelresultaten en metingen van de hindcasts. Heel lage golven ($H_{m0} < 0.1$ m) zijn weggelaten – ook uit de periode plot - omdat dergelijke golven niet goed te meten zijn. Een klein absoluut verschil tussen SWAN en de meting kan dan resulteren in een grote relatieve fout zonder dat die condities relevant zijn.

Bij deze vergelijking zijn de metingen omgezet naar uurswaarden door het gemiddelde te bepalen van de waarden op tijdstippen binnen 30 minuten voor en na het hele uur. Vervolgens zijn alleen de uurswaarden die samenvallen met de 2-uurswaarden van de SWAN resultaten meegenomen. Bovendien is gezorgd dat de SWAN resultaten over hetzelfde frequentiebereik zijn bepaald als de metingen (zie Tabel 2.2; afgezien van de verwijderde laag frequente Obscape pieken, zie Sectie 2.2).

Figuur 3.4 toont dat de golfhoogte gemiddeld iets wordt overschat, voor zowel lagere als hogere golfhoogtes. De puntenwolk van de spectrale periode ligt meer symmetrisch om de zwarte lijn ($y=x$) heen, maar bij zowel de hoogste als de laagste periodes liggen er meer uitschieters waarbij het model de periode onderschat. Figuur A.3.5 in Appendix A is een grotere weergave van alle punten bij elkaar, maar zonder de filtering op basis van golfhoogte > 0.1 m. Scatterplots per locatie zijn weergegeven in Figuur A.3.6a-c.

De statistische scores zijn weergegeven in Tabel 3.1 (H_{m0}) en Tabel 3.2 ($T_{m-1,0}$). Zoals eerder gemeld in paragraaf 3.2 is het model niet per se geschikt voor locaties als Kornwerd1 vanwege de afgeschermdde ligging en grote bodemgradiënten in combinatie met relatief grove resolutie. Daarom is de statistiek met en zonder Kornwerd1 gepresenteerd. De relatieve bias voor de golfhoogte over alle locaties is 9% en de absolute bias is 0.04 m (respectievelijk 6% en 0.03 m zonder locatie Kornwerd1). Voor de golfperiode is de bias -0.02 s en de relatieve bias -1%, en deze 'stijgen' juist naar -0.04 s en -2% zonder locatie Kornwerd1. De root-mean-square error bedraagt 0.10 m en 0.21 s. De scatter index – dat is de RMSE gedeeld door het gemiddelde van de meting en kan dus gezien worden als de relatieve RMSE – is 23% voor de golfhoogte (21% zonder Kornwerd1) en 8% voor de golfperiode.

Ook de metingen van de stappenbaak en de Obscape golfboei zijn onderling vergeleken. Zie Tabel 3.3 om een idee van betrouwbaarheid van metingen te krijgen. Zelfs metingen onderling geven al een SCI van 8% en 4% voor golfhoogte en periode respectievelijk, zie Tabel 3.3. Een deel van de spreiding tussen SWAN en meting is dan ook toe te schrijven aan de onzekerheid in de meting. Daarnaast dragen onzekerheden in de invoer (bodempligging, waterstanden en vooral windvelden) bij aan de afwijkingen tussen model en meting, en natuurlijk de fysica en numerieke aspecten van het SWAN-model en de -schematisatie. Ook het feit dat SWAN slechts elke twee uur een resultaat geeft speelt een rol.

Tabel 3.1: Statistische parameters H_{m0} op basis van SWAN hindcasts IJsselmeer over delen van 2023 en 2024

locatie	SCI [-]	Relatieve Bias [-]	RMSE [m]	Bias [m]	Gem. Obs [m]	Gem. SWAN [m]	Aantal waarden
RHst	0.22	0.06	0.11	0.03	0.50	0.53	742
RHob	0.20	0.07	0.11	0.04	0.54	0.58	504
KW1ob	0.39	0.26	0.10	0.07	0.26	0.33	277
KW2ob	0.20	0.05	0.09	0.02	0.43	0.45	442
Totaal	0.23	0.09	0.10	0.04	0.46	0.50	1965
Tot zonder KW1ob	0.21	0.06	0.10	0.03	0.49	0.52	1688

Tabel 3.2: Statistische parameters $T_{m-1,0}$ op basis van SWAN hindcasts IJsselmeer over delen van 2023 en 2024

locatie	SCI [-]	Relatieve Bias [-]	RMSE [s]	Bias [s]	Gem. Obs [s]	Gem. SWAN [s]	Aantal waarden
RHst	0.08	0.00	0.19	0.00	2.53	2.53	764
RHob	0.08	-0.03	0.21	-0.07	2.72	2.65	504
KW1ob	0.12	0.05	0.28	0.12	2.32	2.44	277
KW2ob	0.08	-0.03	0.20	-0.07	2.51	2.45	442
Totaal	0.08	-0.01	0.21	-0.02	2.55	2.53	1987
Tot zonder KW1ob	0.08	-0.02	0.20	-0.04	2.58	2.54	1710

Tabel 3.3: Statistische parameters voor H_{m0} en $T_{m-1,0}$ op basis van stappenbaak en golfboei metingen onderling, over delen van 2023 en 2024

Parameter	SCI	Relatieve Bias	RMSE	Bias	Gem. RHst	Gem. RHob	Aantal waarden
H_{m0}	0.08	-0.01	0.04 m	-0.01 m	0.50 m	0.50 m	1694
$T_{m-1,0}$	0.04	0.02	0.09 s	0.06 s	2.57 s	2.63 s	1694

4 Conclusies en aanbevelingen

De hindcast geeft vertrouwen in het swan-ijsselmeer-ijvd model. De golfhoogtes wijken gemiddeld 6% af, de periodes -2%. De scatter bedraagt 21% voor golfhoogte en 8% op golfperiode. Deze getallen zijn gebaseerd op orde 1700 combinaties van meting en modelresultaat op drie locaties gedurende enkele maanden in 2023 en 2024. De scores zijn vergelijkbaar met de modelprestaties van het SWAN-Markermeer model (Deltares, 2024).

Gemiddeld overschat SWAN de hoogte van hogere golven terwijl de langere periodes juist onderschat worden. Bij de golfperiode is er in de scatterplots een afbuiging van de 1:1 lijn zichtbaar bij hogere waarden en lagere waarden, waarbij het model een onderschatting geeft. Het is onduidelijk of de onderschatting van de hoogste golfperiodes door SWAN of door de metingen komt omdat de momenten waarop de boei lange periodes meet, niet in de reeks van de stappenbaak zitten.

De overeenkomst tussen gemeten en berekende spectra is over het algemeen goed. Zoals gebruikelijk op de meren zien we hier ook dat de gemeten spectra sterker gepiekt zijn dan wat SWAN berekent. De te brede flank aan de hoogfrequente zijde in SWAN zorgt voor onderschatting van de golfperiode, voornamelijk dus bij de hogere periodes.

De hoeveelheid geschikte metingen is beperkt. Er is nog slechts één stappenbaak actief op het IJsselmeer en er lagen tijdelijk enkele meetboeien bij Kornwerderzand en Rotterdamse Hoek.

Deze hindcast is ook meteen een goede test voor de nieuwe SWAN versie 41.45.AB. De versie bleek goed bruikbaar voor het IJsselmeer-IJVD.

Bij de Maxima elektriciteitscentrale nabij Lelystad zijn en worden golfmetingen uitgevoerd door Waterproof op meerdere locaties. Vanwege hun ligging nabij de dijk zijn ze relevant voor een SWAN-hindcast. De metingen waren dit jaar nog niet beschikbaar maar het verdient aanbeveling om ook deze metingen te beschouwen in een hindcast zodra ze beschikbaar zijn via de CIV.

Bij Rotterdamse Hoek is in de winter 2023/2024 een test gedaan met een stappenbaak, een Obscape boei, en een spotter boei. Voor zover ons bekend is de vergelijkende analyse nog niet uitgevoerd. Het is nuttig om de onderlinge verschillen van de meetinstrumenten te zien om zo de verschillen tussen SWAN en meting beter te kunnen duiden.

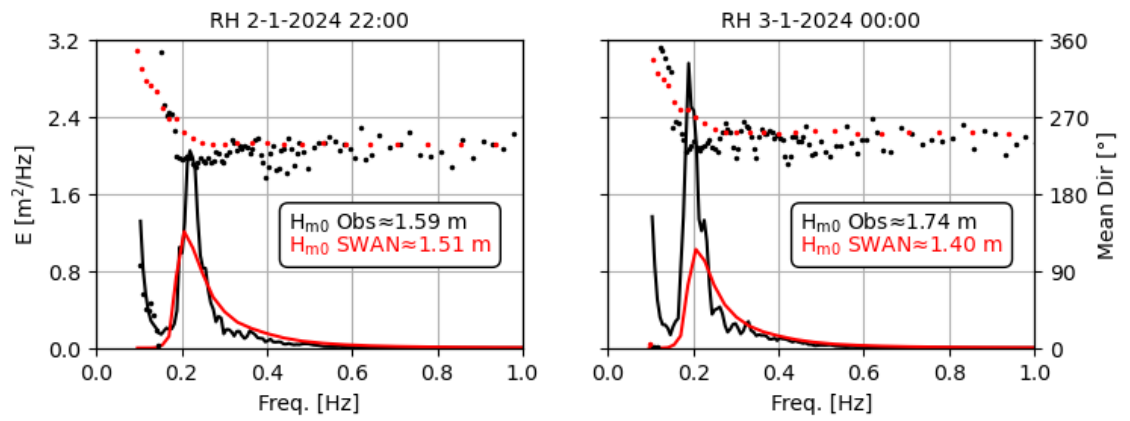
Omdat de gevonden golfmetingen uitsluitend op het IJsselmeer zijn uitgevoerd, is geen conclusie te trekken over de kwaliteit van het SWAN-model voor de IJssel-Vechtdelta. Omdat de focus van deze studie lag op het IJsselmeer, is de IJssel-Vechtdelta niet uitgebreid geanalyseerd. De ruimtelijke velden van de IJssel-Vechtdelta (exclusief Reevediep) zien er kwalitatief plausibel uit. Voor een kwantitatief oordeel wordt het aanbevolen op basis van metingen nogmaals aandacht te besteden aan de kwaliteit van het SWAN-model voor de IJssel-Vechtdelta.

Hoewel de golfhoogte bij de Rotterdamse Hoek over het algemeen goed wordt berekend door het SWAN-model is het onduidelijk waarom op 15 december 2023 een bescheiden piekje van 0.4 m volledig wordt gemist door het model. Het verdient aanbeveling om de oorzaak van de tijdelijke onderschatting te vinden zodat het in de toekomst voorkomen kan worden.

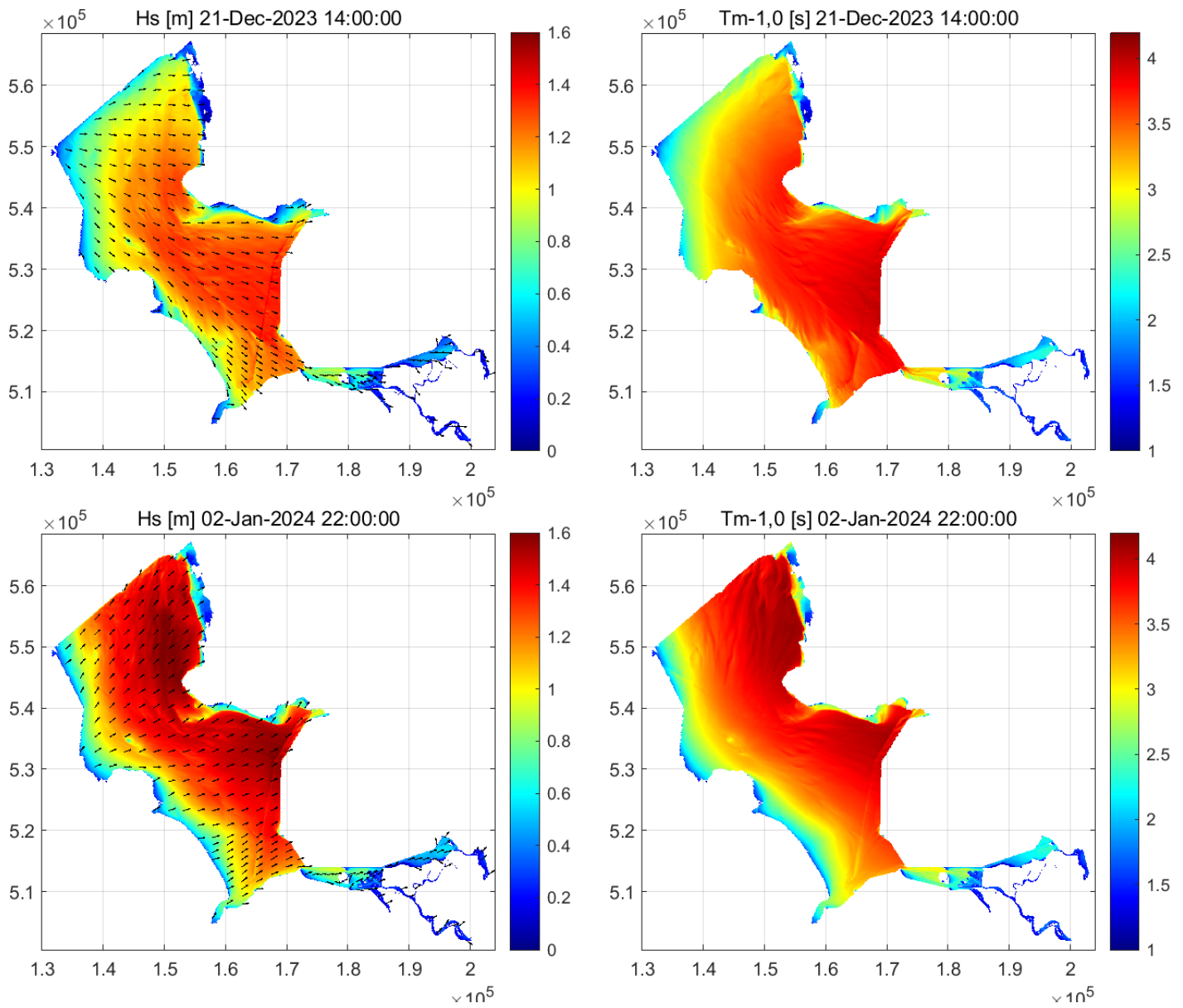
5 Literatuur

- Bottema en Van Vledder, 2009 A ten-year data set for fetch- and depth-limited wave growth. Coastal Engineering 56 (2009) 703-725
- Deltares, 2015 Modelonzekerheid belastingen Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017 dd 18 juni 2015. Ref 1209433-008-HYE-0007
- Deltares, 2022 SWAN model IJsselmeer en IJssel-Vecht delta t.b.v. RWsOS dd 9 september 2022. Ref 11208053-008-ZWS-0002
- Deltares, 2024 Hindcast SWAN-Markermeer feb/mrt 2020 en jan/feb 2024 dd 14 aug 2024 (concept). Ref 11210333-009-ZWS-0003
- Deltares, 2024b Verschilanalyse van RWsOS-modellen naar AlmaLinux 8 dd 8 april 2024. Ref 11210332-008-DSC-0002
- HKV & Tauw, 2021. Houtribdijk monitoring and research program. Datareport dd August 2021. Ref PR3916.10
- WMCN-Meren, 2024a Stormflits IJsselmeergebied 2024-01 Periode 20 december 2023 tot 12 januari 2024.
- WMCN-Meren, 2024b Hoogwaterrapport IJsselmeergebied 2024-01; Rapport over verhoogde waterstanden tijdens en in de periode rondom stormen Pia en Henk van 20 december 2023 t/m 12 januari 2024 dd 19 april 2024.

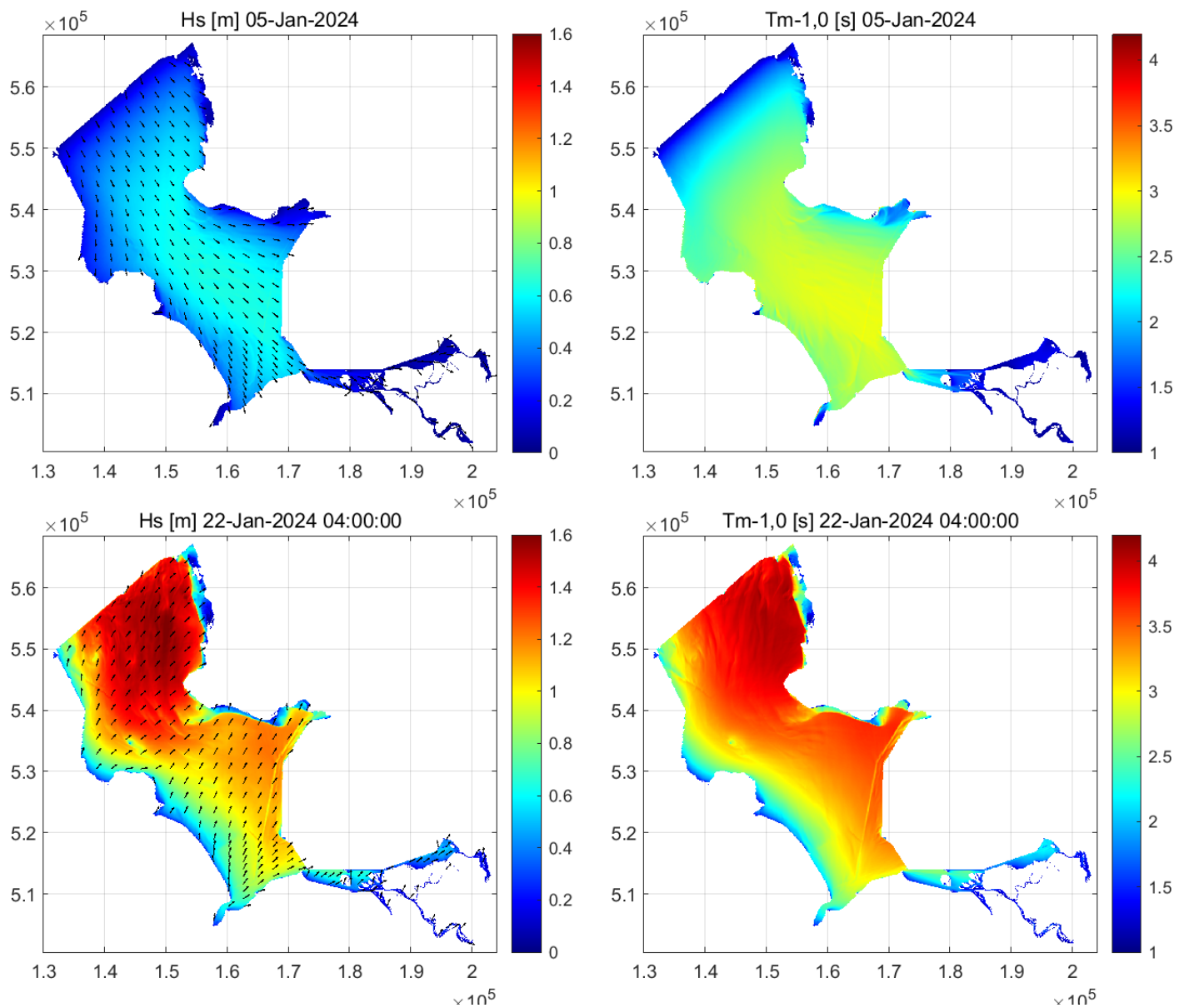
A Figuren



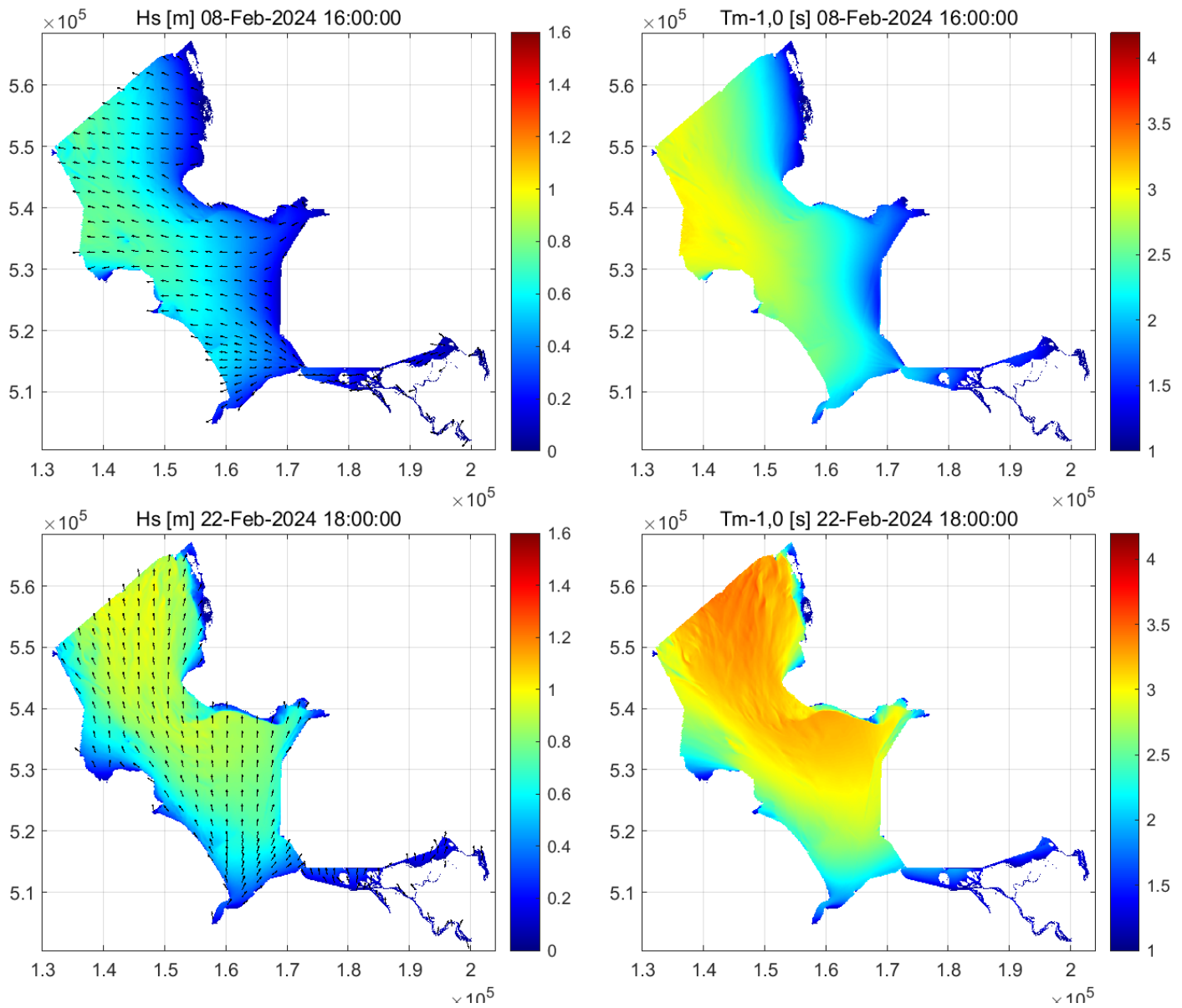
Figuur A.2.1: Voorbeeld van onrealistische laagfrequente energie bij Obscaped boeimetingen die verwijderd is voor frequenties lager dan 0.2 Hz EN lager dan de frequentie waar de energie minimaal is.



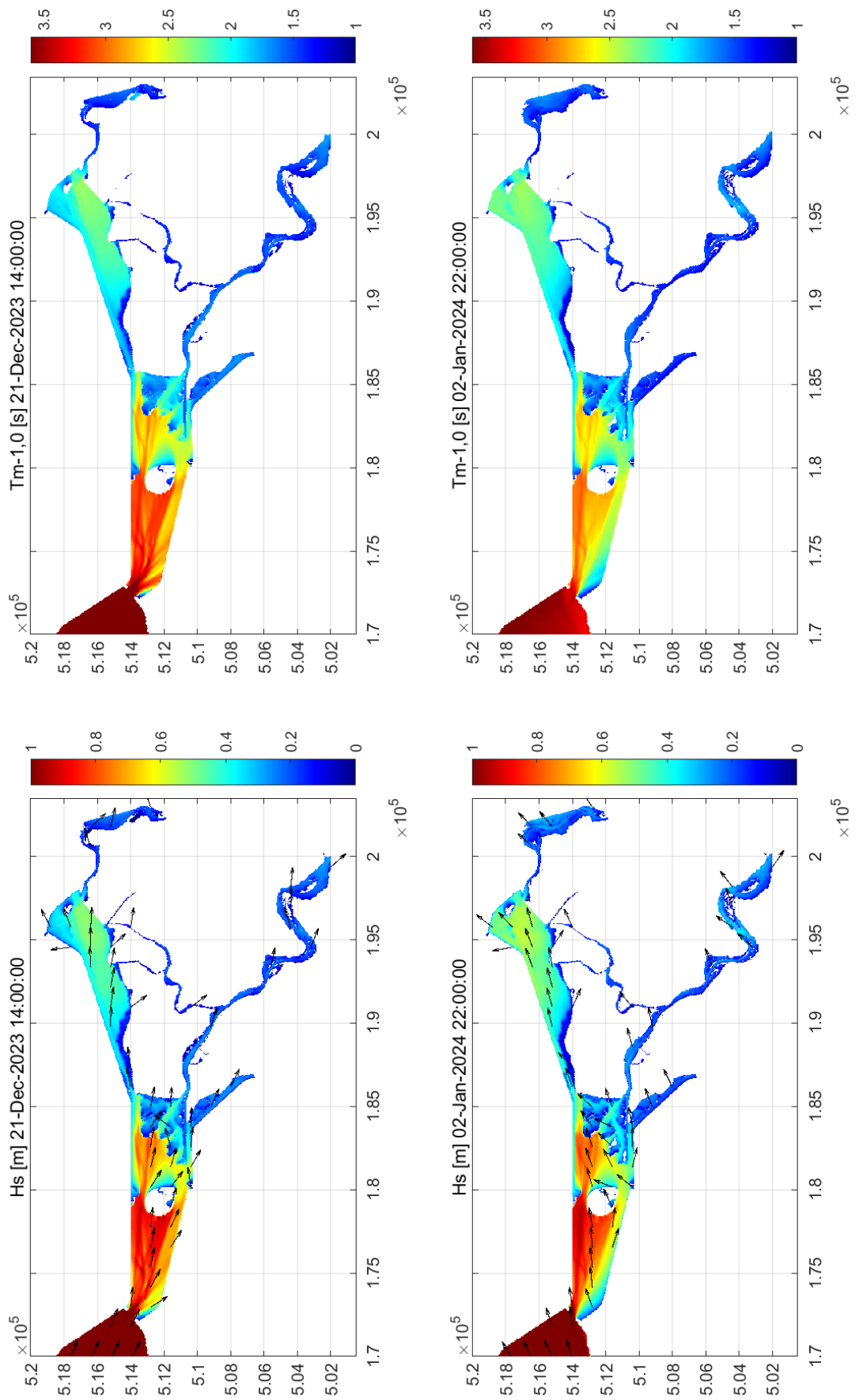
Figuur A.3.1.a: Resultaten swan_ym-yvd op diverse tijdstippen; links significante golfhoogte H_s en golfrichting, rechts spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$



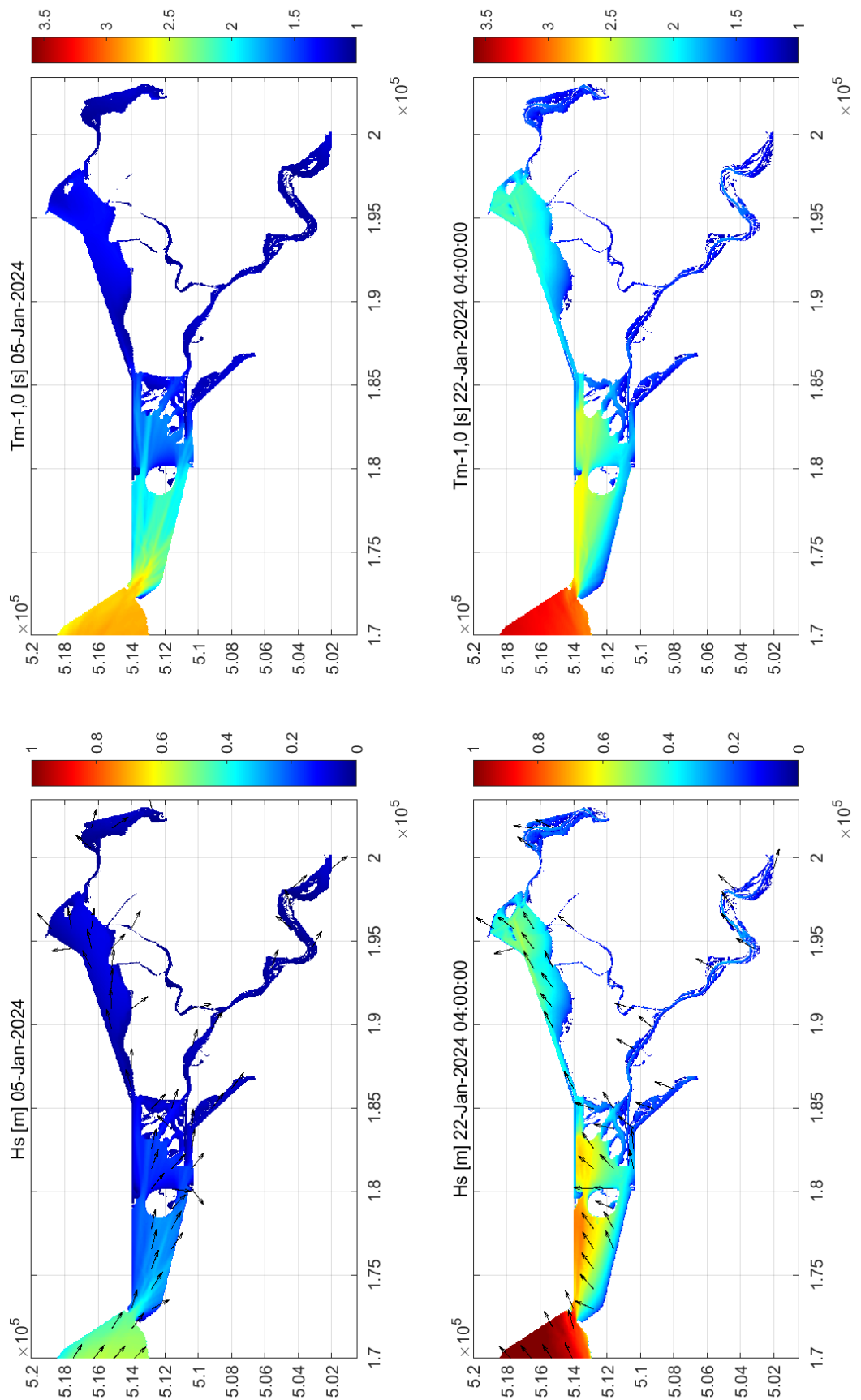
Figuur A.3.1.b: Resultaten swan_ym-yvd op diverse tijdstippen; links significante golfhoogte Hs en golfrichting, rechts spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$



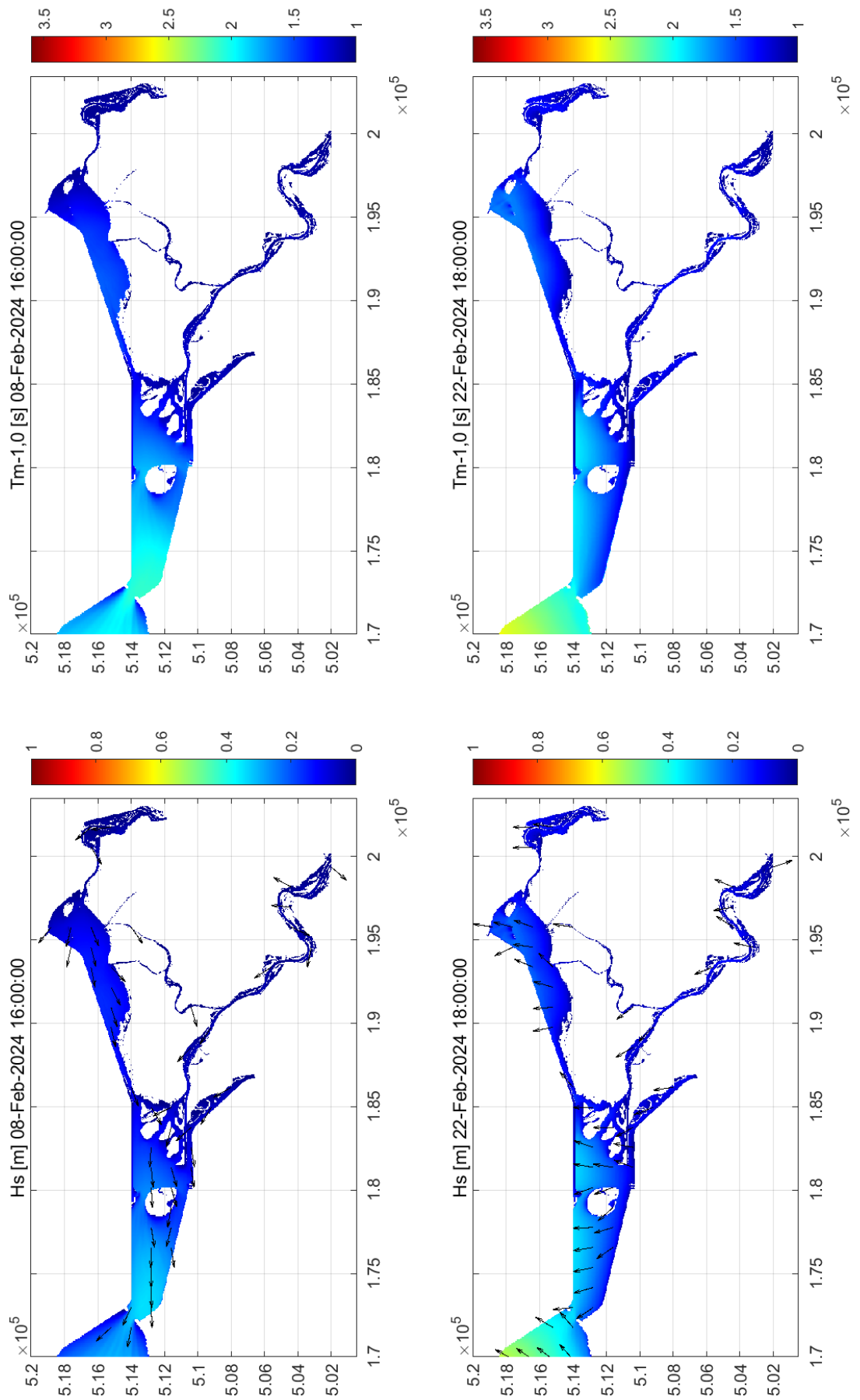
Figuur A.3.1.c: Resultaten swan_ym-yvd op diverse tijdstippen; links significante golfhoogte H_s en golfrichting, rechts spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$



Figuur A.3.2.a: Resultaten swan_ym-yvd, ingezoomd op IJssel-Vechtdelta, op diverse tijdstippen; links golfhoogte H_s en golfrichting, rechts golfperiode $T_{m-1,0}$

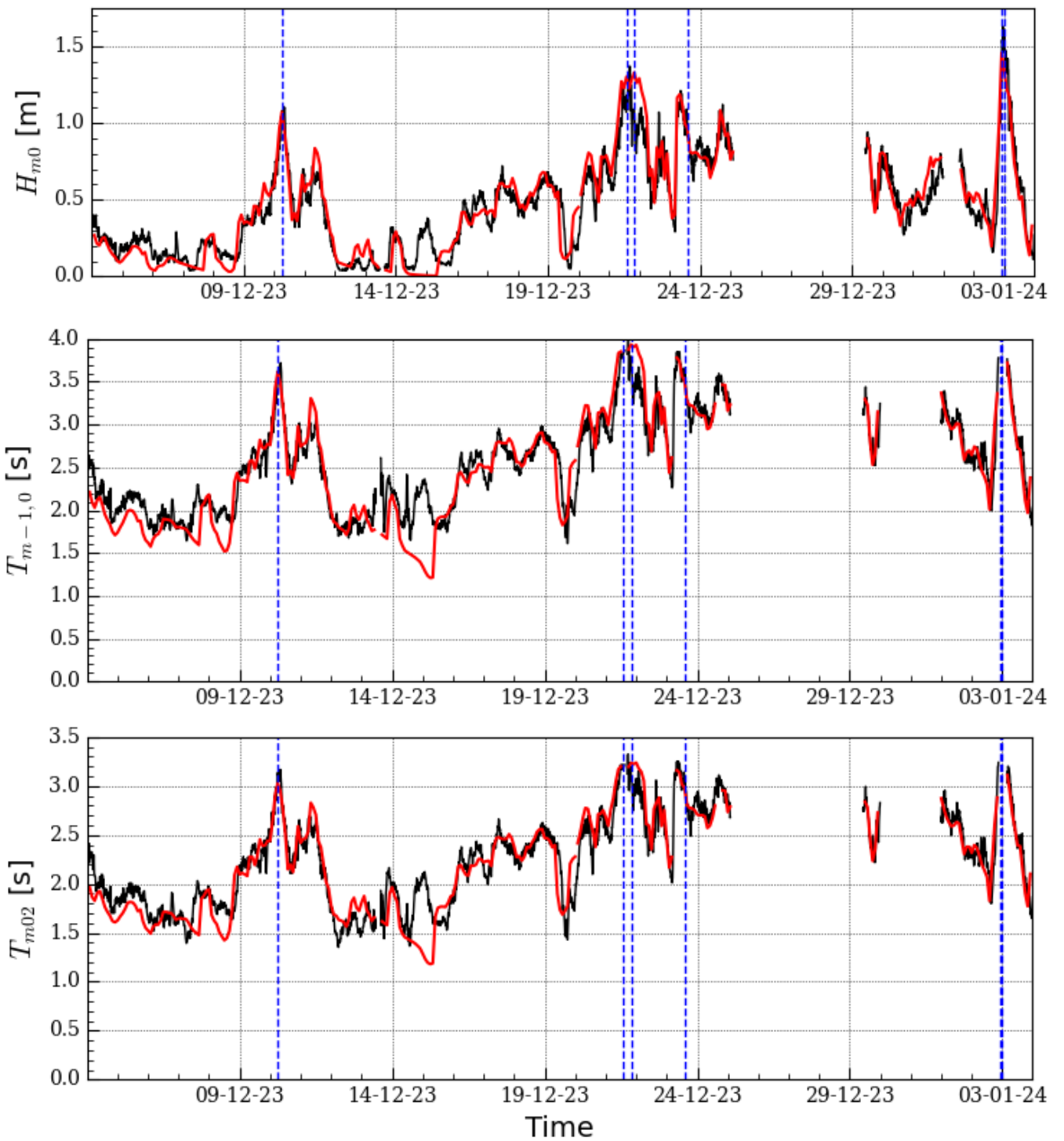


Figuur A.3.2.b: Resultaten swan_ym-yvd, ingezoomd op IJssel-Vechtdelta, op diverse tijdstippen; links golffhoogte Hs en golfrichting, rechts golfperiode $T_{m-1,0}$

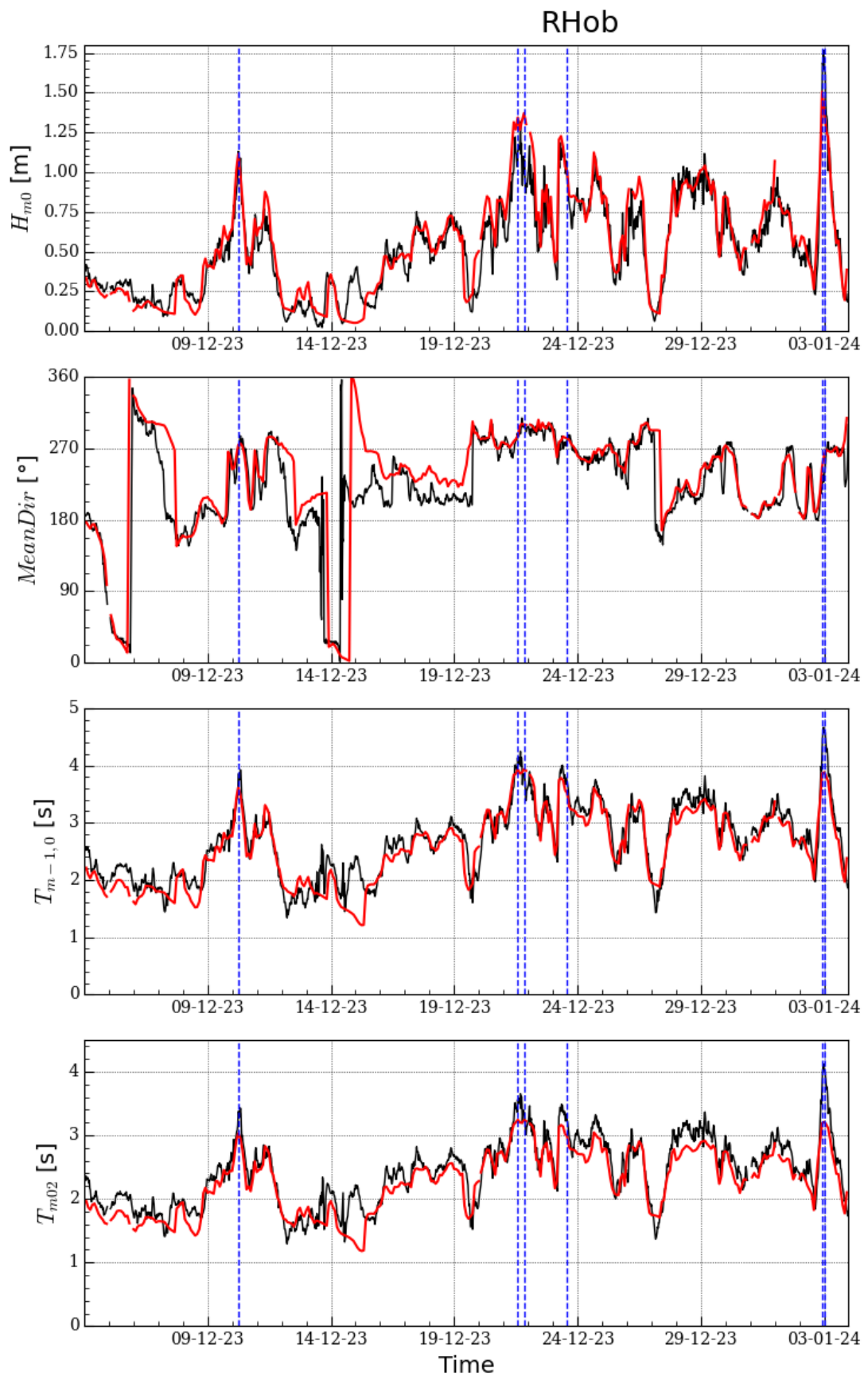


Figuur A.3.2.c: Resultaten swan_ym-yvd, ingezoomd op IJssel-Vechtdelta, op diverse tijdstippen; links golfhoogte Hs en golfrichting, rechts golfperiode $T_{m-1,0}$

RHst

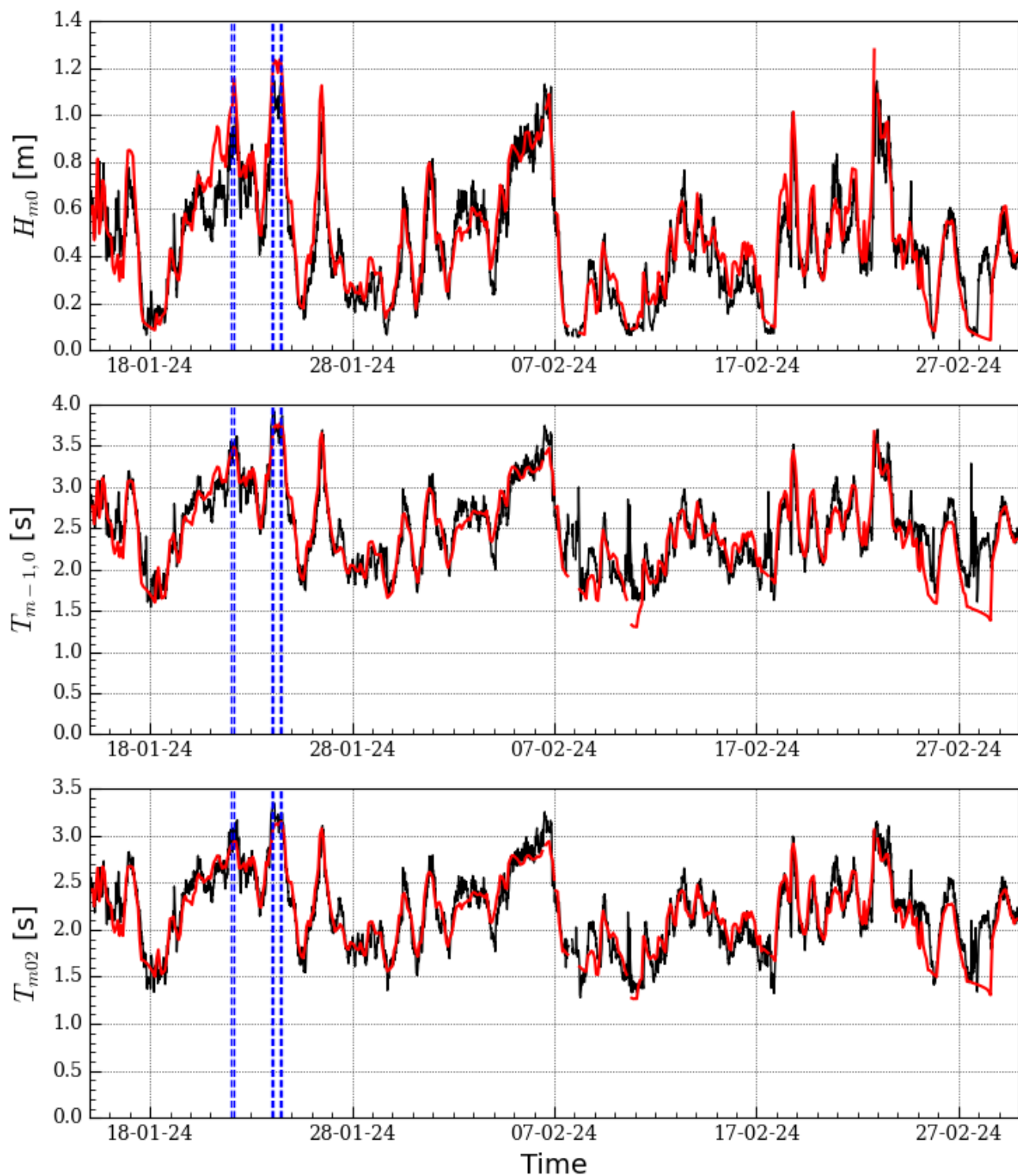


Figuur A.3.3.a: Tijdreeksen periode 1, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'st' staat voor stappenbaak. (H_{m0} van water info, overige gemeten parameters bepaald uit spectra, ontvangen van CIV)

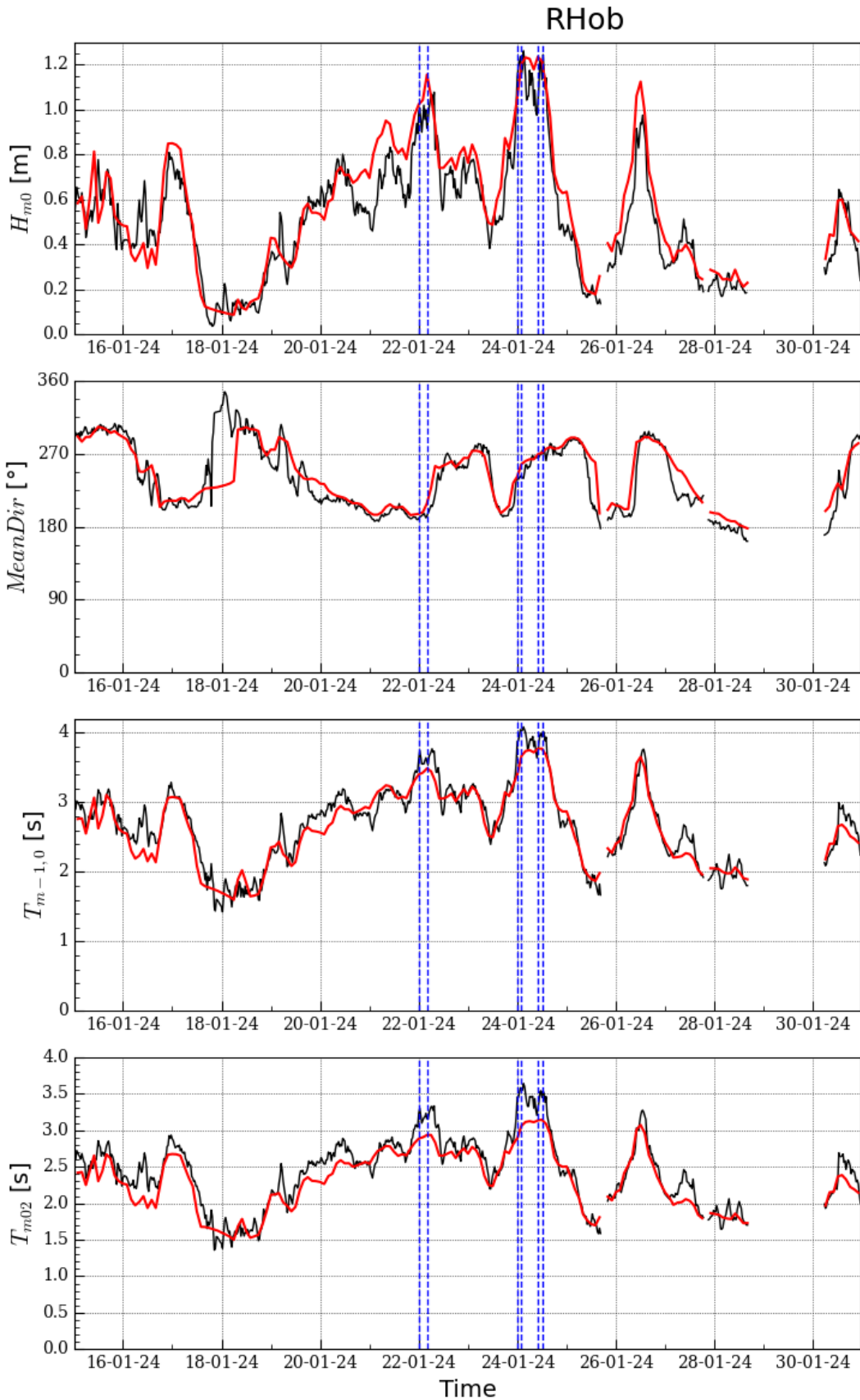


Figuur A.3.3.b: Tijdreeksen periode 1, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor obscapeboei. Metingen gebaseerd op spectra ontvangen van CIV

RHst

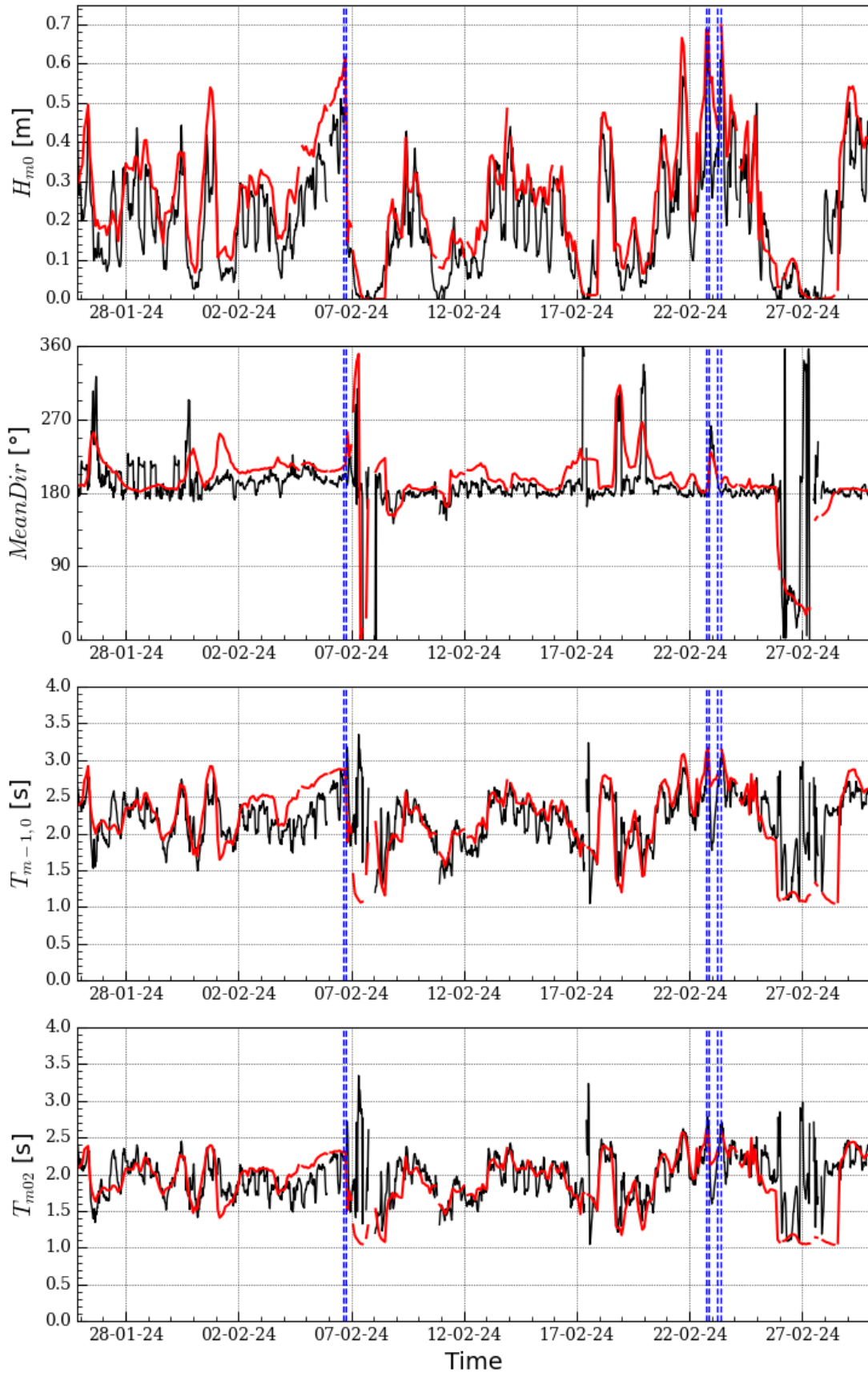


Figuur A.3.3.c: Tijdreeksen periode 2, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'st' staat voor stappenbaak. Metingen gebaseerd op spectra ontvangen van CIV



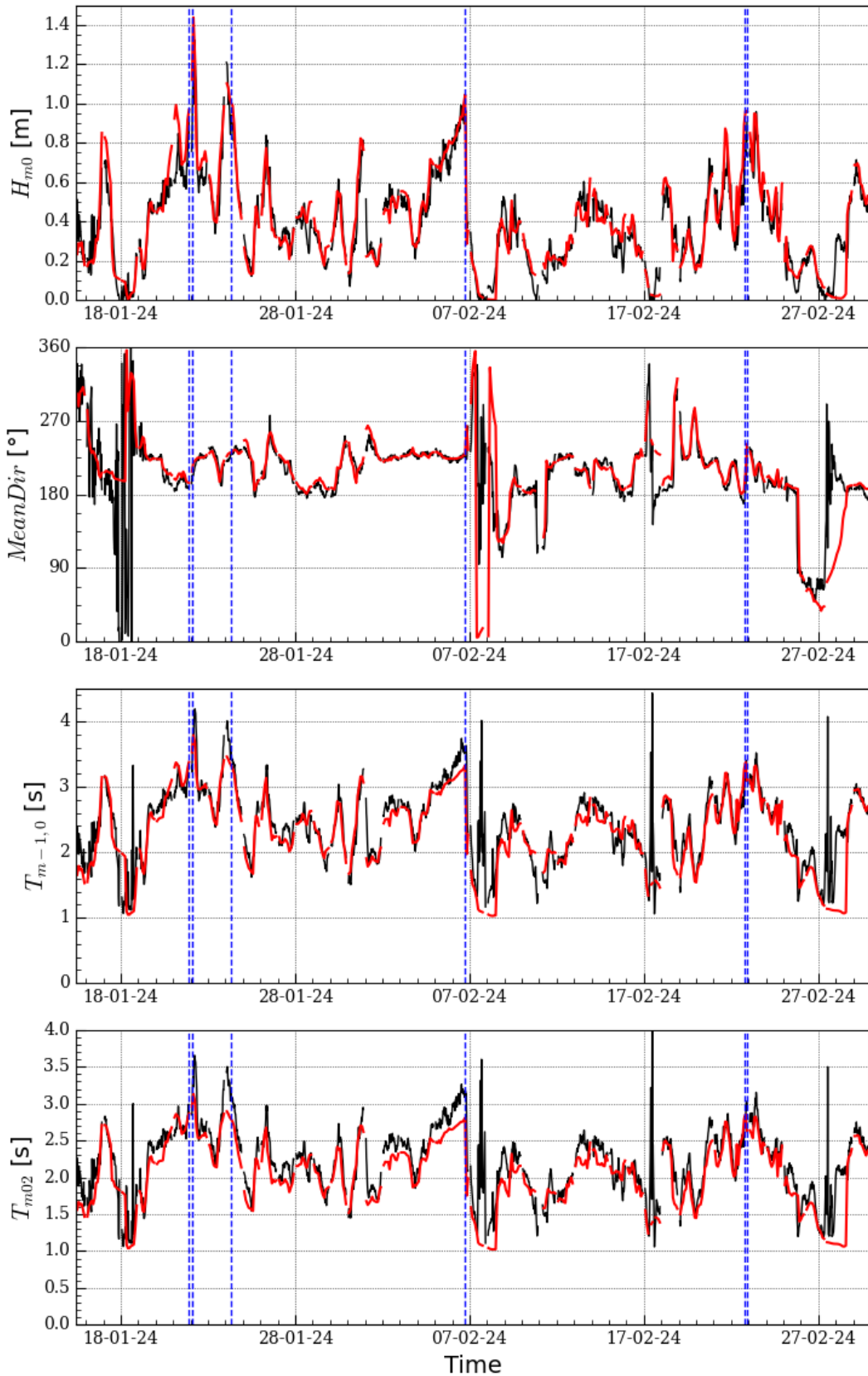
Figuur A.3.3.d: Tijdreeksen periode 2, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor Obscaped meetboei.

KW1ob

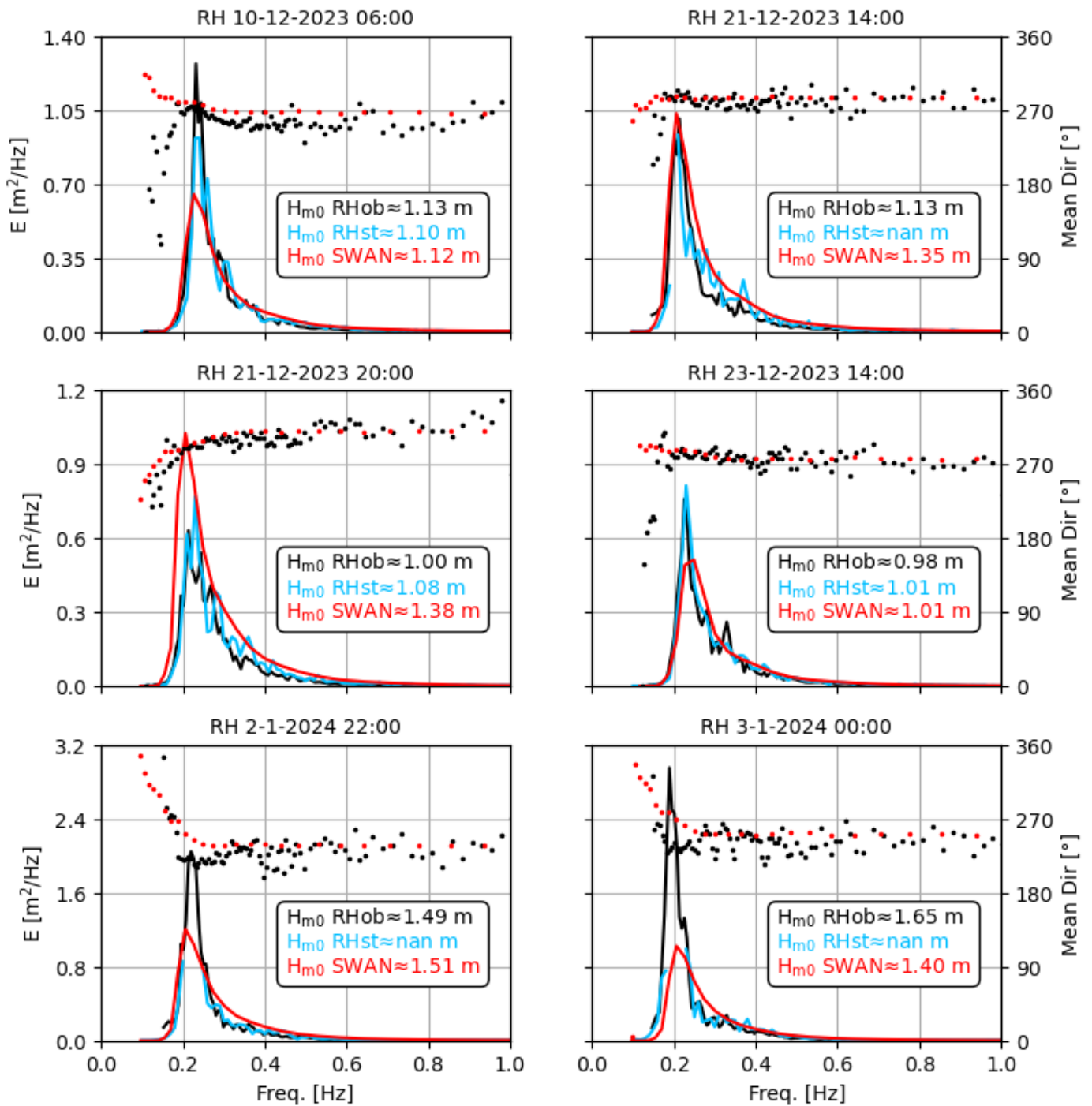


Figuur A.3.3.e: Tijdreeksen periode 2, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Kornwerderzand 1 (spuikanaal). 'ob' staat voor Obscape meetboei.

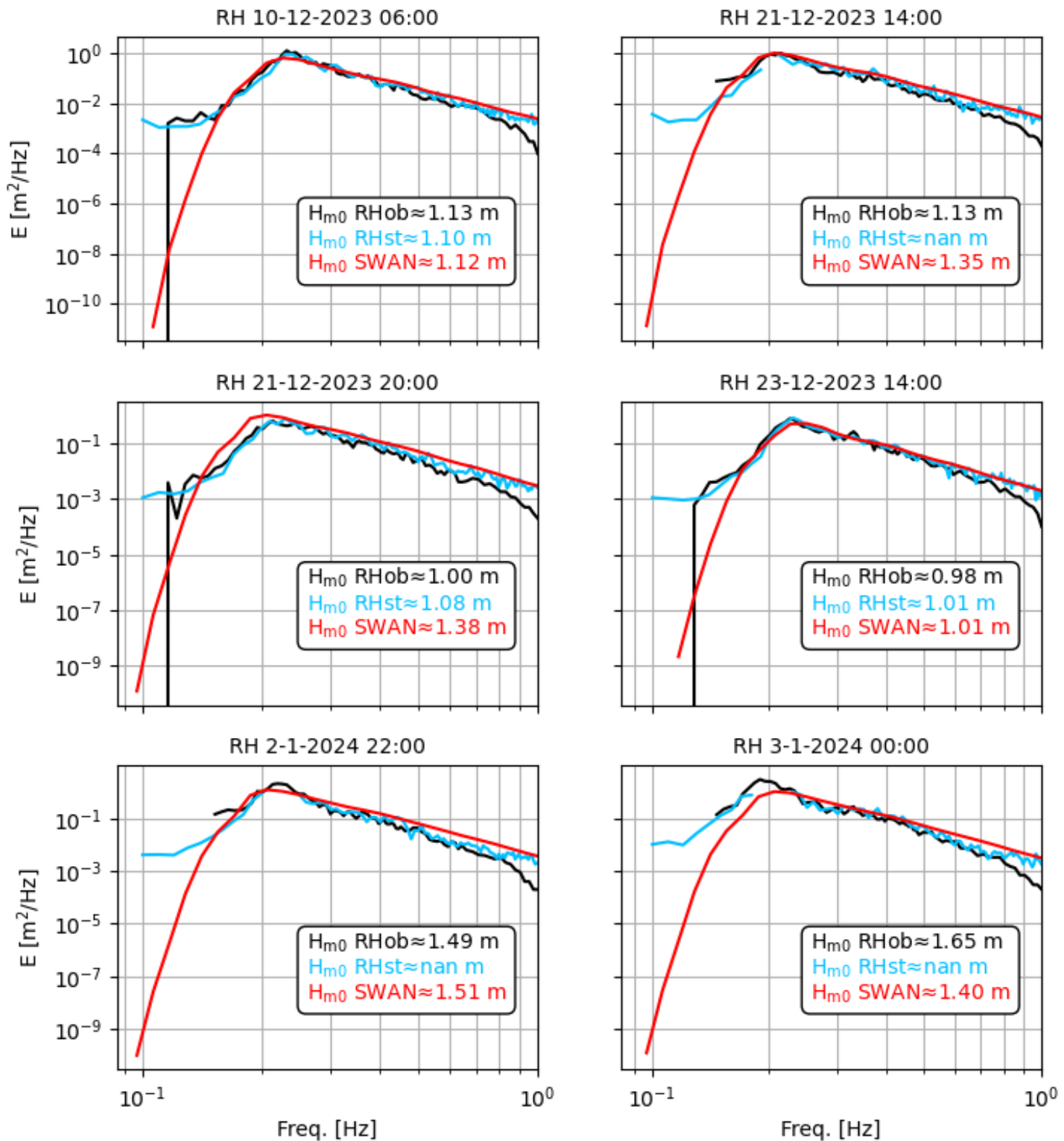
KW2ob



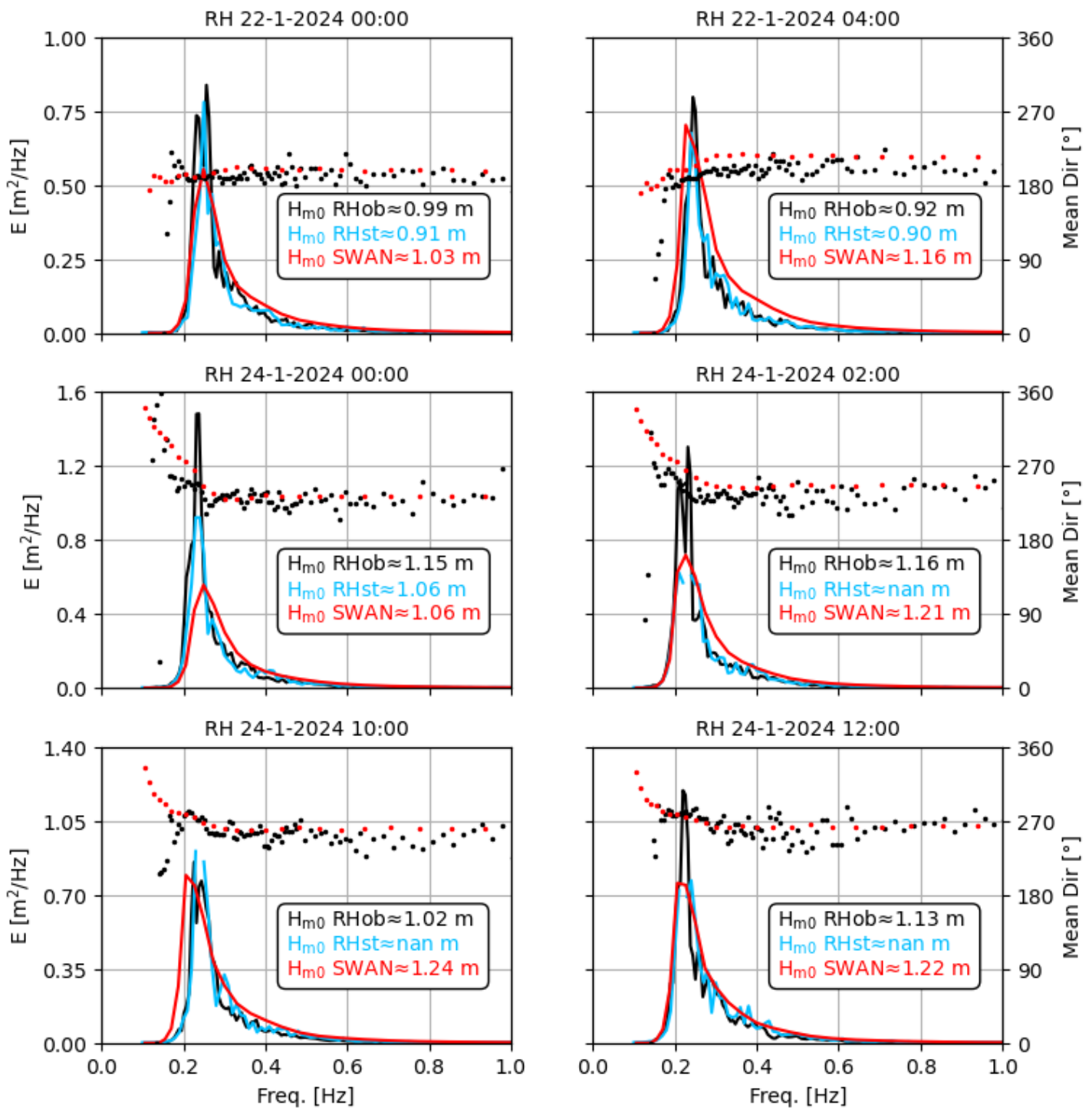
Figuur A.3.3.f: Tijdreeksen periode 2, gemeten (zwart) en door SWAN berekend (rood) te Kornwerderzand 2 ('buitengaats'). 'ob' staat voor Obscape meetboei.



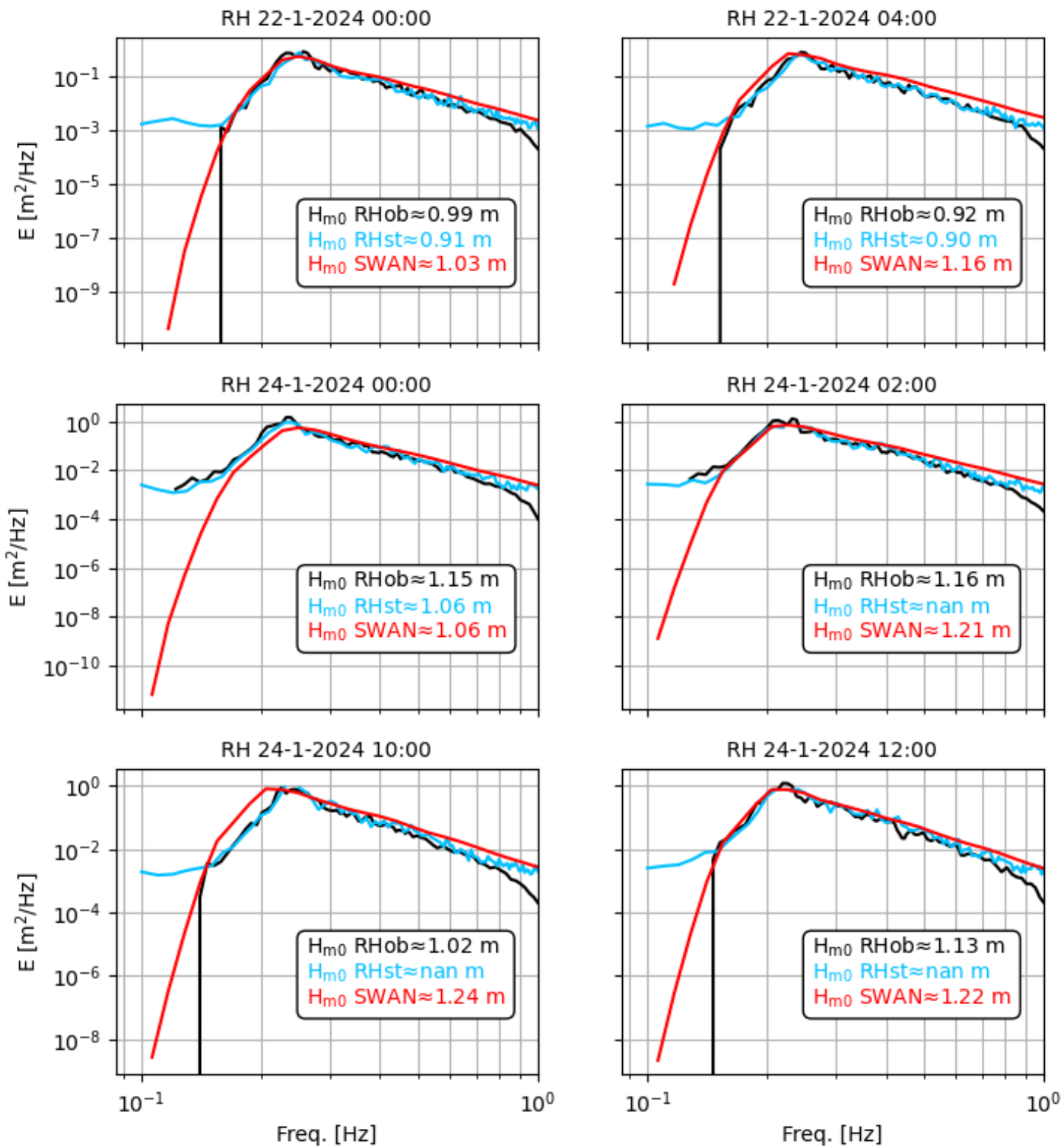
Figuur A.3.4.a: Spectra, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor Obscapede boei, 'st' voor stappenbaak. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



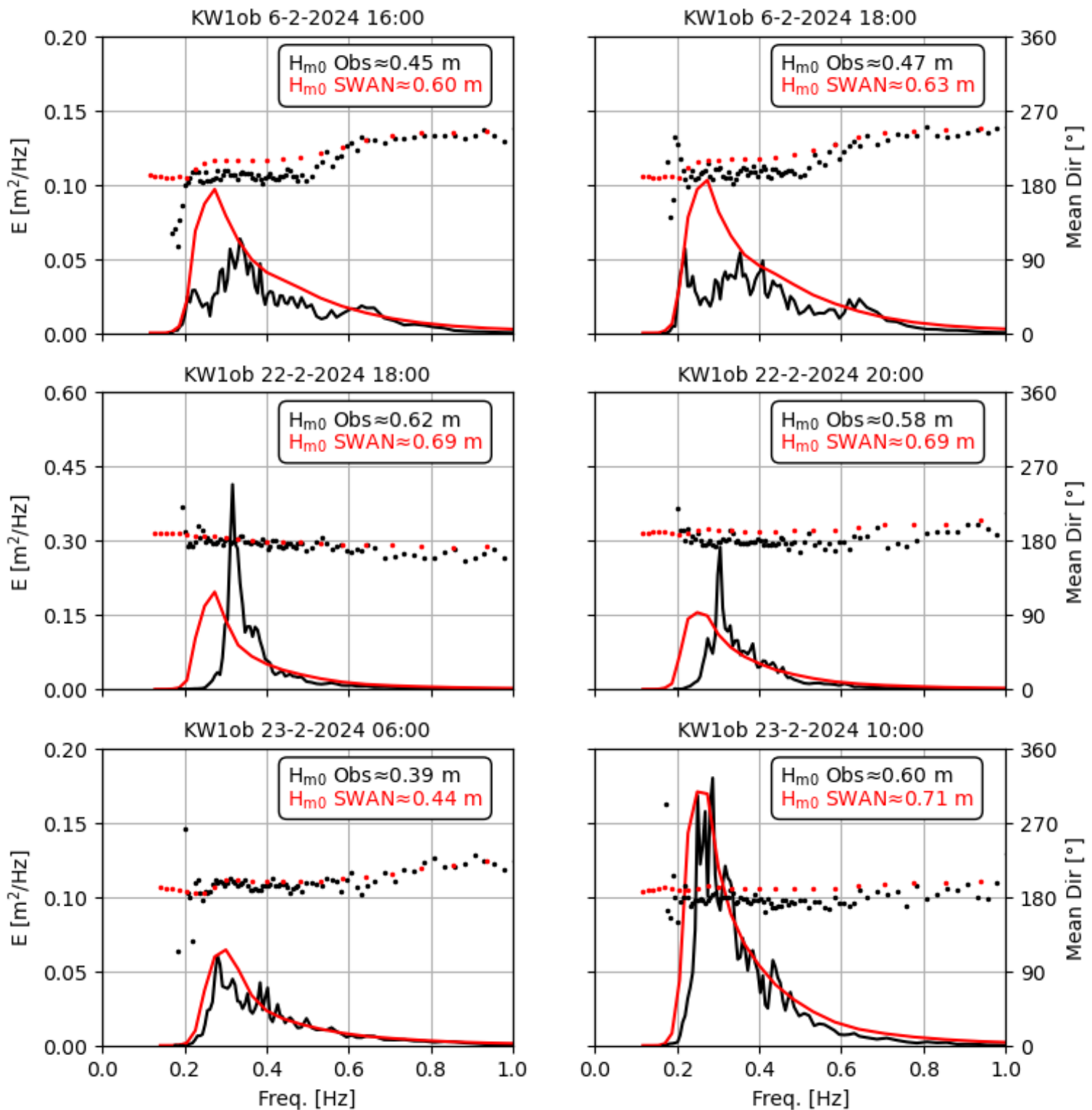
Figuur A.3.4.b: Spectra op log-log-schaal, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor Obscape boei, 'st' voor stappenbaak. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



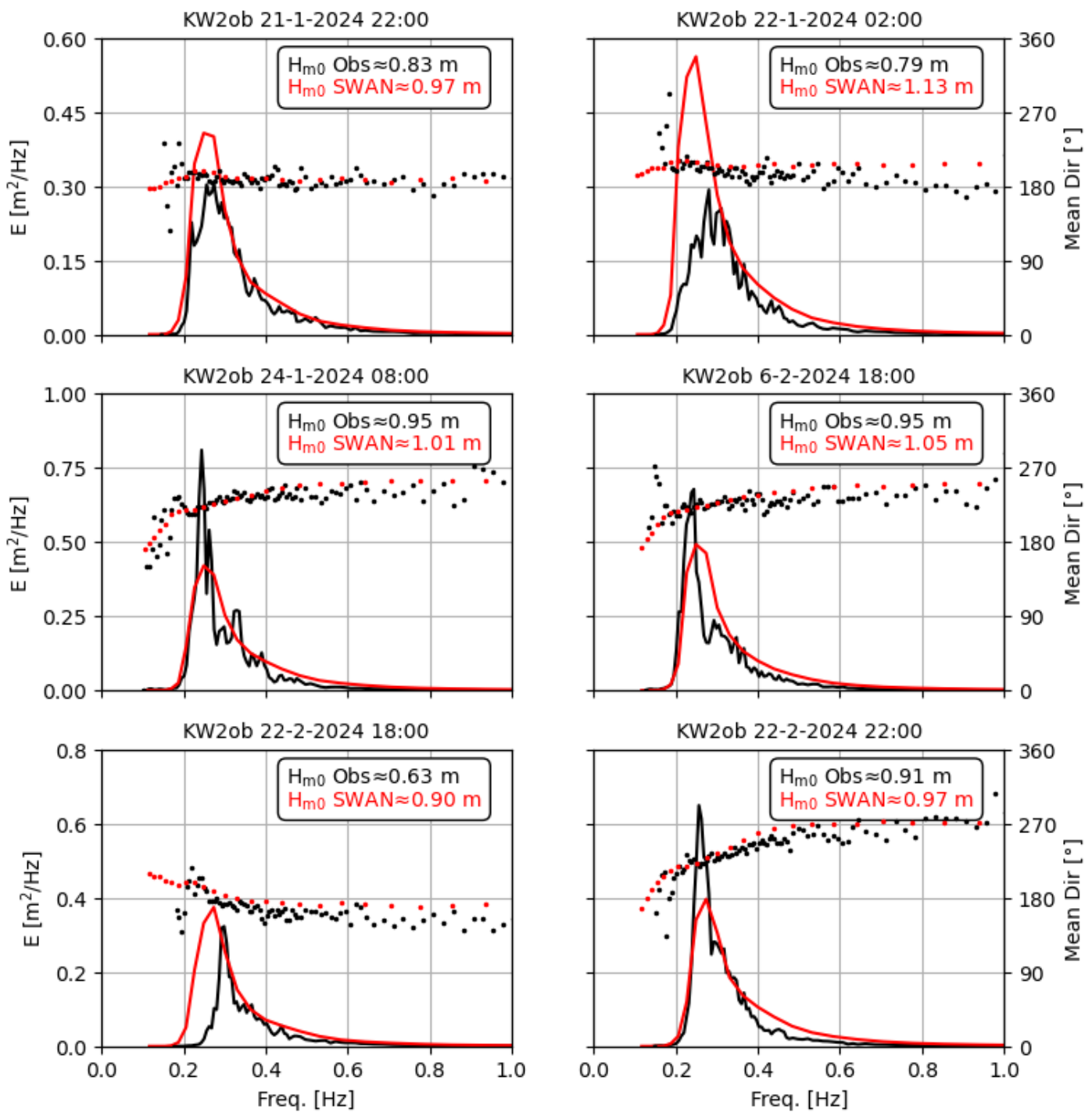
Figuur A.3.4.c: Spectra, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor Obscaped boei, 'st' voor stappenbaak. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



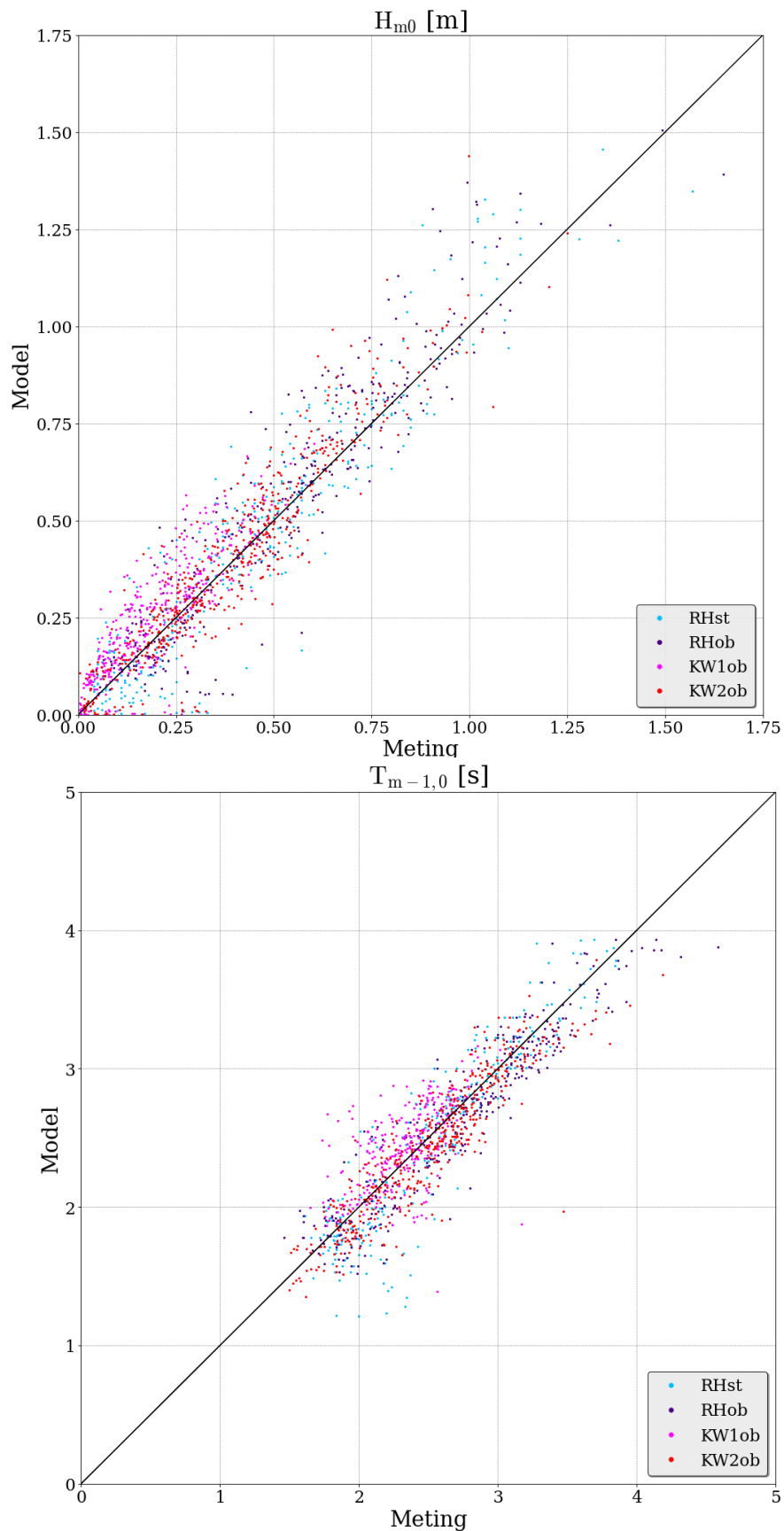
Figuur A.3.4.d: Spectra op log-log-schaal, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Rotterdamse Hoek. 'ob' staat voor Obscape boei, 'st' voor stappenbaak. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



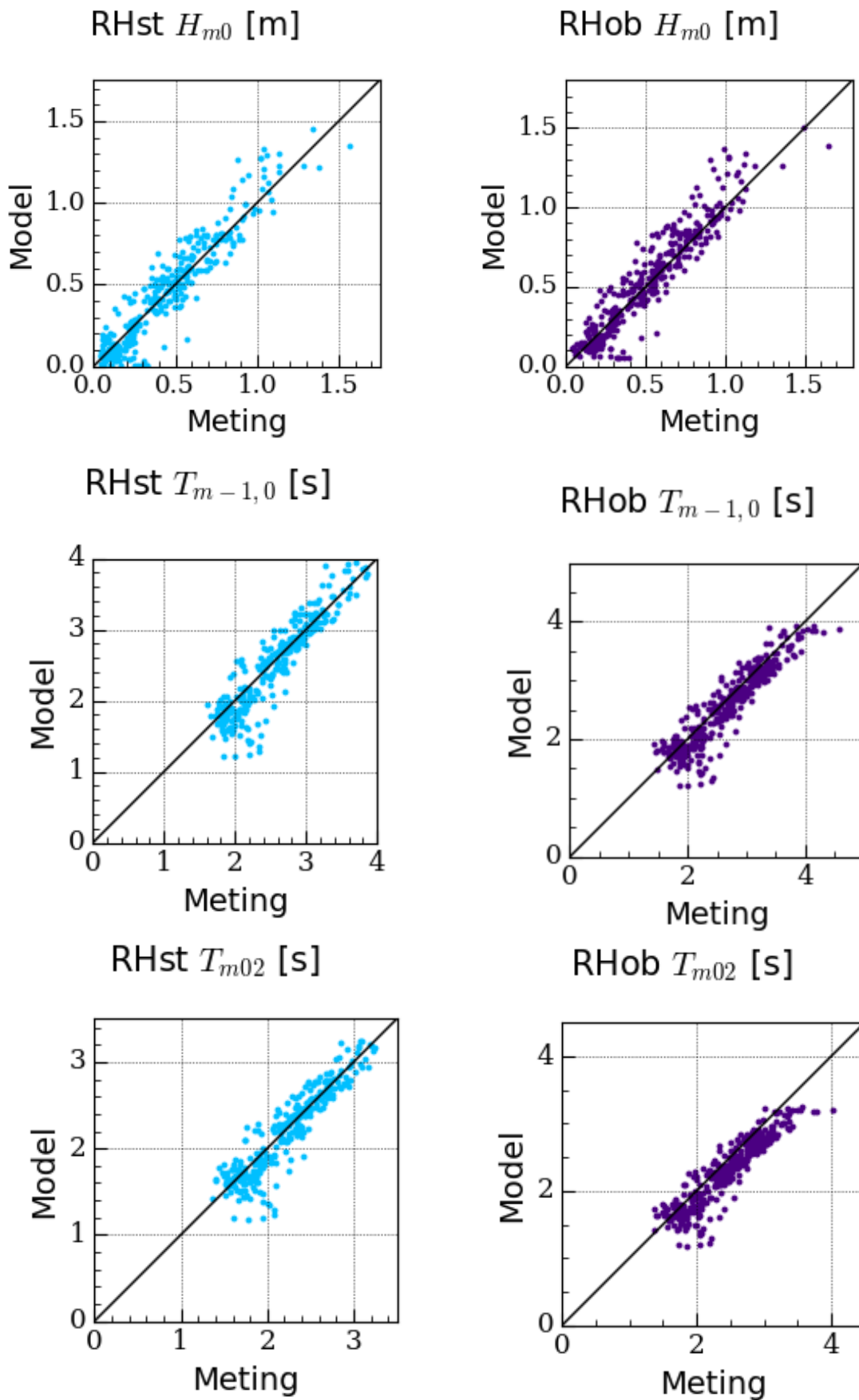
Figuur A.3.4.e: Spectra, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Kornwerderzand 1. 'ob' staat voor Obscaped boei. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



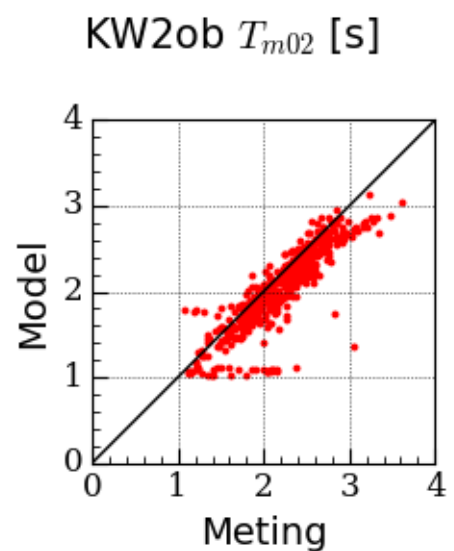
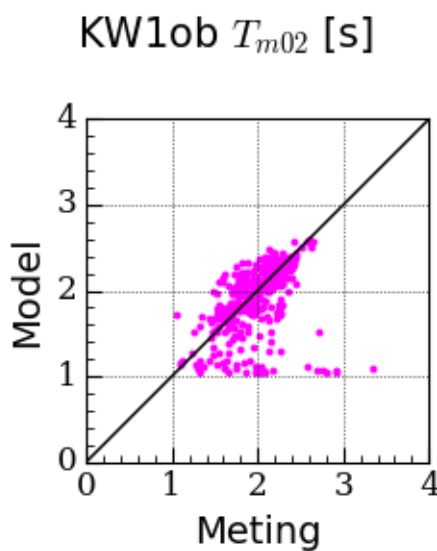
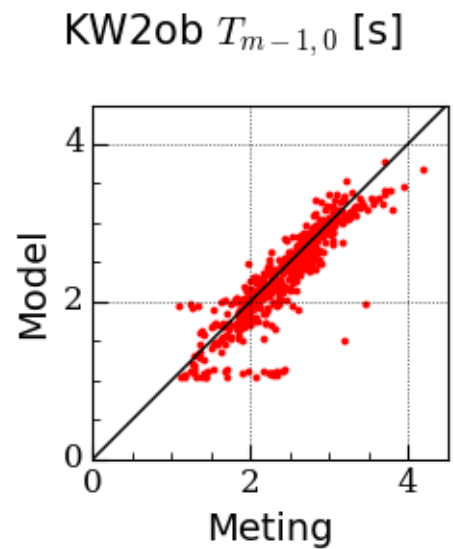
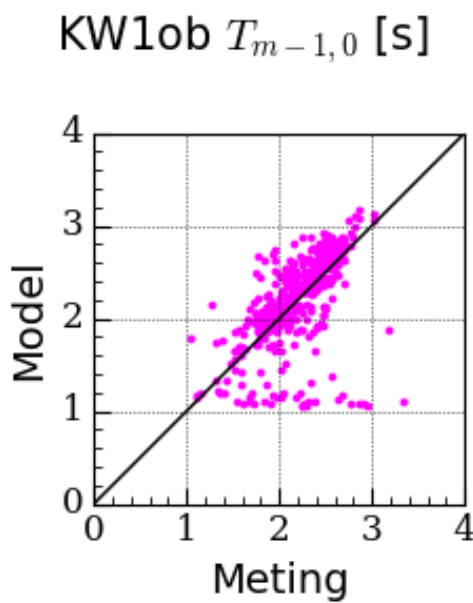
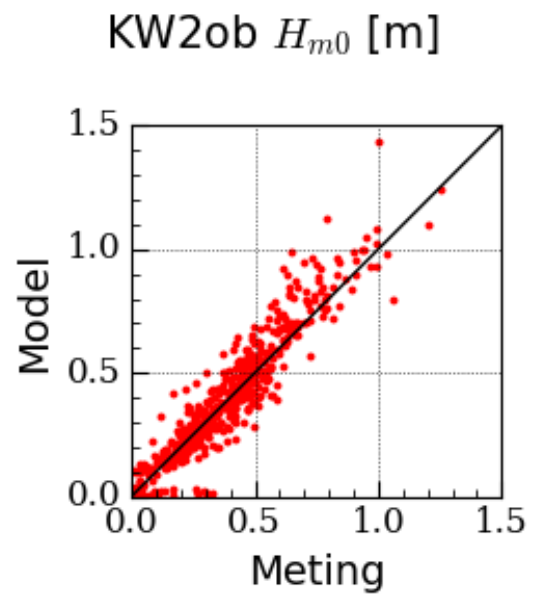
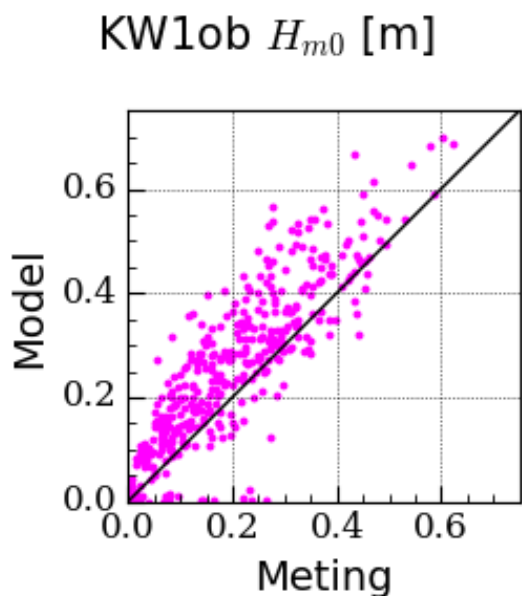
Figuur A.3.4.f: Spectra, gemeten en door SWAN berekend (rood) te Kornwerderzand 2. 'ob' staat voor Obscaped boei. De puntjes tonen golfrichting (rechter y-as).



Figuur A.3.5: Scatterplots SWAN op het IJsselmeer SWAN vs meting, van H_{m0} (boven) en $T_{m-1,0}$ (onder) van alle locaties en alle perioden. Niet gefilterd op lage golven

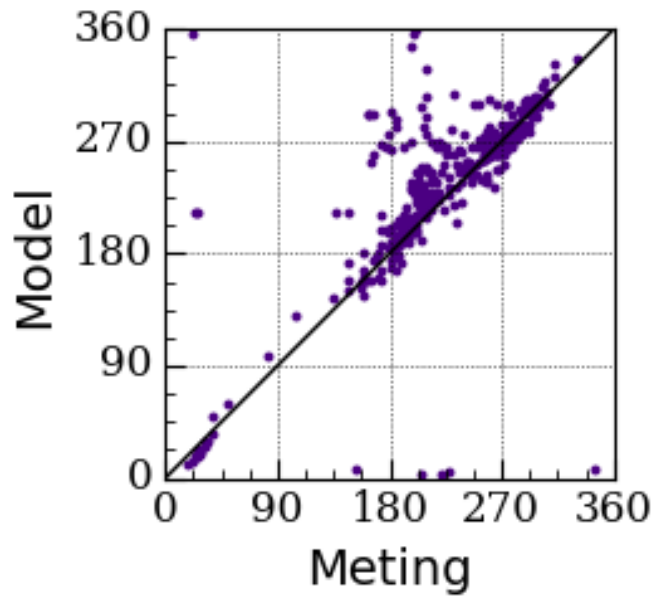


Figuur A.3.6.a: Scatterplots SWAN vs meting te Rotterdamse Hoek van H_{m0} (boven), $T_{m-1,0}$ (midden) en T_{m02} (onder); links meting van stappenbaak, rechts Obscape meetboei.

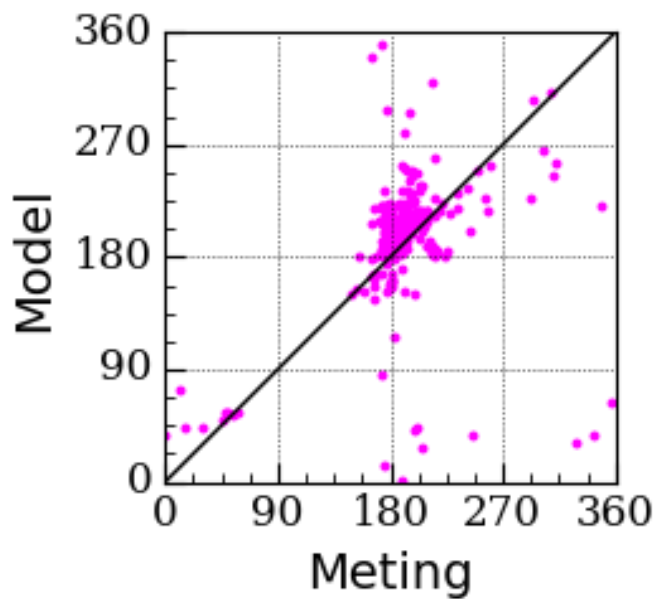


Figuur A.3.6.b: Scatterplots SWAN vs meting te Kornwerderzand van H_{m0} (boven), $T_{m-1,0}$ (midden) en T_{m02} (onder); links KW1 (spuikanaal), rechts KW2 (ten ZW van KW1).

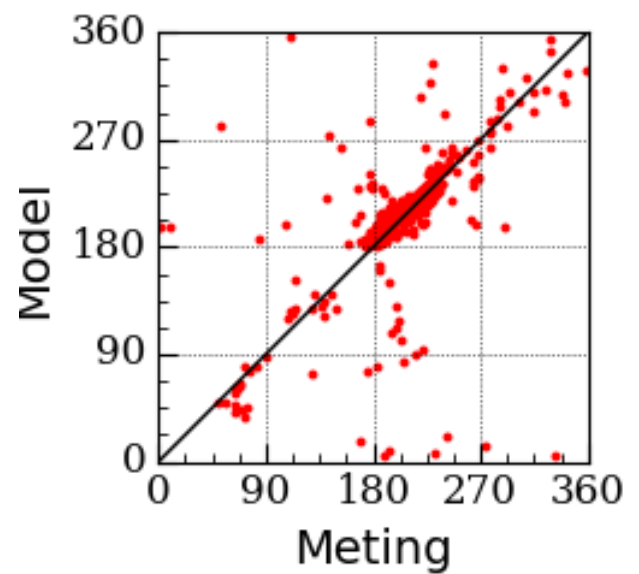
RHob *MeanDir* [°]



KW1ob *MeanDir* [°]



KW2ob *MeanDir* [°]



Figuur A.3.6.c: Scatterplots SWAN vs Obscape boeimeting, golfrichting. Boven: Rotterdamse Hoek, onder Kornwerderzand 1 en 2

B Statistiek formules

x = observatie data

y = model data (SWAN)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \text{ (gemiddelde)}$$

$$\text{bias} = \bar{y} - \bar{x}$$

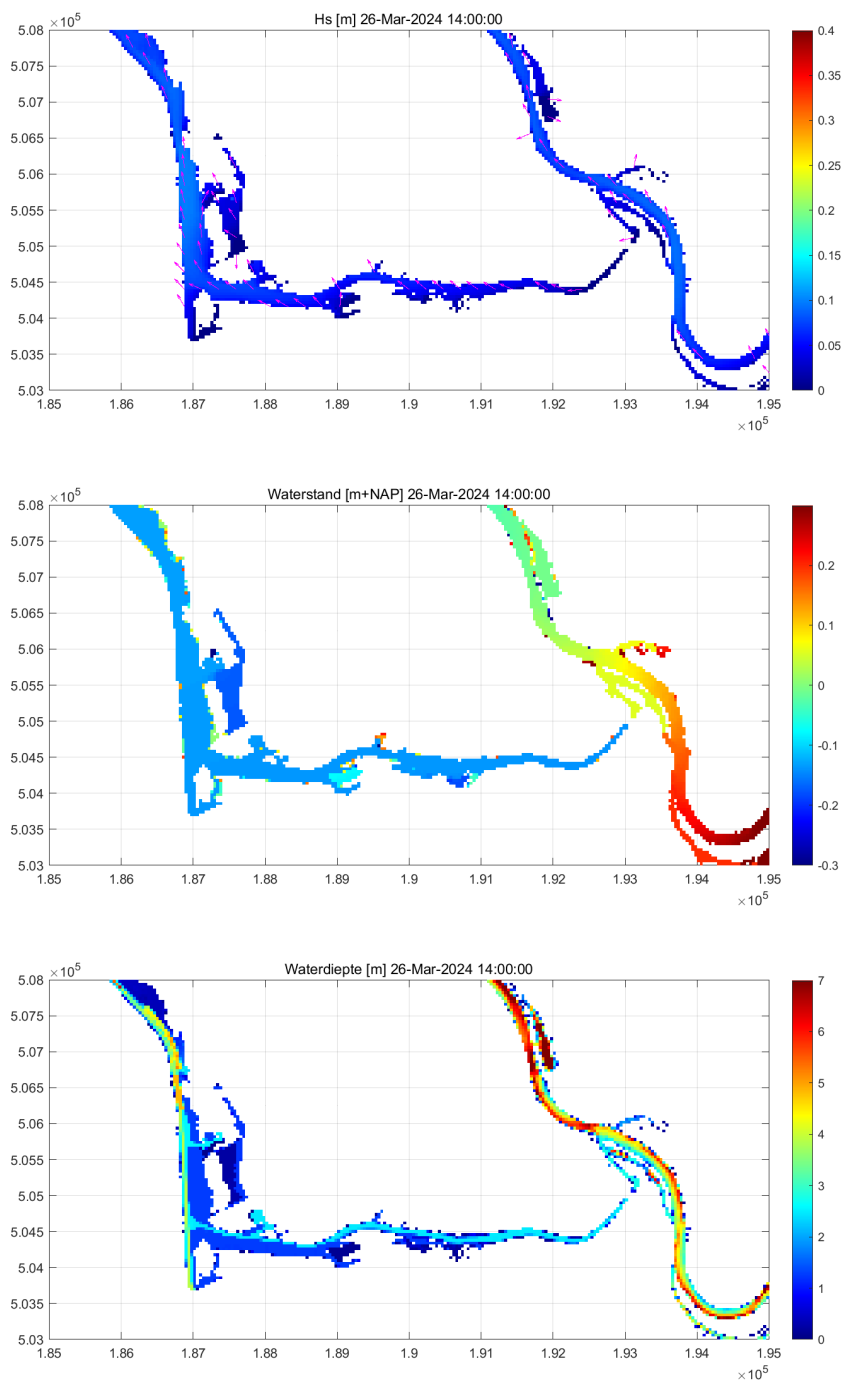
$$\text{relBias} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^N x_i} = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}} \text{ (relatieve bias)}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \text{ (rootmeansquare error)}$$

$$\text{SCI} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((y_i - \bar{y}) - (x_i - \bar{x}))^2}}{\bar{x}} \text{ (scatter index)}$$

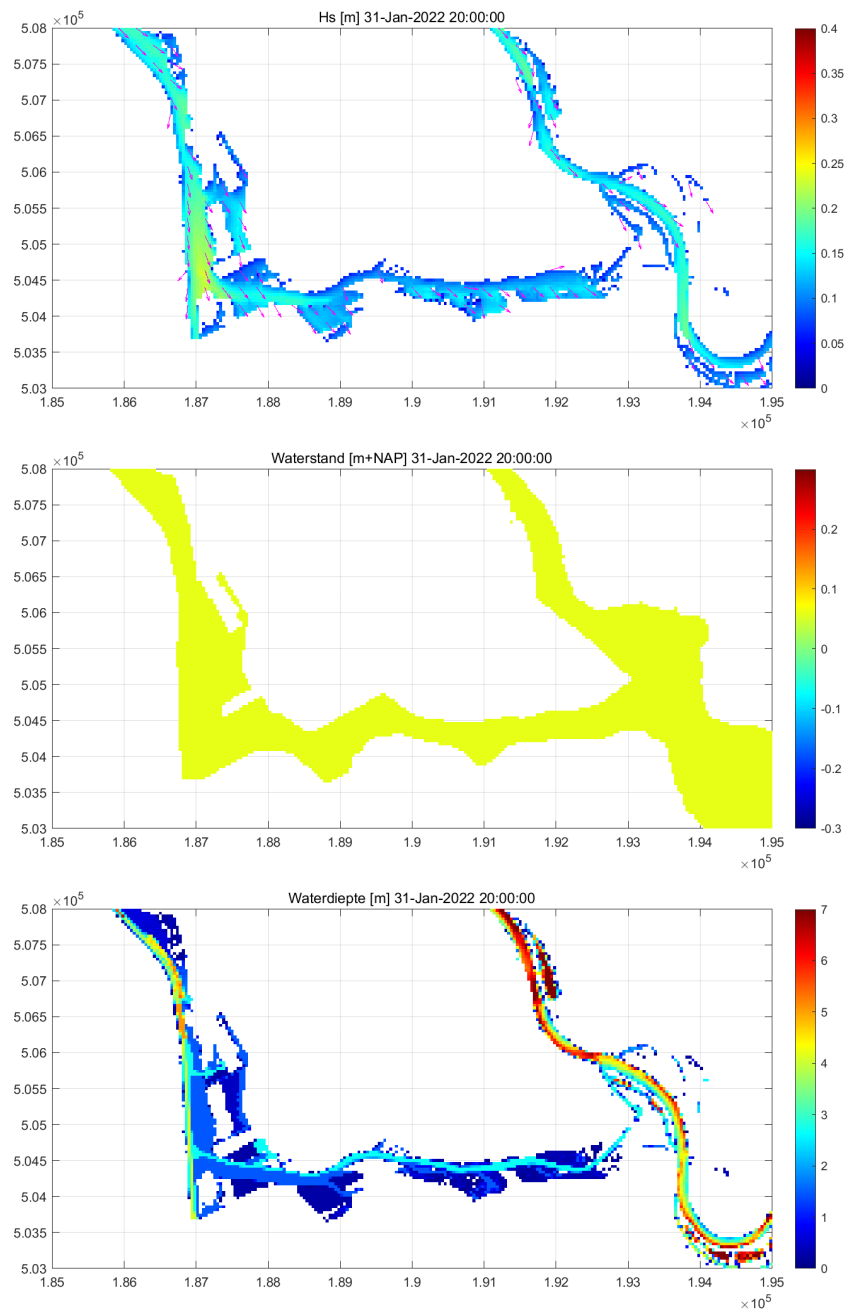
C Voorbeeld resultaten Reevediep

Vanwege de minder geschikte keuze voor de waterstandsbron bevat het Reevediep in de hindcasts geen water en dus geen golven. In de operationele RWsOS omgeving wordt de juiste waterstandsbron gebruikt (Delft3D-FM) en worden er wel golven berekend op het Reevediep. Figuur C1 bevat als voorbeeld bestaande resultaten in golfhoogte en -richting uit het operationele SWAN model, echter voor heel kalme condities. Ook waterdiepte en waterstand worden getoond.



Figuur C.1: golfhoogte, waterstand en waterdiepte Reevediep volgens operationele SWAN berekeningen

Figuur C2 laat SWAN resultaten zien ten tijde van storm Corrie (31 jan 2022) waarbij een fictieve uniforme waterstand van NAP+0.06 m is toegepast. Deze berekeningen zijn gedaan t.b.v. de verschilanalyse ten gevolge van de overstap naar AlmaLinux 8 (Deltares, 2024b).



Figuur C.2: golfhoogte, waterstand en waterdiepte Revediep met fictieve uniforme waterstand

Vooraf in Figuur C.2 zien we dat de golven vanuit het Drontermeer het Revediep wel weten te bereiken. De resolutie van 40 m x 40 m is relatief grof om de geul en uiterwaarden goed weer te geven. Er kan geen uitspraak gedaan worden over de betrouwbaarheid van de SWAN resultaten hier.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl