



Golfberekeningen Pilot Oosterschelde WBI2023



Golfberekeningen Pilot Oosterschelde WBI2023

Caroline Gautier

11200556-000

Titel
Golfberekeningen Pilot Oosterschelde WBI2023

Opdrachtgever RWS	Project 11200556-000	Kenmerk 11200556-000-HYE-0002	Pagina's 54
-----------------------------	--------------------------------	---	-----------------------

Trefwoorden

Oosterschelde, golven, SWAN, WBI2023, Hydraulische Belastingen

Samenvatting

Het is voor Rijkswaterstaat (RWS) van groot belang om de Hydraulische Belastingen (HB) langs de primaire keringen in Nederland permanent paraat te hebben voor diverse processen. Het huidige golfmodel van de Oosterschelde uit 1998/1999 en 2005 is gedateerd en daarom is in deze studie een nieuw SWAN model opgezet. Het bestaat uit twee kromlijnige rekenroosters: het Noordzeerooster en het Oosterschelderooster. Eerstgenoemde is gebaseerd op bestaande WAQUA roosters van de Zuidwestelijke Delta en de Westerschelde, maar een factor 2 in beide richtingen vergrofd. Het Oosterschelderooster is gebaseerd op het bestaande WAQUA-Oosterschelderooster, maar dan een factor 4 in beide richtingen verfijnd. De golftransmissie door de Oosterschelde Stormvloedkering (OSK) wordt met een Python script buiten SWAN om berekend.

Met dit model zijn voor ruim 5500 belasting combinaties proefproductieberekeningen uitgevoerd. Dit betreft stationaire berekeningen me vlakke waterstanden en zonder stroming. De combinaties betreffen waterstanden van NAP -2 m t/m +7.5 m, windsnelheden van 10 t/m 50 m/s en windrichtingen iedere 22.5°. In de berekeningen is de OSK volledig open of volledig gesloten. Er is met ruimtelijke variërende windvelden gerekend, omdat het in het oosten van de Oosterschelde over het algemeen minder hard waait dan op zee. Bij het genereren van de windvelden is ook gecompenseerd voor het feit dat meetlocatie Vlissingen, waar de statistiek op gebaseerd is, enigszins beschut ligt voor wind uit het noorden. De modelinstellingen zijn voornamelijk de default instellingen met uitzondering van de winddrag. Daarvoor wordt de formulering van Wu gebruikt, waarbij de dragcoëfficiënt niet verder toeneemt voor windsnelheden van 30 m/s en hoger ('afkapping'). Zowel de windvelden als de dragcoëfficiënt zijn consistent met wat in de WAQUA productieberekeningen wordt toegepast.

De uitgebreide fysische controles geven vertrouwen in de resultaten, maar achter golfbrekers en in havenbekkens is het model minder geschikt. Op sommige locaties zijn de berekende golven erg steil, maar dat gebeurt voornamelijk bij lage golven die toch niet maatgevend zijn. Tien locaties met een hoge verhouding tussen golfoogte en waterdiepte (>1.2) zullen niet meegenomen worden in de uiteindelijke Hydra-dataset.

Referenties

11200556-000-HYE-0001-m-Plan van aanpak 2017 modellering Oosterschelde

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	19 dec 2017	Caroline Gautier		Jacco Groeneweg		Marcel van Gent	
	31 jan 2018	Caroline Gautier		Jacco Groeneweg		Marcel van Gent	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Uitgangspunten	1
1.4 Aanpak	2
1.5 Leeswijzer	2
2 Modelbeschrijving	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Rekenroosters	5
2.3 Bodemschematisatie en obstakels	6
2.4 Golftransmissie OSK	7
2.5 Golfrandvoorwaarden	7
2.6 Wind, waterstand en stroming	8
2.7 Modelversie en modelinstellingen	8
2.8 Uitvoerdefinitie	8
2.9 Modelkwaliteit	9
3 Opzet van de SWAN berekeningen	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Naamgeving, stochastcombinaties en structuur	11
3.3 Hardware	12
3.4 Methodiek	12
3.5 Postprocessing	13
4 Procedurele Controles	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Bulkchecks	15
4.2.1 Uitleg bulkchecks	15
4.2.2 Resultaten bulkchecks	15
4.3 Convergentiedrag	16
5 Fysische Controles	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Consistentie	19
5.3 Fysische golfkentallen	23
5.3.1 Inleiding	23
5.3.2 Golfsteilheid	24
5.3.3 Verhouding golfhoogte waterdiepte	28
5.3.4 Piekperiode versus golfhoogte	32
5.3.5 Conclusies fysische golfkentallen	32
5.4 Golftransmissie	32
5.5 Droogval	34
5.6 Golfspectra	36
5.7 Ruimtelijke velden	36
5.8 Specifieke controle	37
5.9 Conclusie fysische controle	38

6 Golven in kanalen	39
6.1 Inleiding	39
6.2 Havenkanaal Zierikzee	39
6.3 Kanaal door Zuid-Beveland	41
6.4 Conclusies	42
7 Dataset t.b.v. Hydra-NL	43
7.1 Inleiding	43
7.2 Consistentieplots	43
7.3 Fysische golfkentallen	45
7.3.1 Golfsteilheid	45
7.3.2 Verhouding golfhoogte waterdiepte	47
7.4 Droogval	49
8 Conclusies	51
9 Referenties	53

Bijlage(n)

A Figuren	A-1
B Tabellen	B-1
C Randvoorwaarden Noordzeerooster	C-1
D Wind	D-1
D.1 Ruimtelijke windvelden	D-1
D.2 Windruwheid (winddrag)	D-3
D.3 Samenvatting	D-6
E Opzet uitgevoerde SWAN-berekeningen	E-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het is voor Rijkswaterstaat (RWS) van groot belang om de Hydraulische Belastingen (HB) langs de primaire keringen in Nederland permanent paraat te hebben voor diverse processen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan:

- het wettelijke beoordelingsinstrument (WBI)
- ontwerpprocessen van RWS en waterschappen, o.a. voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), het Ontwerpinstrumentarium 2018 (OI2018)
- beleidsonderzoek;
- vergunningverlening;
- duiding van geactualiseerde voorspelmodellen.

De Hydraulische Belastingen die binnen het WBI2017 voor de Oosterschelde zijn afgeleid zijn gebaseerd op golf- en waterstandsmodellen die dateren van voor de eeuwwisseling, met beperkte aanpassingen in 2006. Intussen zijn vooruitlopend op WBI2023 in 2016 nieuwe golf- en waterstandsmodellen opgezet, en ook het probabilistische model Hydra-NL is aangepast voor de Oosterschelde. Met deze modellen wordt in 2017 een eerste serie testberekeningen in een productieomgeving gemaakt. Analyse van de berekeningsresultaten dient aan te tonen dat de nieuwe modellen geschikt zijn voor het afleiden van nieuwe Hydraulische Belastingen voor 2023.

De huidige studie richt zich op de golven op de Oosterschelde; modelopzet, uitvoeren van de proefproductieberekeningen en controle van de resultaten. In andere rapporten komen de waterstandsmodellering en de probabilistische modellering aan bod.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is het bepalen van betrouwbare golfresultaten langs de oevers van de Oosterschelde voor diverse combinaties van waterstanden, windsnelheden en windrichtingen om daar in een volgend stadium de database fysica mee te vullen die nodig is voor probabilistische berekeningen. Die probabilistische berekeningen leveren voor diverse herhalingstijden de maatgevende combinaties van golven en waterstanden, ofwel de hydraulische belastingen.

De HB maken deel uit van het WBI dat in 2023 zal worden opgeleverd.

1.3 Uitgangspunten

- De berekeningen worden uitgevoerd met de nieuwe SWAN-modelschematisatie (Deltares/HKV, 2016a, mogelijk met beperkte aanpassingen te benoemen in de huidige rapportage) die is gebaseerd op bestaande WAQUA-roosters en op bodemgegevens en obstakels uit Baseline. De SWAN-modelschematisatie bestaat uit een rooster voor het Noordzeedeel en een rooster voor de Oosterschelde. Transmissie door de OSK wordt buiten SWAN om berekend, de diepwaterrandvoorwaarden komen van locatie Europlatform.
- De beschouwde stochastcombinaties zijn vastgelegd in HKV/Deltares, 2016a.

- Uniforme waterstanden worden beschouwd en stroming wordt niet meegenomen om aan te kunnen sluiten bij het Hydra-belastingmodel, waarin stroomsnelheid geen stochast is. De windsnelheid is overigens wel ruimtelijke variabel in de SWAN-berekeningen.
- SWAN-versie 41.10 is gebruikt.
- De dijken zijn niet-overstroombaar.
- Voor het uitvoeren van de productieberekeningen zal geen Matlab licentie nodig zijn. Scripts die eventueel aangepast moeten kunnen worden (zoals controle van de berekeningen) zullen in Python gemaakt worden.
- Voor het overige wordt het plan van aanpak (Deltares/HKV, 2017a) als uitgangspunt gebruikt, maar beperkte afwijkingen zijn mogelijk.

Als eis voegen wij toe:

- De rekentijd moet zodanig zijn dat orde 5.000 berekeningen 'haalbaar' zijn.

1.4 Aanpak

In voorliggende studie vormt het SWAN-model voor de Oosterschelde dat in 2016 is opgezet het uitgangspunt. Enkele details hiervan worden gecontroleerd en aangepast zodat geschikte instellingen, convergentiecriteria, SWAN-versie, uitvoerlocaties en uitvoerdefinities gebruikt worden. Er is besloten om de berekeningen uit te voeren via het Deltares rekencluster. Men is daarbij nog steeds vrij om of alleen het Deltares H6-rekencluster te gebruiken of – via de H6 – flexibel op te schalen naar Amazone. Uiteindelijk is de opschatting naar Amazone wel mogelijk gemaakt, maar niet nodig gebleken. Er is een directorystructuur opgezet en scripts zijn gemaakt om de invoerbestanden automatisch aan te maken. Ook de runscripts inclusief controlescripts zijn aangemaakt, in Python zodat er op het rekencluster geen afhankelijkheid van Matlab hoeft te bestaan.

Vervolgens zijn alle berekeningen uitgevoerd en tussentijds is de voortgang gecontroleerd. Na afloop zijn de controleplots bekeken; sommige stuk voor stuk, andere steekproefsgewijs. Er zijn additionele controles uitgevoerd en de resultaten zijn gerapporteerd. De in- en uitvoerbestanden zijn opgeslagen en van uitleg voorzien.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport bevat de achtergronddocumentatie bij de SWAN proefproductieberekeningen voor de Oosterschelde, en is nuttig als naslagwerk. Hoofdstuk 2 is de modelbeschrijving, te weten de roosterschematisaties, instellingen, uitvoerdefinitie en dergelijke. In Hoofdstuk 3 is te vinden welke berekeningen zijn uitgevoerd, en hoe. De procedurele controles en de resultaten daarvan worden benoemd in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 gaat in op de fysische controles van de berekeningen. De golven in de kanalen bij Zierikzee en door Zuid-Beveland komen in Hoofdstuk 6 apart aan bod. Op basis van de controles blijken sommige locaties ongeschikt om op te nemen in de Hydra database. In Hoofdstuk 7 wordt een aantal controles behandeld voor de selectie die wel in de Hydra database wordt opgenomen. Het rapport eindigt met conclusies in Hoofdstuk 8.

Een deel van de figuren en tabellen staat tussen de tekst, maar voor de grotere figuren en tabellen wordt verwezen naar appendix A en B. In principe hanteren we de afkorting H_m0 voor

de spectrale significante golfhoogte. Omdat deze parameter in SWAN HS heet gebruiken we soms ook HS of Hs, vooral als we verwijzen naar de modeluitvoer.

2 Modelbeschrijving

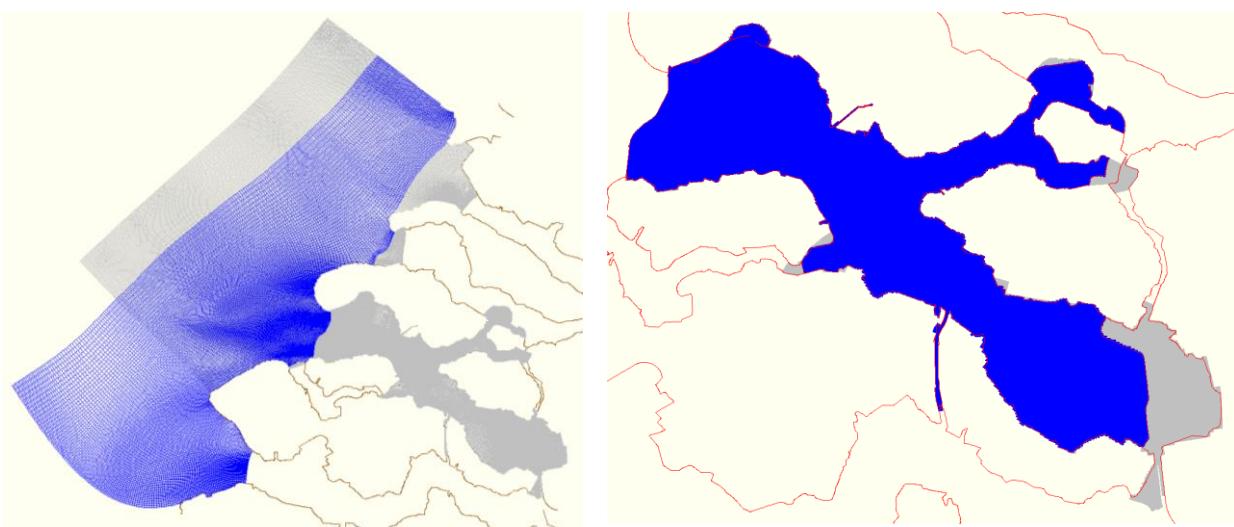
2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft het SWAN-Oosterscheldemodel waarmee de stationaire proefproductieberekeningen van golven voor WBI2023 zijn uitgevoerd. Delen van de tekst zijn overgenomen uit Deltares/HKV, 2016a dat de modelopzet en de validatie beschrijft. Echter, in dat rapport waren nog niet alle keuzes definitief, in de huidige rapportage wel. Het SWAN-Oosterscheldemodel is in 2016 opgezet, als vervanging van het vorige model dat deels stamt uit 1998/1999 en uit vele kleine geneste roosters bestond.

2.2 Rekenroosters

Het SWAN-Oosterscheldemodel bestaat uit twee roosters: een Noordzeerooster en een Oosterschelderooster. Het Noordzeerooster berekent de golven vlak voor de Oosterschelde Stormvloedkering (OSK). Met een transmissiescript wordt berekend hoeveel golfenergie – afhankelijk van waterstand, golfhoogte en schuifstand, de Oosterschelde bereikt. Die energie wordt als randvoorwaarde op het Oosterschelderooster toegepast. De term Oosterscheldemodel slaat op de combinatie van het Noordzeerooster en het Oosterschelderooster.

Voor de zuidwestelijke delta zijn eind 2015 diverse nieuwe WAQUA-schematisaties opgeleverd, die als uitgangspunt gebruikt zijn voor de SWAN roosters. Reproduceerbaarheid en consistentie zijn daarbij belangrijk. Met behulp van RGFGRID (onderdeel van Delft3D) zijn de definitieve rekenroosters gemaakt.



Figuur 2.1 Rekenroosters t.b.v. SWAN berekeningen. links het Noordzeerooster, rechts het Oosterschelderooster (grijze gebieden zijn verwijderd t.o.v bestaande WAQUA Oosterschelde schematisaties)

Het Noordzeerooster is zo opgezet dat de diepwaterrand vrijwel door meetlocatie Schouwenbank gaat (directional waveriders SCB2 (11580; 419625) en SCHB (11332; 419605)). Het is identiek aan een deel van het WAQUA-Oosterschelde rooster (grid-os100m_5-v2.grd) in combinatie met een deel van het WAQUA-Westerschelderooster (grid-nevla_5-v2.grd), maar in beide richtingen is het rooster met een factor twee vergroot (zie

Deltares/HKV 2016b). Niet-relevante delen zijn verwijderd (ter beperking van rekentijd). Ten opzichte van de bestaande WAQUA-roosters van Ooster- en Westerschelde zijn er geen roostercellen verplaatst, alleen verwijderd.

Voor de Oosterschelde is het WAQUA-rooster (grid-os100m_5-v2.grd) gebruikt, waarvan het Noordzee deel is afgeknipt. Hierbij is gebruik gemaakt van de landboundary afkomstig van het waterschap Scheldestromen. Vervolgens is in beide richtingen het rooster met een factor vier verfijnd om nabij de oevers een resolutie te verkrijgen van orde 25 m. Deze resolutie is nodig omdat de uitvoerlocaties orde 50 m van de teen van de dijk zullen liggen, en het is ongewenst om uitvoerlocaties in de laatste cel direct aan de modelrand te leggen. Enkele gebieden die achter dijken of verbindende keringen liggen zijn verwijderd omdat die niet relevant zijn voor de Oosterschelde zelf (bijvoorbeeld het Markiezaatsmeer en een deel van het Veerse meer).

Kenmerken van beide rekenroosters zijn weergegeven in onderstaande tabel.

id	naam	dx [m]	dy [m]	#x cellen	#y cellen	# natte punten*	reken- tijd**
NZ	Noordzee	ca. 200	ca. 200	271	129	23.062	< 5 min
OS	Oosterschelde	ca. 20	ca. 25	1860	1704	1.175.835	ca. 2:20'

Tabel 2.1 Kenmerken SWAN rekenroosters (* bij een waterstand van NAP+6.5 m; **op H6 rekencluster, 8 processoren)

2.3 Bodemschematisatie en obstakels

Van de bodemgegevens uit Baseline zijn bodembestanden voor SWAN gemaakt. Het betreft bodemgegevens van een speciaal voor WBI2023 opgezette Baselineboom ZWD-j12_5-v4WBI. Deze baselineboom is afgeleid van ZWD-j12_5-v4 en verschilt hiervan alleen in additionele uitvoerlocaties en een aangepast sectiebestand. Het zogenaamde sectiebestand sluit gebieden buiten de verbindende en primaire keringen uit van de schematisatie. Omdat ook WAQUA uitgaat van deze Baseline gegevens zijn de bodems in beide modellen consistent met elkaar. Echter, omdat de resolutie van het SWAN rooster anders is dan van het WAQUA rooster, kunnen identieke locaties toch verschillende dieptes hebben¹. De 'j12' in de bestandsnaam houdt in dat de bodemgegevens van het jaar 2012 zijn. Via Baseline is een conversie naar de SWAN-roosters gemaakt, met als resultaat bodembestanden specifiek voor de SWAN-roosters en een lijst met obstakels. De bodemligging in het SWAN model is weergegeven in Figuur A.2.1 in Appendix A. Nadat de berekeningen uitgevoerd zijn, zijn er ook bodemgegevens van 2016 in Baseline beschikbaar gekomen. Deze gegevens zijn niet in het model verdisconteerd.

De 3530 obstakels uit Baseline zijn in een apart bestand opgeslagen dat SWAN inleest via een 'include' file. De Baseline obstakels zijn met het tool BAS2SWAN omgezet in het voor SWAN geschikte format. Enkele voorbeelden van deze obstakels zijn te vinden in Figuur A.2.2. in Appendix A. De obstakels uit Baseline komen niet precies overeen met de lijst met

¹ De WAQUA roosterpunten liggen allemaal precies op SWAN roosterpunten maar SWAN heeft nog tussenliggende punten vanwege een fijnere resolutie. De uitvoerlocaties liggen niet precies op roosterpunten en daarom is interpolatie op basis van de omliggende roosterpunten nodig. Dit gebeurt in SWAN anders dan in WAQUA en op basis van andere roosterpunten. Bovendien zijn in SWAN de uitvoerlocaties naar hele meters afferond en in WAQUA niet. Al met al kan dit leiden tot kleine verschillen in bodemligging of grotere verschillen als het net wel/niet gaat om het meenemen van droge punten.

objecten van het waterschap Scheldestromen, zie Figuur A.2.3 in Appendix A. Alleen Baseline obstakels zijn opgenomen.

2.4 Golfransmissie OSK

Als de OSK geopend is zal golfenergie van zee de Oosterschelde kunnen bereiken, maar de onderdorpel en bovenstructuren (bovenbalk, open schuiven en weg) zorgen voor reductie van de golfenergie. Als de kering gesloten is kunnen golven alleen bij heel hoge waterstanden over de kering (bovenbalk en weg) heen. Beide processen zijn vormen van golfransmissie. De transmissie wordt uitgedrukt in de transmissie coëfficiënt K_t ($K_t = H_{m0\text{ na}} / H_{m0\text{ voor}}$). De transmissie wordt in de eerste plaats geschat door de mate waarin de golfenergie wordt geblokkeerd, wat sterk afhangt van de waterstand, golfhoogte en geometrie.

Op het Noordzeerooster zijn 62 uitvoerlocaties gedefinieerd voor evenzoveel schuiven van de OSK. Op elke locatie berekent SWAN een 2d spectrum. Het transmissiescript zet het SWAN spectrum om naar een getransmitteerd 2d spectrum, met behulp van een variabele transmissie coëfficiënt. De transmissiecoëfficiënt wordt bepaald op basis van blokkering van het doorstroomprofiel, zie Figuur A.2.4 in Appendix A. Vervolgens wordt de locatieafhankelijke transmissie coëfficiënt toegepast op elk door SWAN berekende spectrum net ten westen van de OSK, met als resultaat voor elke locatie een nieuw 2d golfspectrum, dat dient als randvoorwaarde voor het Oosterschelderooster. Per schuif (62 stuks) wordt de transmissie dus apart toegepast. De transmissiecoëfficiënten die op deze manier – door dus alleen het doorstroomprofiel te beschouwen – zijn afgeleid, zijn vergeleken met metingen van golfspectra aan weerszijden van de OSK. Het blijkt dat voor de beschouwde situaties, frequentie afhankelijke methoden gebaseerd op metingen niet nauwkeuriger zijn (Deltares, 2016b).

De transmissiecoëfficiënt wordt als ruwe bulkcoëfficiënt afgeleid op basis van blokkering van het doorstroomprofiel, per schuifopening. Een schuif die deels gesloten is kan op deze manier ook beschouwd worden. Mogelijk leidt in de toekomst een nadere analyse tot nauwkeurigere waarden voor de transmissiecoëfficiënt, met de juiste afhankelijkheden voor stroming, golfsteilheid, golffrequentie en mogelijk andere zaken. De modelopzet biedt nu wel al de mogelijkheid om die afhankelijkheden toe te passen.

2.5 Golfrandvoorwaarden

De golfrandvoorwaarden voor het Noordzeerooster hangen uitsluitend af van windrichting en windsnelheid. Zij zijn ruimtelijk uniform en worden opgegeven als golfhoogte, piekperiode en golfrichting, volgens de tabellen uit het 'diepwaterrandvoorwaardenrapport' van HKV (2010). Hiertoe wordt locatie Europlatform beschouwd, ook al ligt de modelrand dichter bij de kust. Testberekeningen (HKV/Deltares, 2016b) hebben uitgewezen dat dit geoorloofd is indien het interessegebied puur de Oosterschelde betreft. Ook is in HKV/Deltares (2016b) gebleken dat het uniform opleggen van de golfparameters op de noordwestelijke rand voldoende is om het gedrag op de Oosterschelde te bepalen, zelfs bij andere dan NW windrichtingen. Het is niet nodig om de golfparameters ook op de noordelijke en zuidelijke rand op te leggen. De statistiek van locatie Europlatform kan daarom uniform langs de noordwestelijke rand van het modeldomein worden opgelegd binnen de context van WBI-2023 voor de Oosterschelde. Als spectrale vorm wordt 'JONSWAP' gekozen. Voor de richtingsspreiding wordt een standaardwaarde van 2 gebruikt, wat overeenkomt met 30° aan weerszijden van de hoofdrichting. Details over de golfrandvoorwaarden zijn opgenomen in Appendix C.

De golfrandvoorwaarden voor het Oosterschelderooster zijn uniek voor elke case en variëren wel ruimtelijk. Het zijn 2d spectra die buiten SWAN om met het transmissiescript (Python

script) berekend worden op basis van SWAN resultaten op het Noordzeerooster. De schuiven van de OSK zijn elk geschematiseerd als vier gridcellen (van het Oosterschelderoster) breed, en per vier van die gridcellen worden gelijke randvoorwaardenspectra gebruikt.

2.6 Wind, waterstand en stroming

De wind wordt opgegeven als een ruimtelijk variërend open water windveld ('U10') dat beide SWAN-roosters beslaat met een resolutie van 12 km x 12 km. SWAN interpoleert dit grove rooster naar het rekengrid. De ruimtelijke variatie – die windrichtingsafhankelijk is - is bepaald op basis van KNMI-metingen over de periode 1981-2015 ter plaatse van locaties Vlakte van de Raan, Lichteiland Goeree, Europlatform, Tholen en Oosterschelde. Bij het opstellen van de windvelden was de wind in Vlissingen het uitgangspunt. Er is rekening gehouden met het feit dat meetlocatie Vlissingen enigszins afgeschermd ligt voor noordelijke windrichtingen door de stad zelf. Voor elke combinatie van windrichting en windsnelheid is een ander windveld beschikbaar. In de SWAN-berekeningen neemt de winddrag toe bij toenemende windsnelheid tot een maximum van $C_d=0.00275$ bij 30 m/s. Daarna blijft hij constant ('afgekapt' Wu formuleren). Bij het omrekenen van de potentiele windsnelheid naar open water windsnelheid is de afkapping achterwege gelaten. Daardoor zijn bij hoge windsnelheden de open water winsnelheden (de invoer van de SWAN-berekeningen) enkele procenten te laag berekend. Voor details wordt verwezen naar Appendix D.

De golfberekeningen zijn uitgevoerd zonder stroming en met uniforme waterstandsvelden, omdat dat de manier is waarop het belastingmodel is opgezet (HKV/Deltares, 2016a). De gevoeligheid voor stroming is beschouwd in Deltares/HKV, 2016b en ook in Svašek Hydraulics, 2016. Op basis van een aantal proefberekeningen in beide studies blijkt dat de invloed van stroming op de golven langs de oevers lokaal orde 0.4 m en 1 s kan zijn (maar meestal minder), zowel verhoging als verlaging. Het algemene beeld is dat bij eb de golfhoogte en periode toeneemt en bij vloed af. Bij deze testberekeningen is alleen getijstroming beschouwd. Additionele tests met ook windgeïnduceerde stroming gaven een vergelijkbaar beeld.

2.7 Modelversie en modelinstellingen

De berekeningen zijn uitgevoerd met SWAN versie 41.10.2. Dit betreft een Deltares versie, maar had ook een standaard versie kunnen zijn. De richtingsresolutie bedraagt 48 richtingssectoren ('bins') van elk 7.5° . De frequenties die beschouwd worden lopen van 0.02 Hz tot 2.5 Hz. SWAN verdeelt dit in 51 cellen ('frequentiebins'). Elke berekening doorloopt 80 iteraties. De volgende instellingen zijn gebruikt.

- ondiepwater breken volgens Battjes-Janssen (default; ALPHA=1.0 GAMMA=0.73)
- whitecappingformulering volgens Komen met $\delta = 1$ (default; DELTA=1)
- bodemwrijvingscoëfficiënt 0.038 (default)
- triads (default; ITRIAD=1 TRFAC=0.8 CUTFR=2.5)
- quadruplets (default; IQUAD=2)
- winddragformulering volgens Wu, afgekapt op $C_d=2.75 \cdot 10^{-3}$ (≈ 30 m/s).

2.8 Uitvoerdefinitie

Als uitvoer worden ruimtelijke velden ('maps') in NetCDF weggeschreven van de bodemligging, golfhoogte, diverse periodematen, golfrichting, richtingsspreiding en het verschil in golfhoogte en golfperiode t.o.v. de voorlaatste iteratie (XP YP BOTLEV HSIG TPS RTP TMM10 TM01 DIR DSPR DHS DRTM01). Daarnaast is er een aantal locatiesets gedefinieerd waar naast een aantal parameters (XP YP DEP HSIG RTP TPS TMM10 TM01 TM02 DIR DSPR WLEN DISS DHS DRTM01 QB HSWELL WIND WATLEV) ook spectra worden weggeschreven. De locatiesets zijn weergegeven in Tabel 2.2.

De belangrijkste set is set1 ('OSPHRSET1'), de basis voor de HB, bestaande uit de uitvoerlocaties op 75 m van de kruinlijn en orde 50 m van de teen van de dijk. De onderlinge afstand van de punten is orde 100 m. Op 50 m verder richting het water liggen de punten van set 2. Beide sets zijn direct aan elkaar gekoppeld en zijn gedefinieerd ten behoeve van het nieuwe belastingmodel (HKV/Deltares, 2016a). Het is de bedoeling dat de definitieve HB locaties hieruit worden geselecteerd. SET 3 ('OSPHRSET3') betreft additionele uitvoerlocaties o.a. zoals langs havendammen, plaatranden en voorlanden.

Om het convergentieverloop te kunnen controleren is op een aantal locaties zogenaamde 'TEST'-uitvoer weggeschreven. Op het Oosterschelderooster zijn dat de 24 locaties die in OSPTEST staan. Op het Noordzeerooster zijn het vier locaties uit locatieset NZPCHECK.

De locaties zijn weergegeven in Fig A.2.5.a en b in Appendix A. Zie ook Tabel 2.2. Overigens betreffen de locaties HR2001 uit de b-figuur, de locaties uit de Rand2001 database (RIKZ, 2001).

	locatie set	gebied	aantal	tab	sp1	sp2	doel
1	NZPNZ2OS	NZ	62	v	v	v	invoer voor transmissiescript
2	NZPCHECK	NZ	9	v	v	v	controle en 4 convergentielocaties
3	NZPHR03SELECT	NZ	75	v	v	v	Noordzee selectie set 3
4	NZPOBS	NZ	10	v	v	v	controle t.p.v. meetlocaties
1	OSPHRSET1	OS	2039	v	v	v	set 1 t.b.v. WBI2023
2	OSPHRSET2	OS	2039	v	v	v	set 2 t.b.v. WBI2023
3	OSPHRSET3	OS	2280	v	v	v	set 3 t.b.v. WBI2023
4	OSPOBS	OS	12	v	v	v	controle t.p.v. meetlocaties
5	OSPTEST	OS	24	v	v	v	controle en convergentielocaties
6	OSPHR2001	OS	958	v	v	v	vorige HR locaties (o.a. WBI 2017)

Tabel 2.2 SWAN-uitvoerlocaties Noordzee- en Oosterschelderooster. tab: uitvoer van golfparameters; sp1: uitvoer in de vorm van 1d spectra; sp2: uitvoer in de vorm van 2d spectra.

2.9 Modelkwaliteit

Eind 2016 is een hindcaststudie uitgevoerd om het SWAN-model te verifiëren (Svašek Hydraulics, 2016). Voor dertien momenten binnen vier stormen (30 okt 2000, 26/27 okt 2002, 18 jan 2007, 5/6 dec 2013) zijn SWAN simulaties uitgevoerd waarvan de resultaten vergeleken zijn met metingen ter plaatse van Keeten en Marolleghat, twee meetlocaties op de Oosterschelde. Diverse instellingen zijn gevarieerd. De berekening met versie SWAN 41.10 met standaardwaarden voor whitecapping (Komen, $\delta=1$), bodemwrijving (0.038), breken (Battjes-Janssen) en triads maar met de wind drag volgens Wu (i.p.v. de default Zijlema optie) benadert de metingen gemiddeld het best. Op basis van 23 waarnemingen, blijkt de bias voor golfhoogte -1% te zijn en de scatter index 13%. De bias voor de golfperiode $T_{m-1,0}$ bedraagt -6%, de scatter index 7%. Dit zijn goede resultaten.

Omdat de windsnelheden tijdens de metingen niet boven de 30 m/s uit zijn gekomen is niet te verifiëren of de wind drag al dan niet afgekapt moet worden boven deze waarde. Overigens kan het model alleen met metingen vergeleken worden ter plaatse van meetlocaties en dat is in dit geval niet nabij de oevers waar de Hydraulische Belastingen bepaald moeten worden. Maar bij gebrek aan geschiktere meetlocaties geeft deze hindcast toch een redelijk beeld van de modelkwaliteit.

3 Opzet van de SWAN berekeningen

3.1 Inleiding

De SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd in de periode maart/april 2017 op het Deltares H6-rekencluster. Het gaat om 5624 berekeningen op het Oosterschelderooster en 4104 op het Noordzeerooster. Het berekeningsproces bestaat uit de onderdelen 'klaarzetten', 'berekenen', 'postprocessing'.

3.2 Naamgeving, stochastcombinaties en structuur

Per stochastcombinatie ('case') wordt een berekening op het Noordzee- en op het Oosterschelderooster uitgevoerd. De naamgeving is zo dat duidelijk is om welke case en om welk rooster het gaat, zie onderstaande voorbeeld.

U42 D270 Lm500 NZ a (maar zonder spaties)

U42 D270 Lp500 OO a (maar zonder spaties)

U potentiele windsnelheid [m/s]

D windrichting [$^{\circ}$ N] afgerond op hele graad

L zeewaterstand [cm+NAP] ('m' is min, 'p' is plus)

NZ Noordzeerooster

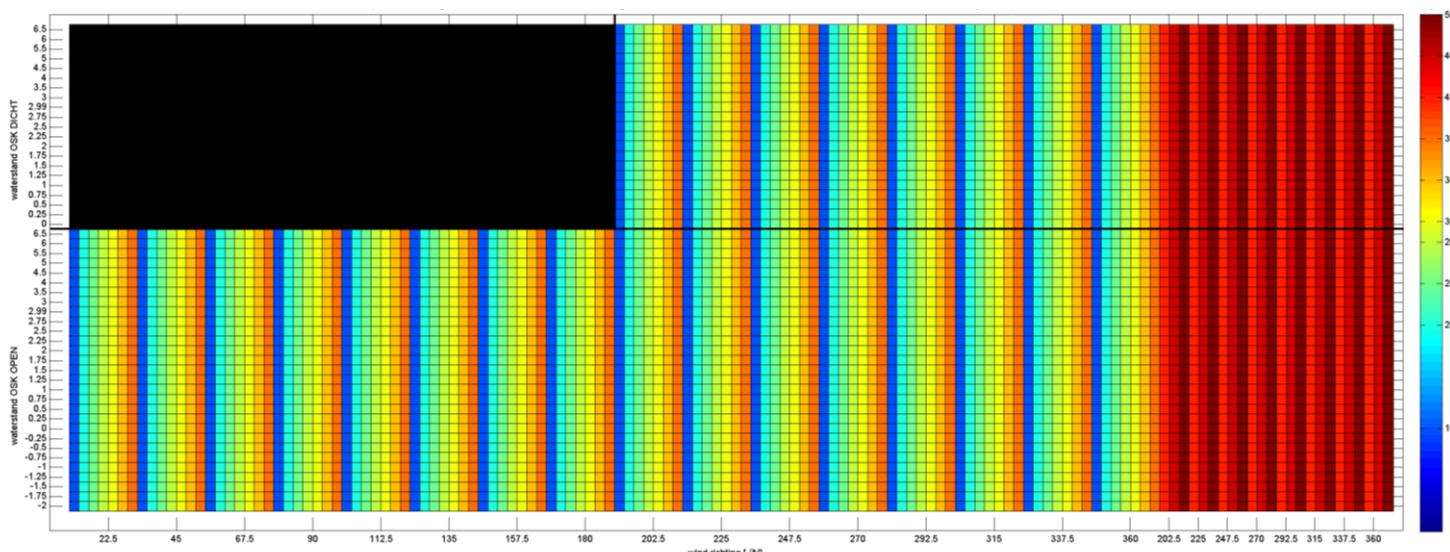
OO Oosterschelderooster met Open OSK

OD Oosterschelderooster met Dichte OSK

Eventueel kan de laatste 'O' of 'D' vervangen worden door een keringstoestandscode

a variant 'a' (voor de zekerheid, mochten er varianten nodig zijn)

De lijst met uitgevoerde combinaties is opgenomen in Appendix E, zie ook Figuur 3.1. Elke berekening vindt in een eigen subdirectory plaats. Voor overzichtelijkheid zijn de cases per windrichting gecombineerd in één subdirectory. In Appendix E is de directory structuur van de berekeningen weergegeven.



Figuur 3.1 Overzicht van 5624 uitgevoerde SWAN-berekeningen op het OS-rooster (kleurenaas verwijst naar de potentieele windsnelheid [m/s])

De SWAN-invoerbestanden zijn gemaakt door geautomatiseerd in een 'master-input' een aantal parameters zoals windsnelheid, waterstand, windrichting, golfrandvoorwaarden en casenaam te wijzigen. Een 'master-input' is een voorbeeld SWAN-invoerbestand. Er zijn vijf master-input bestanden beschikbaar, namelijk twee voor het Noordzeerooster (één met en één zonder randvoorwaarden, deze laatste voor oostelijke windrichtingen), twee voor Oosterschelderooster met gesloten kering (één met en één zonder randvoorwaarden, deze laatste voor oostelijke windrichtingen), en één voor Oosterschelderooster met open kering. Alle invoerbestanden zijn klaargezet voordat is begonnen met de berekeningenreeks.

Op het Noordzeerooster zijn voor de tien windsnelheden additionele berekeningen uitgevoerd voor de acht westelijke richtingen (202.5°N t/m 360°N) met waterstand NAP+7.0 m en NAP+7.5 m omdat hier behoefte aan was bij het bepalen van golfoverslag over de OSK. Deze 160 berekeningen zijn niet opgenomen in Figuur 3.1, noch in Appendix E. Het totale aantal beschouwde situaties voor het Noordzeerooster is 4104.

3.3 Hardware

De SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd in de periode maart/april 2017 op het Deltares H6-rekencluster, onder Linux (versie CentOS 6.6 64-bit only). Het rekencluster bestaat uit totaal 230 (bare metal) nodes van het type Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60GHz met 512GB local storage. De berekeningen zijn steeds parallel (met OpenMP) op acht cores uitgevoerd (één berekening parallel over acht nodes). Meerdere berekeningen (tot soms wel 30) zijn tegelijkertijd uitgevoerd

Voor een berekening op het Oosterschelderooster is 8Gb geheugen niet genoeg en 16Gb wel. De rekenduur voor een berekening op het Noordzeerooster is ongeveer 3 minuten, maar op het Oosterschelderooster duurt een som ongeveer 2 uur en 20 minuten.

3.4 Methodiek

Het berekeningsproces bestaat uit de onderdelen 'klaarzetten', 'berekenen', 'postprocessing'. Het klaarzetten behelst het opzetten van de juiste directory structuur, het aanmaken van de SWAN-bestanden (*.SWN) en het aanmaken van enerzijds variabele invoer zoals randvoorwaarden en windvelden (INPVAR), anderzijds de vaste invoer zoals bodembestanden, rekenroosters, obstakels en uitvoerlocaties (INPFIX). Dit is allemaal klaargezet voordat de berekeningen zijn begonnen.

De berekeningen zelf zijn uitgevoerd in gebundelde groepen van ongeveer honderd stochastcombinaties, waarbij de wachtrij op het rekencluster zorgde voor eerlijke doorvoer van de berekeningen. Elke stochastcombinatie is zowel op het Noordzeerooster als op het Oosterschelderooster uitgerekend. Het runscript zorgt ervoor dat – indien relevant - een SWAN-berekening op het Noordzeerooster in principe direct wordt gevuld door 'wavetrans', het pythonscript dat op basis van de golf- en waterstandsafhankelijke golftransmissie, de golfrandvoorwaarden voor het Oosterschelderooster opstelt. Verder regelt het runscript dat de begin- en eindtijd wordt bewaard en dat direct de postprocessing wordt uitgevoerd. Er zijn twee varianten van het runscript, namelijk 'run' (die na elkaar een berekening op het Noordzeerooster en op het Oosterschelderooster met open OSK uitvoert), en 'run_OD' (de situatie met gesloten OSK, die alleen een berekening op het Oosterschelderooster uitvoert met golfrandvoorwaarden die bepaald zijn met het transmissiescript voor dichte kering toegepast op SWAN resultaten op het NZ rooster,).

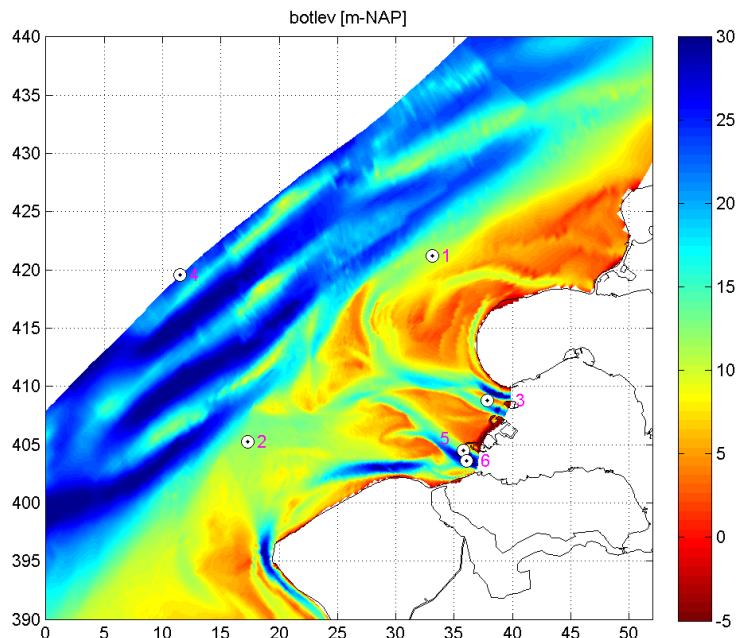
In principe wordt het Noordzeerooster gebruikt om golfrandvoorwaarden te berekenen voor het Oosterschelderooster dat het interessegebied beslaat. In sommige gevallen –

bijvoorbeeld bij oostenwind – was de berekening op het Noordzeerooster niet nodig voor het bepalen van de golven op de Oosterschelde. Het Noordzeerooster is ook nodig om de waterstandsverhoging t.g.v. golfoverslag over de OSK te bepalen. Dit wordt buiten SWAN om gedaan, maar hiertoe zijn wel SWAN-golfberekeningen als invoer nodig. Daarom zijn zelfs nog additionele berekeningen uitgevoerd met hogere waterstanden, tot NAP+7.5 m.

3.5 Postprocessing

Het runscript dat de SWAN-berekeningen opstart zorgt ook voor het uitvoeren van een aantal postprocessing scripts direct na de berekening. Het gaat om figuren van:

- 1d-spectra van zowel het Noordzeerooster (6 locaties) als het Oosterschelderooster (2 x 6 locaties) (zie als voorbeeld Figuur A.3.1a, b,c; locaties staan aangegeven in Fig A.2.5a in Appendix A en in onderstaande Figuur 3.2).
- het convergentieverloop op 24 locaties op het Oosterschelderooster (verdeeld over 2 figuren, totaal 11248 bestanden (5624 berekeningen, 2 bestanden per berekening), zie als voorbeeld Figuur A.3.2, locaties staan aangegeven in Figuur A.2.5a in Appendix A)
- per run 26 detail 2d maps (H_s , $T_{m-1,0}$, dH_s , dT_m) van het Oosterschelderooster (zie als voorbeeld Figuur A.3.3)
- overall 2d maps (H_s , $T_{m-1,0}$, dH_s , dT_m) van zowel het Noordzeerooster als het Oosterschelderooster (zie als voorbeeld Figuur A.3.4a en A.3.4b).



Figuur 3.2 Locaties spectrale plots Noordzeerooster

Nadat alle berekeningen zijn afgerond zijn figuren gemaakt waar ter controle de resultaten van diverse runs gecombineerd zijn, zie Hoofdstuk 5.

4 Procedurele Controles

4.1 Inleiding

Voordat gecontroleerd wordt of de resultaten van de SWAN-berekeningen fysisch realistisch zijn, wordt een aantal procedurele controles uitgevoerd om te achterhalen of de juiste bestanden zijn aangemaakt, de berekeningen procedureel correct zijn verlopen, of de convergentie voldoende is en of de rekentijd in orde is. Van elke berekening worden figuren met het lokale convergentieverloop uitgevoerd maar vanwege het grote aantal kunnen die alleen steekproefsgewijs gecontroleerd worden. De andere controles – de zogenaamde bulkchecks - betreffen wel de gehele set berekeningen. In dit hoofdstuk worden eerst de bulkchecks gepresenteerd en daarna het convergentieverloop.

4.2 Bulkchecks

4.2.1 Uitleg bulkchecks

Nadat een aantal SWAN-berekeningen is afgerond wordt handmatig het pythonscript 'checkbulk_all.py' gedraaid dat voor alle uitgevoerde berekeningen de onderstaande vier procedurele controles uitvoert. De bevindingen n.a.v. deze vier controles worden weergegeven in een tekstbestand, één voor het Noordzeerooster, één voor het Oosterschelderooster met open kering en één voor Oosterschelderooster met gesloten kering. Uiteindelijk moet opgelet worden dat het aantal gecontroleerde sommen wel gelijk is aan het aantal uitgevoerde sommen.

- 1) Het script controleert de aanwezigheid van de SWAN-uitvoerbestanden met de extensie SP1 (1d spectra), SP2 (2d spectra), TAB (tabellen) en NC (NetCDF bestanden met ruimtelijke velden).
- 2) Vervolgens wordt gekeken of het PRT (print) bestand foutmeldingen bevat. Dit nuttige bestand wordt automatisch door SWAN gegenereerd en bevat naast een weergave van de invoer een samenvatting van de instellingen, de SWAN versie, het convergentieverloop en eventuele waarschuwingen en foutmeldingen.
- 3) Daarna wordt op basis van het aanmaken en afsluiten van het PRT bestand de duur van de berekening bepaald. Een te lange rekenduur kan duiden op een fout en daarom wordt gecontroleerd of de rekenduur binnen 270 minuten (4:10') ligt, een waarde die bij proefberekeningen geschikt bleek.
- 4) Tenslotte wordt het aantal iteraties en van de laatste iteratie het percentage geconvergeerde roosterpunten gecontroleerd. Het aantal iteraties moet altijd 80 zijn (zo zijn de berekeningen opgesteld) en het streven is dat meer dan 99.5% van de natte roosterpunten geconvergeerd is. Indien dat percentage niet gehaald wordt, dan wordt dat gemeld in het tekstbestand.

4.2.2 Resultaten bulkchecks

De bulkchecks zijn goed verlopen. Er zijn geen onrechtmachtheden ontdekt, dat wil zeggen dat alle berekeningen binnen 270 minuten zijn uitgevoerd en de juiste bestanden hebben geproduceerd, dat er geen foutmeldingen in het PRT bestand staan en dat overal minimaal 99.5% van de roosterpunten geconvergeerd is.

Alleen code 3 is in werking getreden omdat een aantal berekeningen langer dan 270 minuten geduurde zou hebben. Achteraf bleek de berekening van de duur in al die gevallen onjuist vanwege het overgaan op zomertijd (de gesignaleerde berekeningen waren allemaal in de nacht van 25 op 26 maart 2017 uitgevoerd).

```
THIS FILE CONTAINS RESULTS OF THE PROCEDURAL CONTROL

3944 RUNS CHECKED

3944 runs contain all required SP1, SP2, TAB, and NC files
3944 runs have 0 errors in the PRINT file
3895 runs have a runtime less than 270.0 minutes
0 runs have less than 80 iterations and more than 10

3944 RUNS HAVE 80 ITERATIONS

3944 runs have greater than 99.5% convergence

49 RUNS FAILING PROCEDURAL CONTROL

Description of Failure Codes
1 - Runs do not contain all required SP1, SP2, TAB, and NC files
2 - Runs have errors in the PRINT file
3 - Runs have a runtime greater than 270.0 minutes
4 - Runs that have not converged (either iterations < 10, or iterations = 80 and less
than 99.5% converged)

Failed Runs
U30D045Lp02500a : 3
U30D045Lp15000a : 3
U30D045Lp12500a : 3
U30D045Lm00000a : 3
U30D045Lp05000a : 3
U30D045Lp10000a : 3
...
```

Figuur 4.1 Deel van 'BulkResOO.txt' met de resultaten van de procedurele controle van runs 'OO' (Oosterschelde rooster met open kering)

Als voorbeeld is in Figuur 4.1 een deel van het resultaatbestand opgenomen. Het aantal berekeningen dat op deze manier gecontroleerd is bedraagt 5624 voor het Oosterschelderooster (3944 'OO' + 1680 'OD') en 4104 (31 waterstanden * 80 winden vanuit het westen + 29 waterstanden * 56 winden vanuit het oosten) voor het Noordzeerooster.

4.3 Convergentiegedrag

Van elke SWAN-berekening op het Oosterschelderooster wordt voor 24 uitvoerlocaties (zie locaties OSPTEST in Figuur A.2.5a in Appendix A) het convergentieverloop van golfhoogte (blauwe lijn, linker y-as) en golfperiode (rode lijn, rechter y-as) geplot (golfrichting is niet beschouwd aangezien het convergentieverloop van deze parameter geen standaard uitvoer is). In de figuur is in tekst het verschil tussen de laatste en voorlaatste iteratie weergegeven,

zowel absoluut als relatief. Een voorbeeld is gegeven in Figuur A.3.2 in Appendix A. De zwarte lijn geeft op een schaal van 1 tot 100 het percentage geconvergeerde roosterpunten weer.

Het aantal figuren is te groot om allemaal te bekijken, maar geen van de steekproeven heeft aanleiding gegeven om sommen af te keuren vanwege gebrek aan convergentie. Over het algemeen variëren de golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_{m01} vrijwel niet meer na 80 iteraties. In enkele gevallen is de oplossing nog niet volledig stabiel maar dat gaat dan altijd om heel lage waarden die toch niet maatgevend zullen zijn.

5 Fysische Controles

5.1 Inleiding

Of de resultaten van de SWAN-berekeningen realistisch zijn, wordt gecontroleerd aan de hand van een aantal fysische controles. Een aantal controles betreft alle berekeningen. Door handige combinaties te maken kunnen veel gegevens tegelijk beschouwd worden en is het aantal figuren beperkt. Het gaat daarbij om:

- Scatterplots van diverse golfparameters t.p.v. de HR-locaties, (Sectie 5.3)
- Golftransmissie Oosterscheldekering (Sectie 5.4)
- Droogval (Sectie 5.5)

Daarnaast zijn er ook figuren die vanwege de grote hoeveelheden slechts steekproefsgewijs bekeken kunnen worden, hoewel wel alle figuren gemaakt zijn. Het gaat om figuren van:

- Golfspectra (Sectie 5.6)
- Ruimtelijke verdeling van diverse golfparameters (Sectie 5.7)

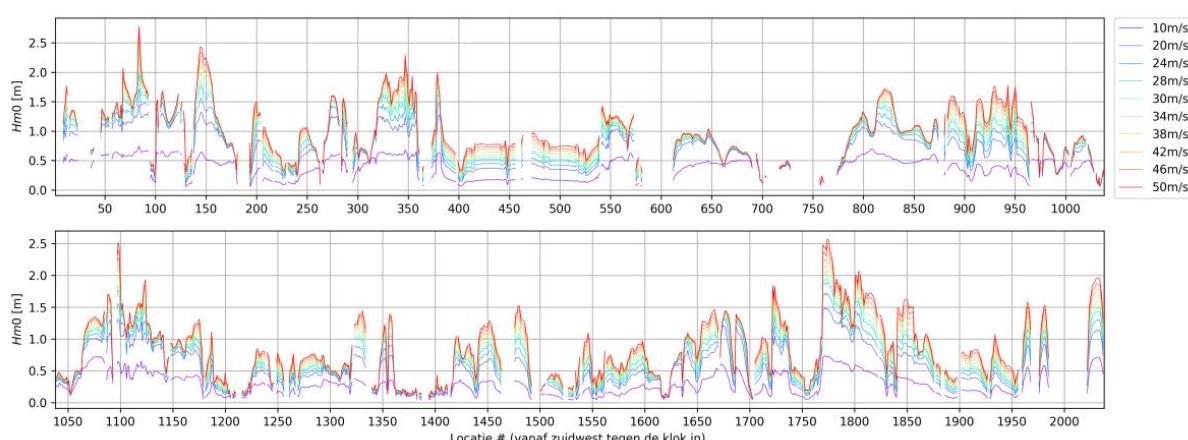
De consistentieplots zitten tussen beide groepen in omdat enerzijds de resultaten van veel runs en veel locaties handig gecombineerd worden, maar anderzijds het aantal figuren nog steeds groot is om allemaal stuk voor stuk te bekijken (932). Toch is dit wel gedaan. Het gaat om:

- Consistentie in golfhoogte en –periode voor windsnelheid t.p.v. de HR-locaties (zie Sectie 5.2)

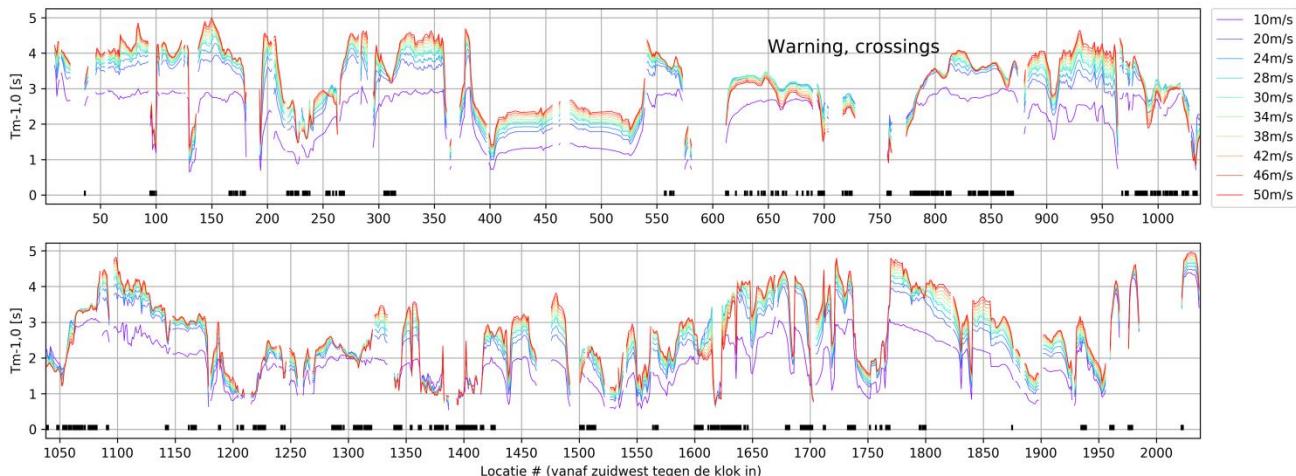
Overigens wordt niet zoals in bijvoorbeeld Deltares, 2016a voor RMM-WBI2017 wel werd gedaan, gecontroleerd of de golfparameters binnen harde grenzen liggen. Vanwege de grote variatie in windsnelheden, windrichtingen en waterstanden zouden de grenzen zo ruim gekozen moeten worden dat een dergelijke controle weinig zinvol is.

5.2 Consistentie

Voor de 2039 uitvoerlocaties langs de oevers van de Oosterschelde (set 1) zijn per windrichting en waterstand de golfhoogte en golfperiode $T_{m-1,0}$ geplott voor alle (7 bij oostenwind of 10 bij westenwind) beschouwde windsnelheden. Het betreft 932 figuren, waarvan er twee als voorbeeld zijn opgenomen, zie Figuur 5.1.



Figuur 5.1.a Voorbeeld windconsistentiefiguren $Hm0$ (D315Lp2000Oa_hs.png)



Figuur 5.1.b Voorbeeld windconsistentiefiguren $T_{m-1,0}$ (D315Lp2000Oa_tm.png)

In één oogopslag ziet men tussen welke waarden de golven variëren, of er locaties zijn zonder golven en of er logica in het verloop zit. In principe verwacht men hogere golfhoogte en -periode bij hogere windsnelheid, maar dat hoeft zeker niet altijd zo te zijn. Daar waar lijnen van gelijke windsnelheid elkaar snijden wordt dat weergegeven met een zwart balkje op de x-as en wordt een waarschuwing in de plot gegeven. Het snijden van de lijnen duidt er op dat hogere windsnelheid geen hogere golven geeft. Zeker bij sterke ruimtelijke variatie in golfparameters, - bijvoorbeeld door een gekromde kust - hoeft een toenemende wind niet per se tot hogere golven te leiden. Qua periode zal bij pure windzee sterkere wind in het algemeen wel tot hogere periodes leiden. Echter, indien het golfveld een combinatie van langere en kortere golven is zal sterkere wind het wind gerelateerde deel (hogere frequenties) meer gewicht geven, wat kan leiden tot lagere periodes. Snijdende lijnen van golfperiode hoeven dus niet op een onvolkomenheid te duiden.

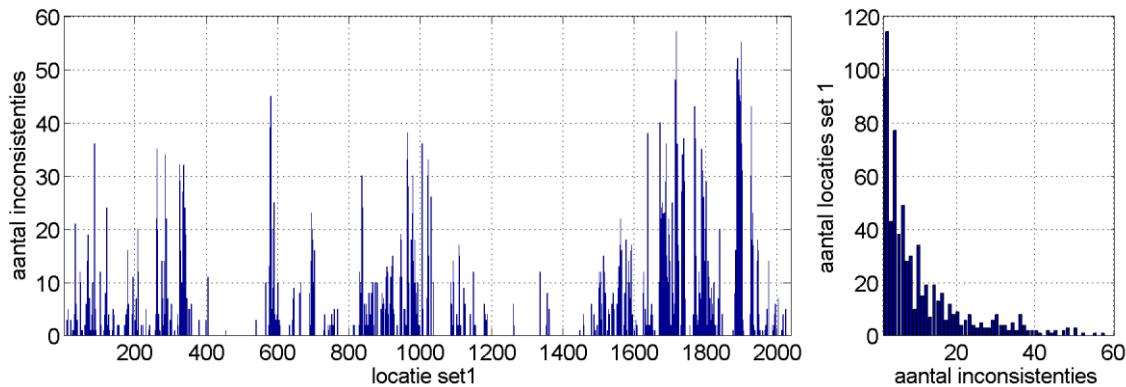
Voor de golfhoogte gelden de genoemde markeringen alleen voor golven groter dan of gelijk aan 0.5 m want daaronder treedt het vaak op zonder dat het onrealistisch is. Voor de perioden is geen drempelwaarde toegepast en de lijnen van gelijke windsnelheid snijden elkaar veel.

Van de 632 voorkomende combinaties van windrichting, waterstand en keringstoestand zijn er 30 combinaties zonder inconsistenties. De term inconsistentie wordt hier gebruikt om aan te geven dat op een locatie bij minimaal één windsnelheid een hogere windsnelheid leidt tot minder hoge golfhoogte, terwijl waterstand, golfrichting en keringssituatie niet veranderen. Het aantal van 'slechts' 30 combinaties zonder inconsistenties klinkt erger dan het is: Eén windrichting/waterstands combinatie bevat wel tien windsnelheden en daarvan zullen hoogstaarschijnlijk negen snelheden geen inconsistenties vertonen. Voorts zal het ook bij weinig locaties optreden, dus bij orde 2000 gaat het dan wel goed. Bovendien hoeft een inconsistentie niet verkeerd te zijn. Zeker bij sterke ruimtelijke variatie in golfparameters, - bijvoorbeeld door een gekromde kust - zal een toenemende wind niet per se tot hogere golven te leiden.

Het maximum aantal locaties met inconsistenties voor één combinatie bedraagt 45 (D113Lp400OO, D225Lp299OO, D225Lp300OO).

Figuur 5.2 geeft aan hoeveel golfhoogte inconsistenties de uitvoerlocaties van set 1 zoal hebben. Het maximaal mogelijke aantal inconsistenties is 632 (het aantal combinaties van

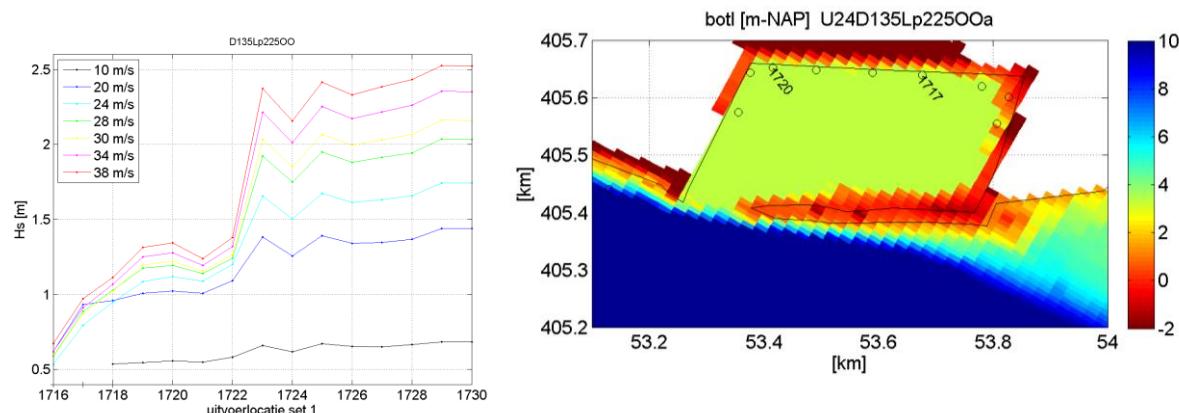
windrichting, waterstand en keringstoestand). De meeste locaties hebben er geen. Orde 100 locaties hebben met één inconsistentie te maken. Het aantal locaties neemt uiteraard af met toenemende aantal inconsistenties. Het maximum aantal inconsistenties voor één locatie is 57 (locatie 1717). Totaal zijn er van de 2039 locaties 746 locaties met één of meer inconsistenties.



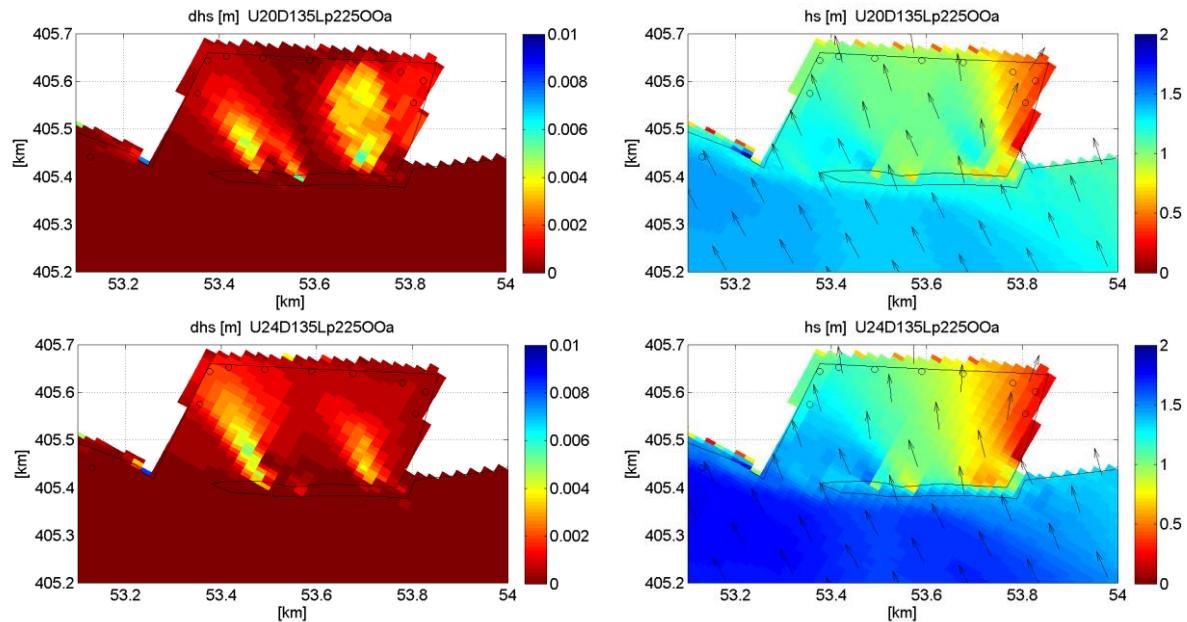
Figuur 5.2 (a) Aantal inconsistenties per Oosterschelde locatie en (b) aantal locaties met inconsistenties; totaal aantal combinaties (windrichting, waterstand, kering) is 632

Voor locatie 1717 bekijken we één van de inconsistentie nader, namelijk D135Lp225OOa. Een windsnelheid van 20 m/s geeft hier hogere golven dan 24 m/s. De locatie blijkt achter een havendam te liggen die geschematiseerd is in de bodemhoogte (op ongeveer NAP, zie Figuur 5.3). Buiten de haven zijn de golven bij 24 m/s groter dan bij 20 m/s. In de haven treedt lokaal het omgekeerde op, vooral in het westen en bij X=53.7 km, zie

Figuur 5.4. De havendam maakt het een complexe situatie. Het convergentiedrag geeft aan dat de oplossing bij 20 m/s iets minder stabiel is, maar dat kan niet het hele verschil verklaren. Vergelijken met de andere windsnelheden lijkt het bij 20 m/s wind om een overschatting van orde 0.2 m (circa 25%) te gaan. Het stuk voor stuk opsporen van dit soort onvolkomenheden is te arbeidsintensief, maar het is inzichtelijk om te zien waar de locaties met veel inconsistenties voorkomen (zie Figuur 5.5).

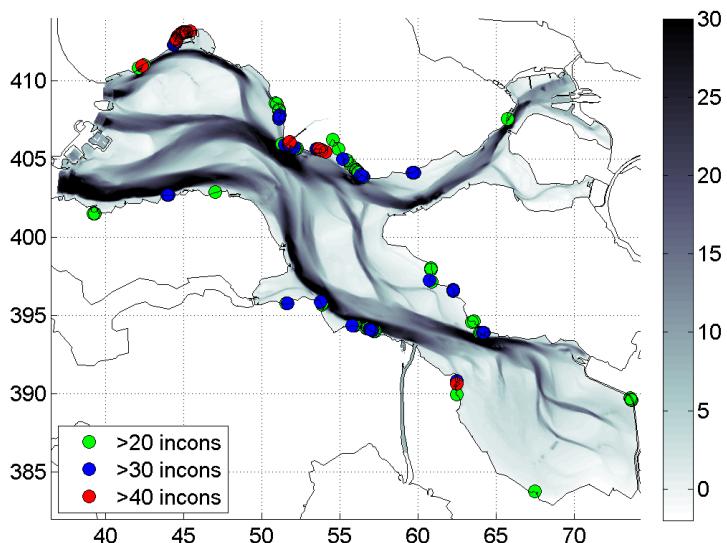


Figuur 5.3 Inconsistentie 'Haven de Val' ten oosten van Zierikzee, bij windrichting 135°; waterstand NAP+2.25 m.



Figuur 5.4 Ruimtelijke verdeling dHs en Hs nabij locatie 1717 (20 m/s wind geeft lokaal hogere golven dan 24 m/s)

Figuur 5.5 laat zien waar de locaties met meer dan 20, 30 en 40 inconsistenties liggen. De detailfiguren zijn te vinden in Figuur A.5.1 in Appendix A. Het blijkt dat de locaties met veel inconsistenties veelal op zeer ondiep water liggen of achter (haven)dammen, waar SWAN minder geschikt is. Het wordt sterk aangeraden om voor havens niet direct gebruik van SWAN te maken maar nader te onderzoeken of het wellicht nodig is om op basis van een uitvoerlocatie buiten de haven, de golven binnen in de haven te berekenen. Naast het snijden van de lijnen van gelijke windsnelheid zijn geen opvallende zaken aan het licht gekomen bij het bekijken van de inconsistentiefiguren.



Figuur 5.5 Ligging van locaties met meer dan 20, 30, 40 inconsistenties (voor detailgebieden, zie A5.1 in App. A)

Conclusie:

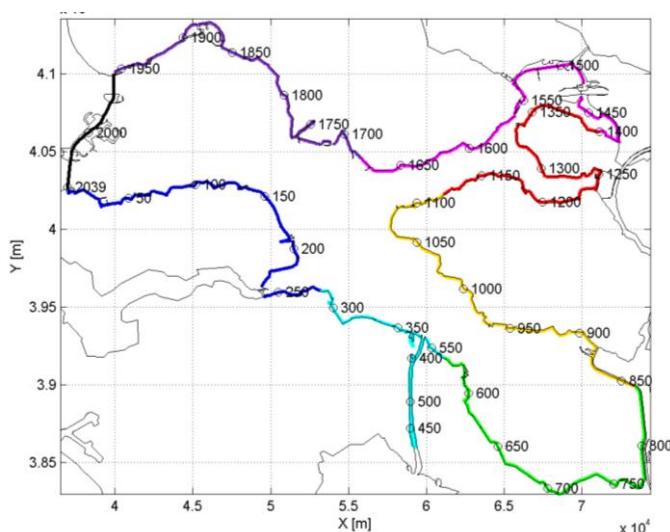
Over het geheel genomen zijn er weinig vreemde zaken. De resultaten zijn goed bruikbaar. Op grond van de consistentiechecks raden wij aan om voor havens niet direct gebruik van SWAN te maken maar nader te onderzoeken of het wellicht nodig is om op basis van een uitvoerlocatie buiten de haven, de golven binnen in de haven te berekenen.

5.3 Fysische golfkentallen

5.3.1 Inleiding

Fysische golfkentallen voor alle combinaties voor alle locaties worden beschouwd in scatterplots. Het grote voordeel van scatterplots is dat heel veel data tegelijk gepresenteerd kan worden. Wij gebruiken scatterplots om per windrichting een golfparameter te plotten als functie van golfhoogte, van golfperiode en van windsnelheid voor alle uitvoerlocaties, alle windsnelheden en alle waterstanden. De golfparameters betreffen golfsteilheid, golfhoogte/golfdiepte verhouding en golfperiode. De figuren bevatten afhankelijk van de golfrichting 413.917, 428.190 of 591.310 punten voor respectievelijk oostelijk met open kering (2039 locaties x 7 windsnelheden x 29 waterstanden), westelijk met gesloten kering (2039 locaties x 10 windsnelheden x 21 waterstanden) en westelijk met open kering (2039 locaties x 10 windsnelheden x 29 waterstanden). De locaties zijn met kleuren gegroepeerd, zie Figuur 5.6.

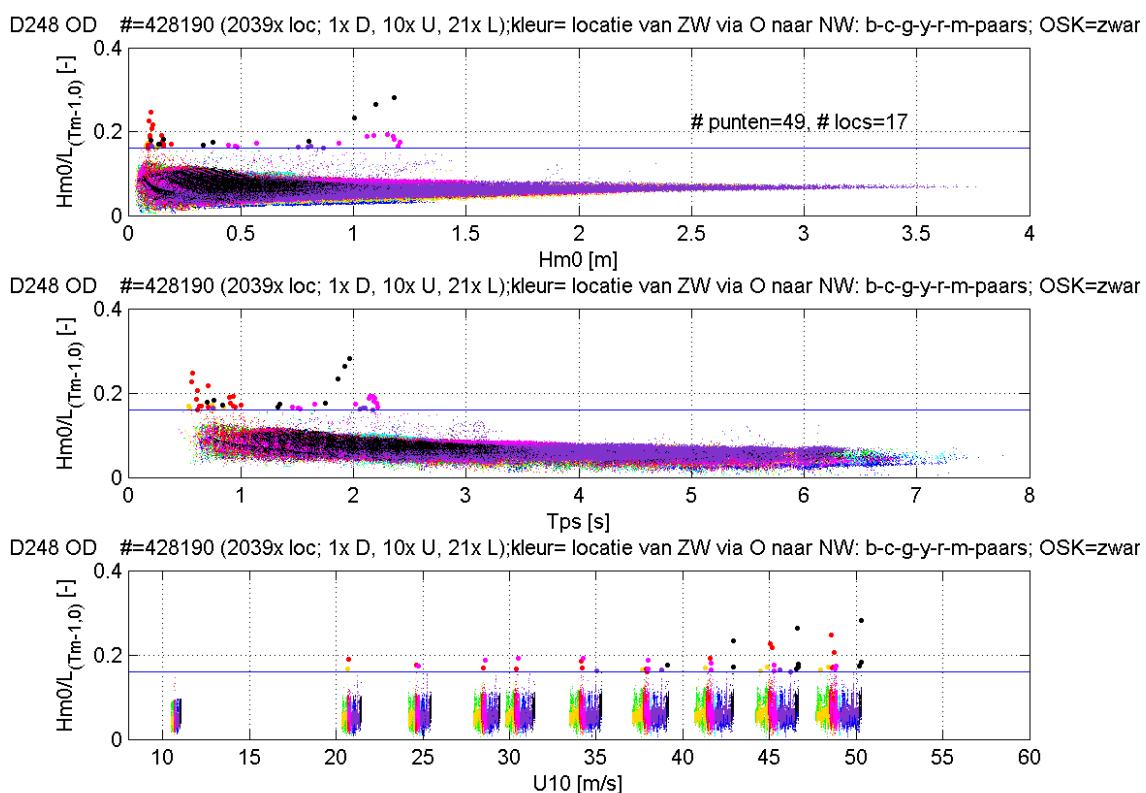
Er zijn 72 series scatterplots gemaakt en bekeken. Het gaat om 8 richtingen met dichte kering, 16 richtingen met open kering, en 3 verschillende golfparameters. Niet alle scatterplots zijn opgenomen in deze rapportage, maar als voorbeeld slechts één serie per golfparameter. Met een serie bedoelen we drie plots van een bepaalde golfparameter op de Y-as en op de X-as de golfhoogte H_{m0} , de golfperiode T_{ps} en de windsnelheid U_{10} .



Figuur 5.6 Ligging van de locaties per kleur zoals gehanteerd in de scatterplots

5.3.2 Golfsteilheid

De golfsteilheid wordt berekend als de significante golfhoogte gedeeld door de golflengte. De golflengte is, in navolging van de WTI2011 controles, berekend als de diepwater golflengte $L_{Tm-1,0} = (g/2\pi)T_{m-1,0}^2$ op basis van de periode $T_{m-1,0}$. Als signaalwaarde gebruiken we een maximale golfsteilheid van 0.16, consistent met Deltares, 2015. Deze waarde is voldoende klein om uitschieters te identificeren en voldoende groot om niet heel veel realisaties van de steilheid als overschrijdingen te markeren. Op basis van het Miche-criterium (Miche, 1951) voor regelmatige golven is de maximale steilheid op diep water 0.14.

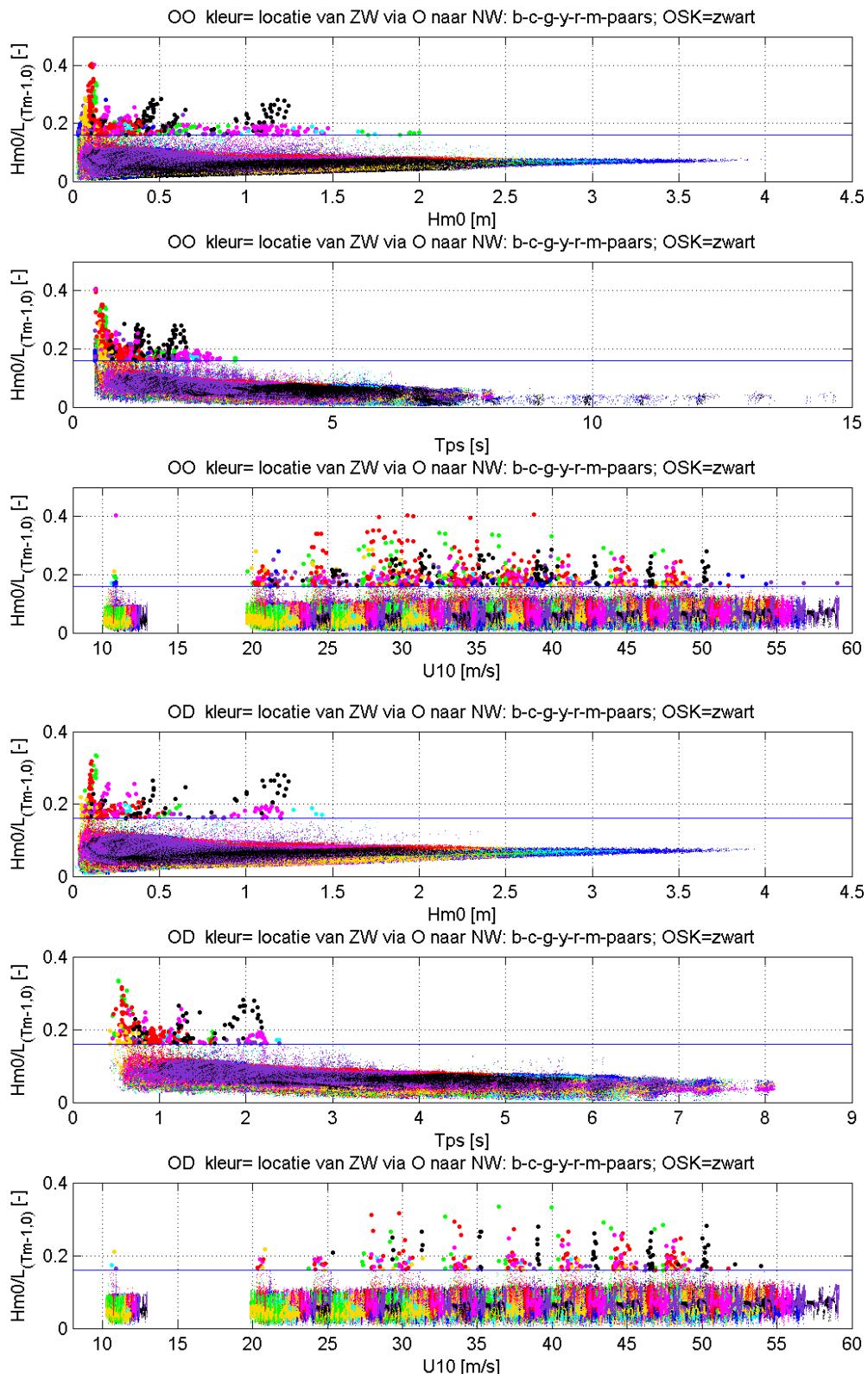


Figuur 5.7 Scatterplots golfsteilheid voor windrichting 247.5° met gesloten kering (D248OD)

Figuur 5.7 geeft een voorbeeld van de golfsteilheid scatterplots voor een windrichting van 247.5°. Het onderste paneel geeft aan dat de hoogste steilheden optreden bij windsnelheden tussen ongeveer 40 en 50 m/s. Overigens laten deze scatterplots zien dat er ruimtelijke variatie in de windsnelheid is met hogere snelheden voor de westelijke locaties dan voor de oostelijke locaties. Er blijken 49 (van de 428190) situaties te zijn bij deze windrichting waarbij de golfsteilheid meer is dan 0.16, op 17 verschillende locaties. Aan de kleuren is te zien dat die locaties vooral aan de noordzijde van de Oosterschelde liggen. Voorts is te zien dat hoge steilheid vooral optreedt bij de lagere golfhoogtes tot ongeveer 1.2 m (zie paneel 1) en bij lagere periodes (<2.5 s, zie paneel 2). De korte periodes duiden veelal op aflandige wind. Dit zijn dus niet heel belangrijke situaties. Ook is direct uit de scatterplots af te lezen dat de maximale periode niet boven de 8 seconde uitkomt, en de golfhoogte niet boven de 4 m, wat realistische waarden zijn. Wat wel opvalt is dat er meerdere lichtblauwe gevallen (dus op de zuid oever) zijn waarbij de $Tp > 7$ s, wat niet voor de hand ligt bij een min of meer aflandige wind uit 247.5°N. Dit wordt nader uitgewerkt in Sectie 5.8.

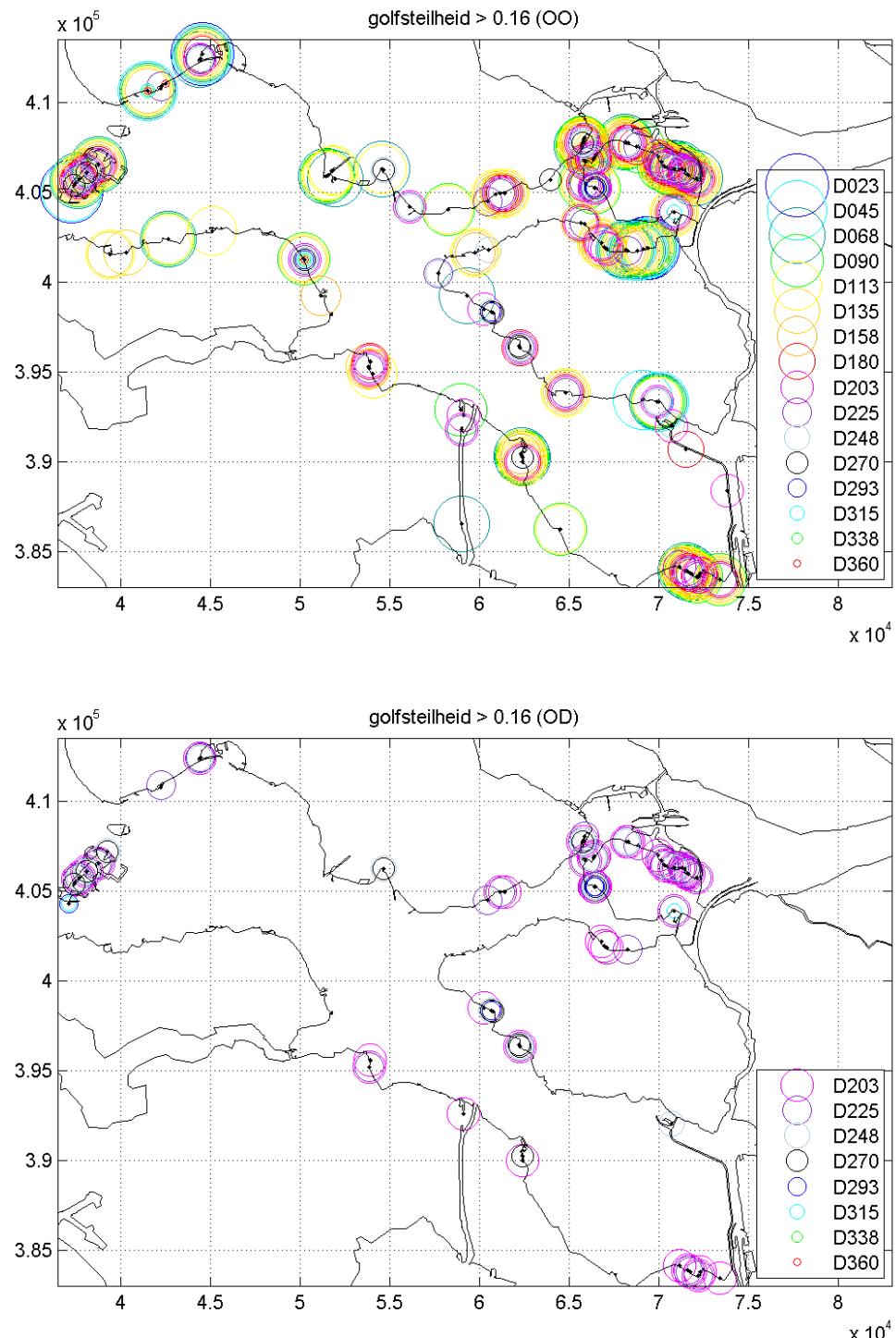
Een signaalwaarde van 0.16 is wellicht aan de hoge kant. Voor golven over een horizontale bodem gaan we vaak uit van maxima van ongeveer 0.06-0.07. Echter de uitvoerlocaties liggen lang niet allemaal op een horizontale bodem. Voor de hogere golfhoogtes, die naar alle waarschijnlijkheid meer maatgevend zijn dan de heel lage, zien we dat de golfsteilheden onder deze waarden blijven. Dat geeft vertrouwen.

Naast de figuren per windrichting zijn ook figuren gemaakt waarin alle windrichtingen gecombineerd zijn. Voor de situatie met open kering zijn er 935 gevallen waarbij de signaalwaarde voor de golfsteilheid wordt overschreden (0.01%).



Figuur 5.8 Scatterplots golfsteilheid voor alle windrichtingen bij open (boven) en gesloten (onder) kering

Figuur 5.9 laat per windrichting zien op welke locaties van set1 de golfsteilheid groter dan 0.16 is. De 'a' figuur betreft de open kering (OO), de 'b' figuur gesloten kering (OD). De locaties liggen redelijk verdeeld langs de oevers, met wat extra gewicht op de zuidelijke oevers nabij de Krammersluizen. De hogere steilheid treedt vooral op bij aflandige wind (korte strijklengetes) maar niet uitsluitend. Een lijst met locaties en windrichtingen is achterin opgenomen als Tabel 5.1.



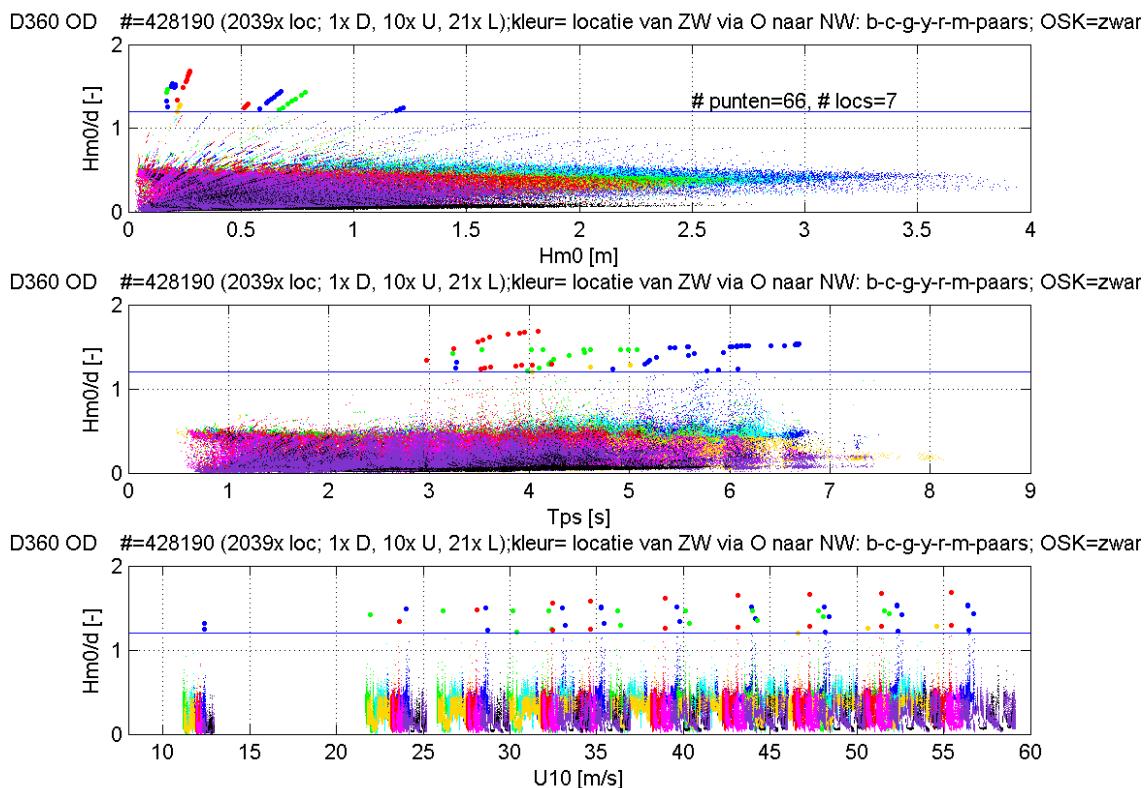
Figuur 5.9

Overzicht van alle set1-locaties waarbij de golfsteilheid bij een of meer van alle condities groter is dan 0.16, met open (boven) en gesloten (onder) kering

Het feit dat de steilheidoverschrijdingen optreden voor relatief kleine golfhoogten en perioden terwijl de windsnelheden wel groot zijn veronderstelt dat de steilheidoverschrijdingen optreden voor aflandige windrichtingen, die niet maatgevend zullen zijn. Daarom behouden we deze locaties wel in de dataset.

5.3.3 Verhouding golfhoogte waterdiepte

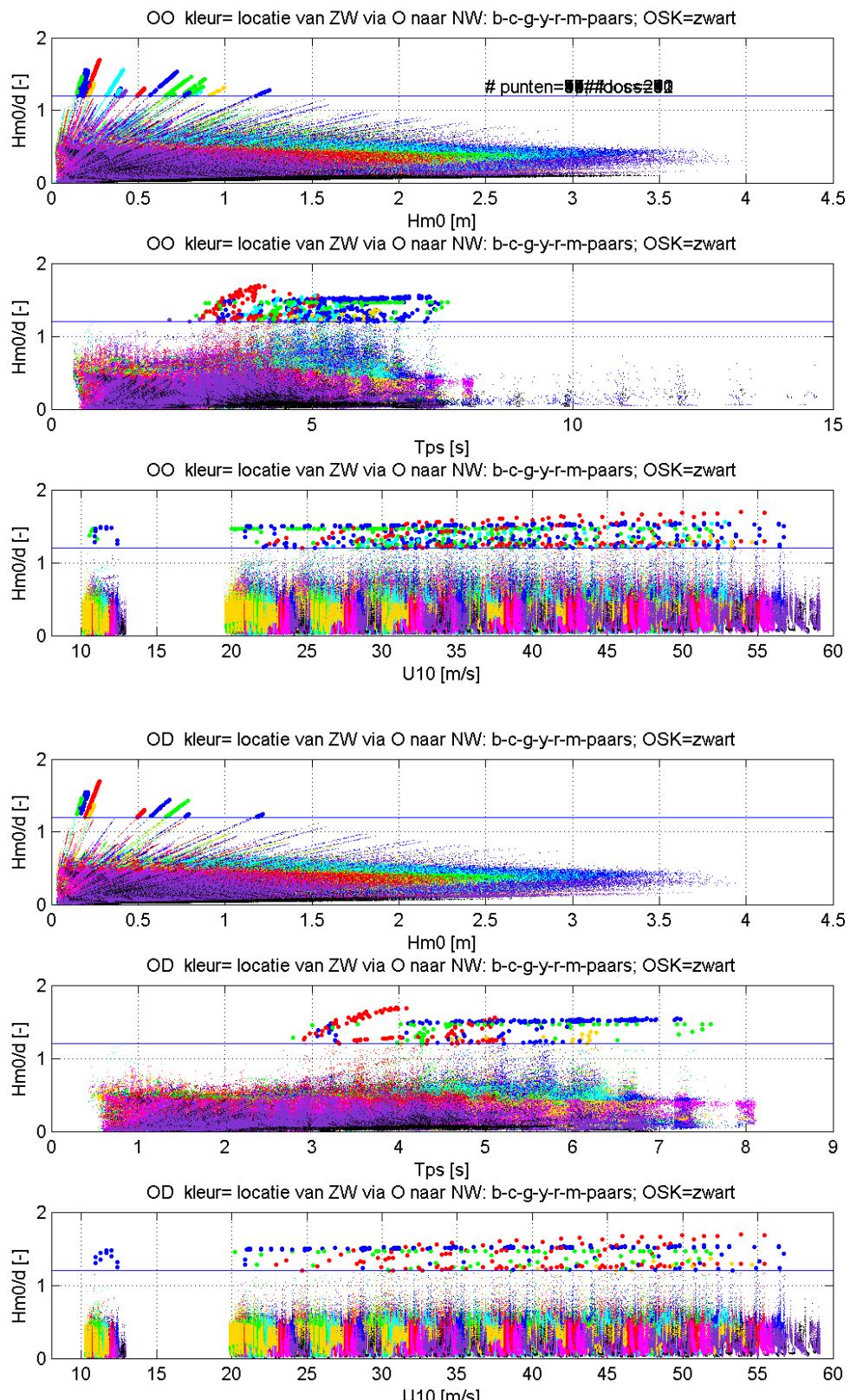
In navolging van de WTI2011 controles, hanteren we als signaalwaarde een waarde van 1.2 voor de maximale verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte, ook wel brekerparameter genoemd. Deze waarde is voldoende klein om uitschieters te identificeren en voldoende groot om niet heel veel realisaties van de H_{m0}/d verhouding als overschrijdingen te markeren. Op basis van het Miche-criterium (Miche, 1951) voor regelmatige golven is de maximale waarde voor de verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte 0.78 op ondiep water. Voor onregelmatige golven is de maximale verhouding minder duidelijk. De waarde hangt tevens af van bodemhelling en golfsteilheid. Salmon en Holthuijsen (2015) geven voor een horizontale bodem dat de maximale waarden 0.56-0.6 zijn. Op hellende bodems loopt dat op naar 1.4. Ook in Van der Westhuyzen (2010) zien we dat bij hellende bodem de gemeten waarden van H_{m0}/d boven 0.7 uit kunnen komen.



Figuur 5.10 Scatterplots verhouding golfhoogte/waterdiepte voor windrichting 360° met gesloten kering (D360OD)

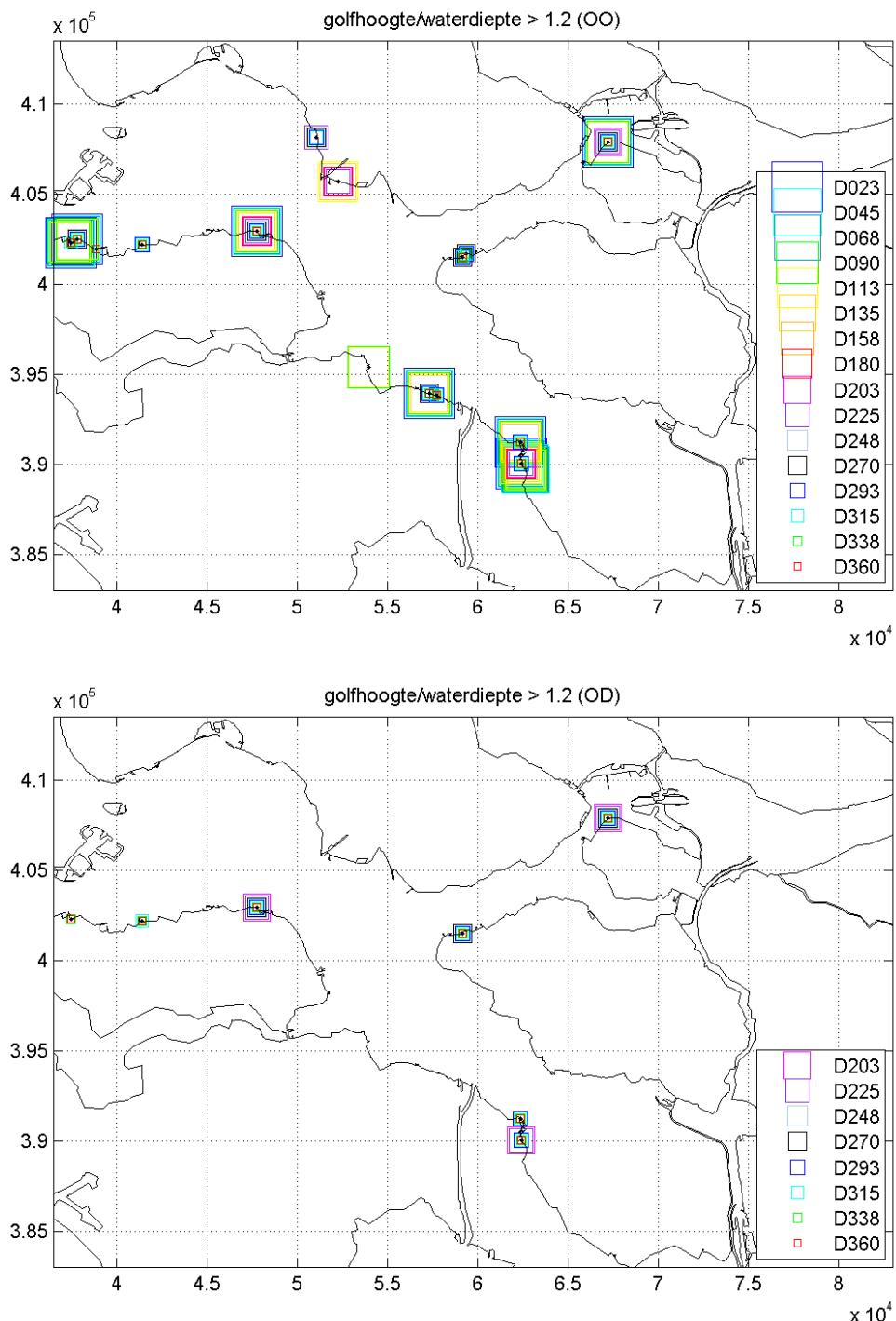
Figuur 5.10 geeft als voorbeeld voor windrichting 360° de verhouding van golfhoogte/waterdiepte voor alle situaties met gesloten kering en uitvoerlocaties van set 1. De hogere verhoudingen treden vooral op bij lagere golfhoogtes, hogere piekperiodes, bij alle windsnelheden en bij aanlandige wind (op de zuidelijke oevers bij 360° windrichting).

Een vergelijkbaar figuur waarin alle windrichtingen zijn gecombineerd is opgenomen als Figuur 5.11. Ook hier blijkt dat de hogere verhoudingen vooral optreden bij lagere golfhoogtes, bij periodes tussen 3 en 8 seconde en bij alle windsnelheden.

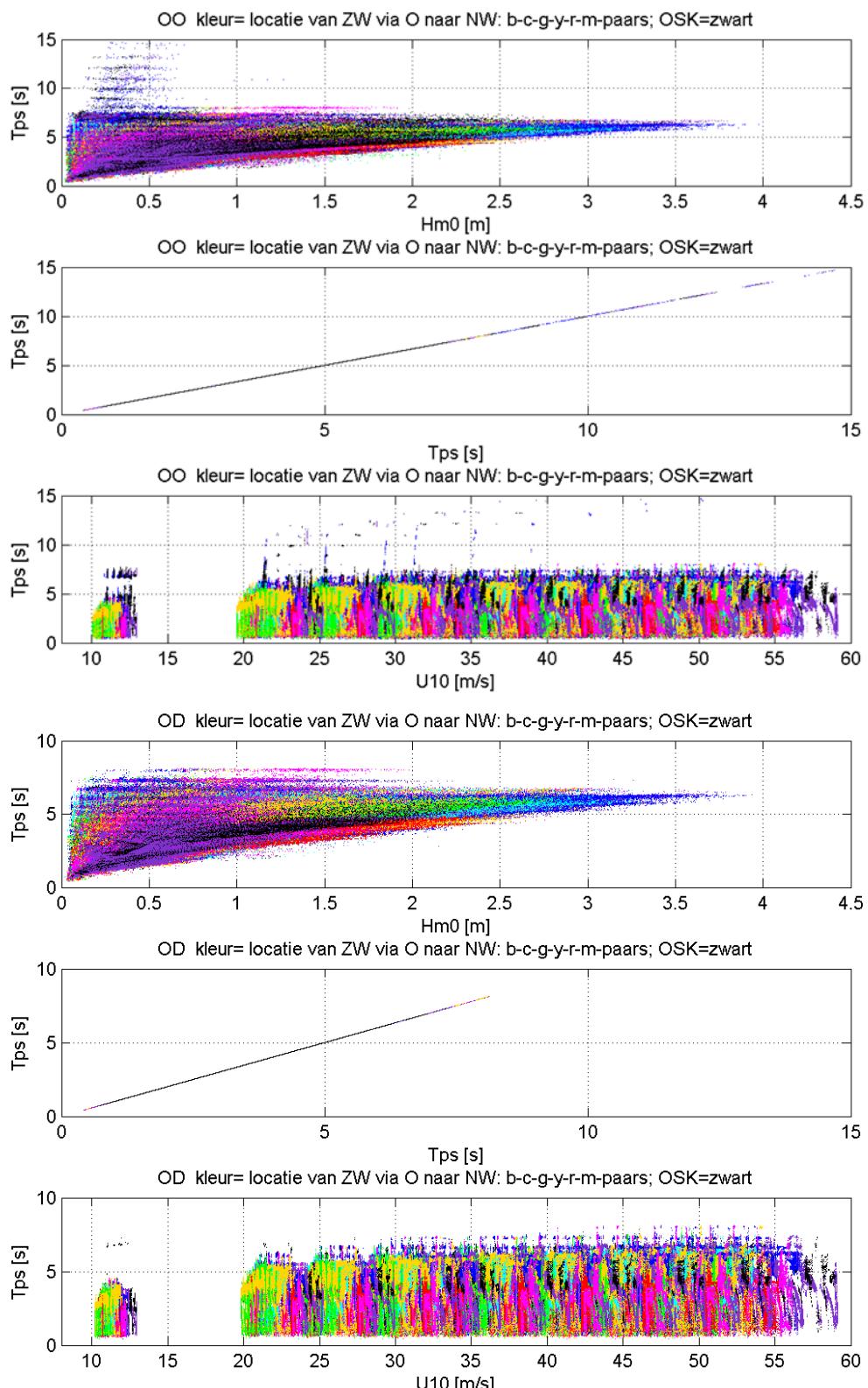


Figuur 5.11 Scatterplots verhouding golfhoogte/waterdiepte voor alle windrichtingen bij open (boven) en gesloten (onder) kering

In Figuur 5.12 is aangegeven waar de overschrijding van golfhoogte/waterdiepte voorkomen. De locaties liggen redelijk verdeeld langs de oevers. In Appendix B zijn tabellen opgenomen met de locaties (en bodemligging) en windrichtingen waarbij overschrijding van 1.2 optreedt. Het is niet zo dat alleen bij de ondiepste locaties de signaalwaarde van golfhoogte/waterdiepte wordt overschreden. Locaties met waarden van H_m/d groter dan 1.2 zullen worden verwijderd, zie Hoofdstuk 7.



Figuur 5.12 Overzicht van alle set1-locaties waarbij de golfhoogte/waterdiepte bij een of meer van alle condities groter is dan 1.2, met open (boven) en gesloten (onder) kering



Figuur 5.13 Scatterplots piekperiode voor alle windrichtingen bij open (boven) en gesloten (onder) kering

5.3.4 Piekperiode versus golfhoogte

De scatterplots van piekperiode versus golfhoogte en windsnelheid (zie Figuur 5.13) zijn ook een controlemiddel, om te zien welke waarden van T_{ps} voorkomen, en bij welke golfhoogtes. Alleen bij open kering is de piekperiode langer dan een seconde of acht. Dit treedt vanwege de transmissie alleen op in combinatie met lage golfhoogte. Deze golfoordringing treedt niet alleen bij de hoogste windsnelheden op.

5.3.5 Conclusies fysische golfkentallen

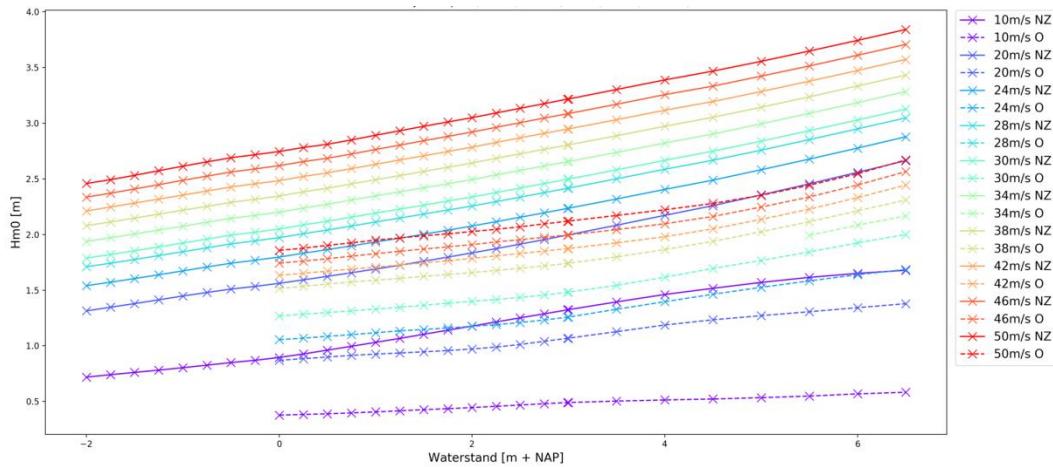
De scatterplots zijn een handig middel om voor alle berekeningen en alle uitvoerlocaties tegelijk een beeld van de (ruim 9 miljoen!) resultaten te krijgen. We zien geen extreme uitschieters, de waarden zijn over het algemeen redelijk, een enkele keer boven de signaalwaarde. Deze minder realistische waarden van golfsteilheid en H_{m0}/diepte verhouding treden op bij lage golfhoogtes, dus condities die niet maatgevend zullen zijn. Verder treedt het slechts lokaal op. Het is niet zo dat hele dijkvakken hier last van hebben. Ook maakt de controle duidelijk dat niet één bepaalde SWAN-berekening voor de hoge waarden zorgt, maar dat het hier en der bij verschillende windsnelheden en windrichtingen optreedt.

Op voorhand keuren we geen locaties af, maar sommige gevallen worden nader bekeken in Sectie 5.8.

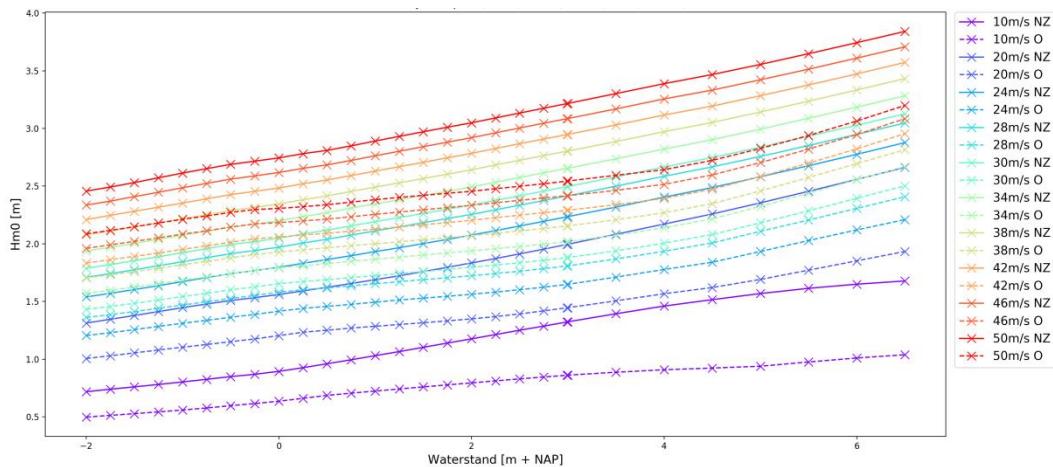
5.4 Golftransmissie

De twintig golftransmissiecontrolefiguren bestaan – per (tien) windrichting en (twee) keringssituatie - uit lijnen met golfhoogte versus waterstand voor alle windsnelheden apart. In één figuur staan de golfhoogtes van een locatie in de Roompot net aan de Noordzeekant (36828, 403066) en net aan de Oosterscheldekant van de OSK (37049, 403178), zodat duidelijk zichtbaar is of de golfhoogte afneemt door de OSK. Doordat alle waterstanden en windsnelheden tegelijk beschouwd worden, bevatten de figuren veel informatie. Zo is ook direct het effect van waterstand en windsnelheid op de golfhoogte te zien.

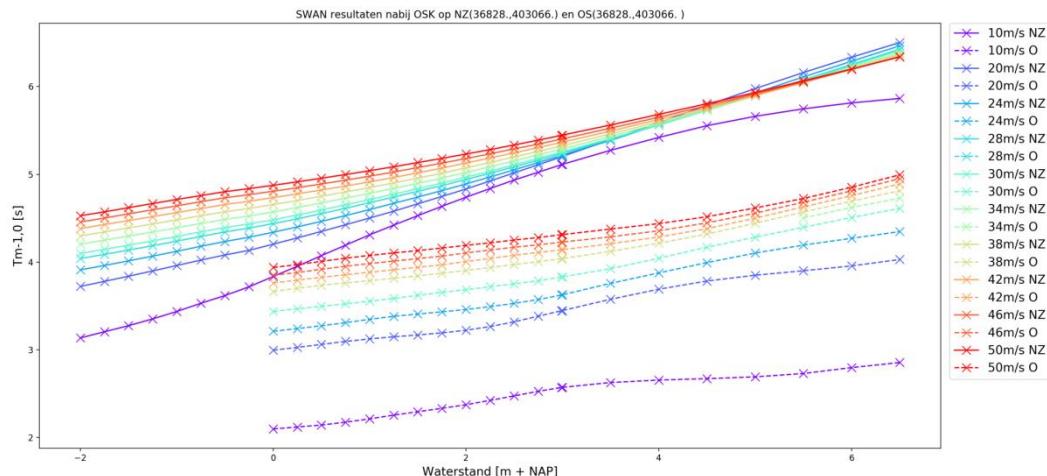
Figuur 5.14 en Figuur 5.15 laten de controle zien voor een windrichting van 360°. Zoals verwacht is bij gesloten kering de afname in golfhoogte sterker dan bij open kering. Geen van de figuren brengt uitschieters of opvallende zaken aan het licht. Naast deze twintig controlefiguren voor golfhoogte zijn er ook twintig voor de golfperiode T_{m-1,0} beschouwd. Als voorbeeld is Figuur 5.16 opgenomen (360° met gesloten kering). Qua transmissie ziet het er realistisch uit. Wat wel opvalt – en wat bij meerdere figuren van golfperiode te zien is - is dat bij de hogere waterstanden hogere wind niet resulteert in hogere golfperioden op de Noordzee, terwijl dat bij waterstanden onder ongeveer NAP+4 m wel zo is. Dit blijkt te komen doordat het golfveld een combinatie is van lokale windzee (> circa 0.1 Hz) die direct gekoppeld is aan de wind en langere golven van elders (< 0.1 Hz). De periode T_{m-1,0} is als een soort gemiddelde gebaseerd op beide soorten golven. Hoe sterker de wind(zee), hoe groter het aandeel van de golfenergie met hoge frequentie en dus hoe lager de totale T_{m-1,0} (maar wel met grotere H_{m0}).



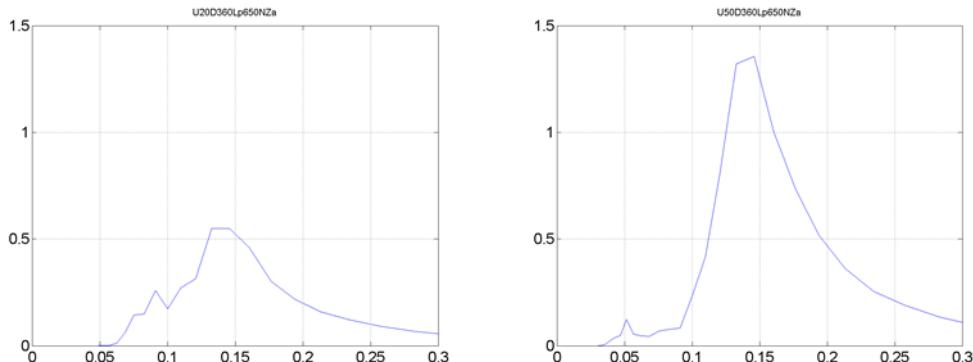
Figuur 5.14 Voorbeeld van transmissiecontrolefiguur (H_{m0}) voor windrichting 360° met gesloten kering (D360 OD)



Figuur 5.15 Voorbeeld van transmissiecontrolefiguur (H_{m0}) voor windrichting 360° met open kering (D360 OO)



Figuur 5.16 Voorbeeld van transmissiecontrolefiguur ($T_{m-1,0}$) voor windrichting 360° met gesloten kering (D360 OD)



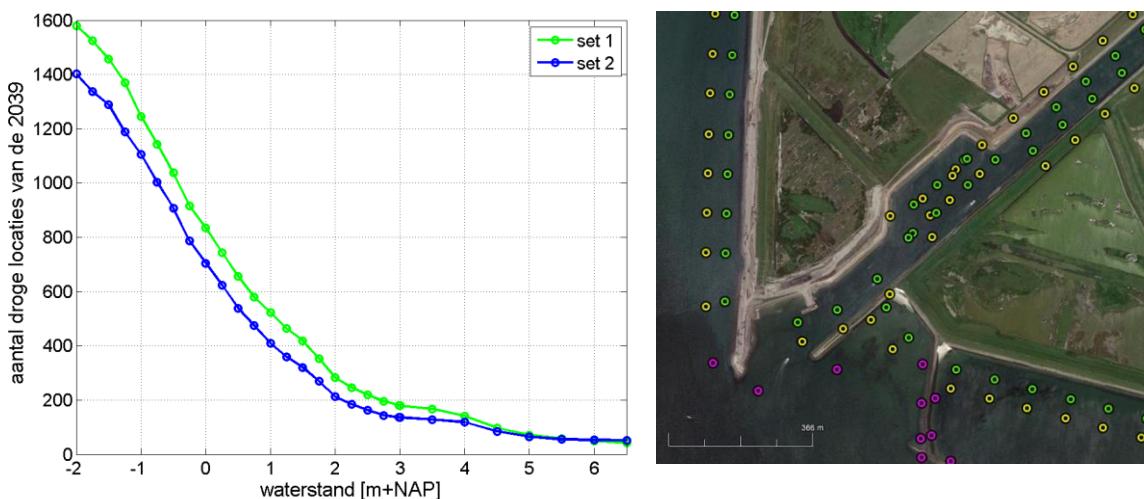
Figuur 5.17 Golfspectra ter plaatse van Noordzee locatie (36828, 403066) voor U20D360Lp650NZa (links) en U50D360Lp650NZa (rechts)

Conclusie:

De transmissiecontrole geeft geen aanleiding om berekeningen af te keuren.

5.5 Droogval

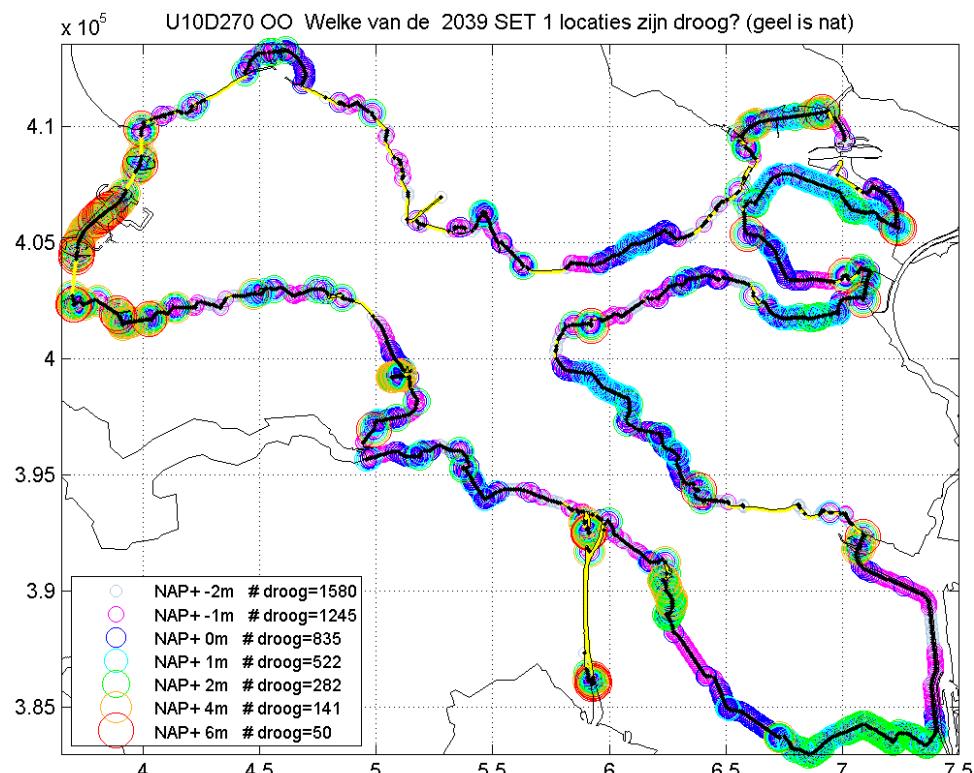
De uitvoerlocaties langs de oevers liggen op ongeveer 75 m van de kruinlijn (set 1), en 125 m van de kruinlijn (set 2). De bodemligging is daar op sommige plekken zo hoog dat bij lage waterstanden locaties droog kunnen liggen. Onderstaande figuur laat zien dat het aantal droge punten toeneemt bij afnemende waterstanden. Tegen de verwachting in geldt niet voor elke waterstand dat set 1 meer droge punten heeft dan set 2. De set 2-punten in het smalle Havenkanaal bij Zierikzee liggen op het land 'aan de overkant', terwijl de set1-punten wel in het water liggen. Bij de hoogste waterstand is dit de oorzaak dat set 2 meer droge punten bevat dan set 1.



Figuur 5.18 (a) Aantal droge punten set 1 en set 2 in SWAN berekeningen, afhankelijk van de waterstand en (b) ligging set 1 (groen) en set 2 (geel) in Havenkanaal bij Zierikzee.

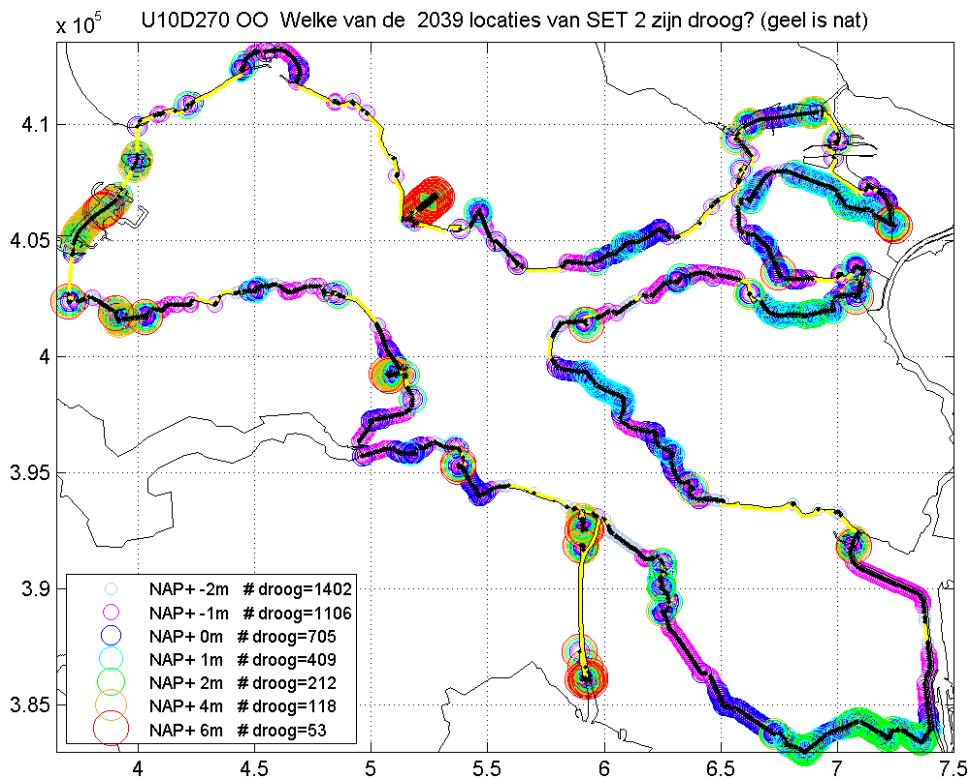
De droge locaties liggen redelijk verdeeld, zie Figuur 5.19 en Figuur 5.20. Omdat de golfberekeningen met uniforme waterstanden zijn uitgevoerd hangt de droogval alleen van ligging en waterstand af. Windsnelheid of -richting hebben geen invloed.

Bij het vullen van de database zullen locaties die bij waterstanden boven NAP+1.5 m droog zijn, niet meegenomen worden.



Figuur 5.19

Overzicht droogval per waterstand; set 1 (x -coördinaat $\times 10^4$). De kleuren geven aan bij welke waterstand (en lagere waterstanden) de locatie droog is. De kleine gele puntjes zijn locaties die altijd nat zijn.



Figuur 5.20 Overzicht droogval per waterstand; set 2 (x -coördinaat $\times 10^4$)

5.6 Golfspectra

De SWAN berekeningen zijn zo opgezet dat na elke berekening automatisch voor achttien vaste locaties (waarvan zes op de Noordzee) de golfspectra worden geplot in drie figuren. Dit levert 16.352 figuren die niet allemaal bekijken kunnen worden maar wel beschikbaar zijn indien nodig. Steekproefsgewijs is een aantal bekijken, vooral om te zien of het frequentiebereik en resolutie voldoende is. Er zijn geen onrechtmatigheden aan het licht gekomen. Een voorbeeld van golfspectra is opgenomen in Figuur A.3.1 in Appendix A.

5.7 Ruimtelijke velden

Van elke SWAN berekening zijn direct na de berekening voor de vier parameters H_{m0} (golfhoogte), $T_{m-1,0}$ (golfperiode), dH (verschil in golfhoogte tussen laatste en voorlaatste iteratie) en dT (verschil in golfperiode T_{m01} tussen laatste en voorlaatste iteratie) figuren van de ruimtelijke velden gemaakt. Er zijn zowel 'globale' als 'lokale' figuren gemaakt. Eerstgenoemde beslaan hetzij de hele Oosterschelde of een deel van het Noordzeerooster. Voor laatstgenoemden is de oever van de Oosterschelde opgedeeld in 26 detailgebieden. Vooral deze detailgebieden nemen met elkaar zeer veel opslagruimte in (585416 bestanden, 200 GB)

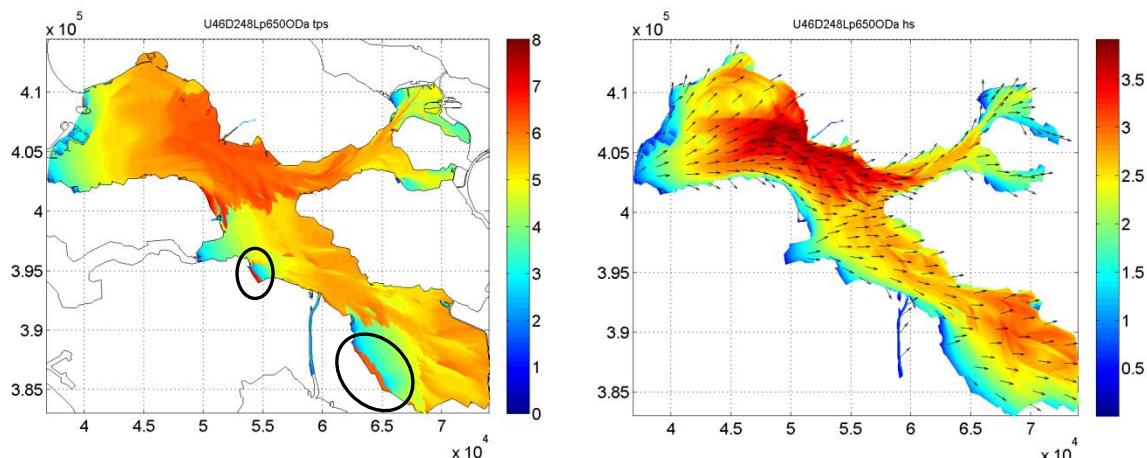
De hoeveelheid figuren is te groot om stuk voor stuk te bekijken, maar als zich vreemde zaken voordoen, dan kunnen de figuren geraadpleegd worden. Steekproefsgewijs is een aantal bekijken, en daarbij zijn geen opvallende zaken aan het licht gekomen.

Naast de figuren zijn van alle berekeningen ook uitvoerbestanden opgeslagen waarmee specifieke ruimtelijke figuren gemaakt kunnen worden indien nodig.

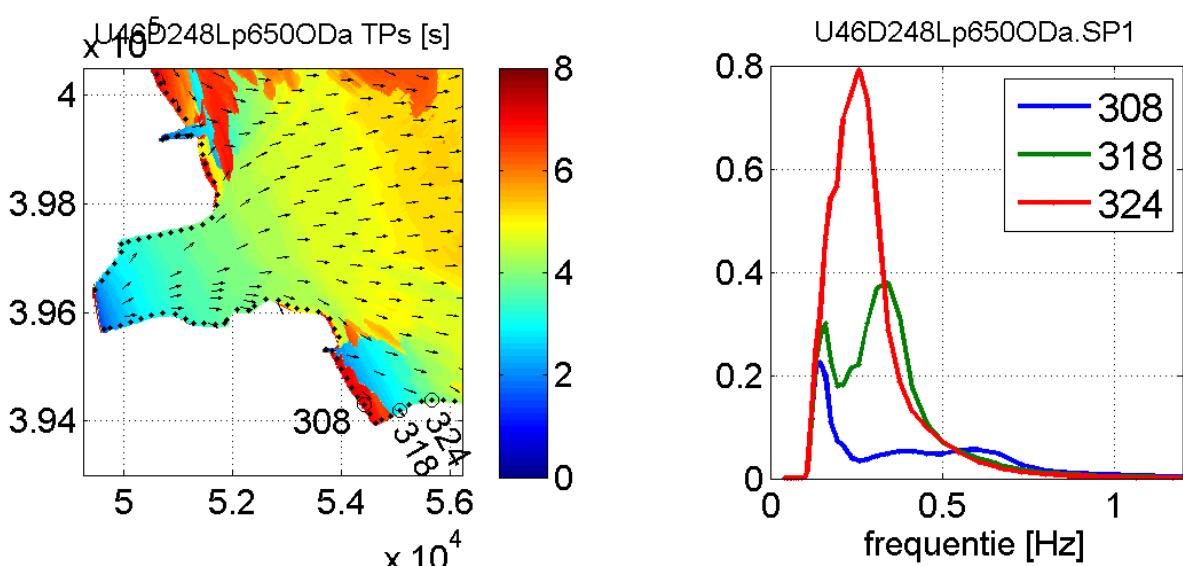
5.8 Specifieke controle

Voor alle uitvoerlocaties zijn ook de spectrale bestanden opgeslagen zodat voor een specifieke situatie en locatie het spectrum geplot en bekijken kan worden. In Sectie 0 werd al genoemd dat er hoge piekperioden (7-8 s) voorkomen op de zuidoever bij een windrichting van 247.5°N. Dit vraagt om nadere inspectie omdat bij aflandige wind lagere perioden verwacht worden. Naast ruimtelijke velden kunnen golfspectra daarbij ook tot nut zijn.

Het blijkt dat vooral run U46D248Lp650ODa hoge piekperiodes oplevert langs de aflandige oevers, terwijl de golfhoogte (en de $T_{m-1,0}$, niet weergegeven) geen vreemde patronen vertoont, zie onderstaande figuren.



Figuur 5.21 Ruimtelijke velden U46D248Lp650ODa van piekperiode T_{ps} [s] (links) en golfhoogte H_{mo} [m] (rechts)



Figuur 5.22: links: detail piekperiode T_{ps} ; rechts: golfspectra op locaties 308, 318, 324 (set 1)

Inzoomend op locatie 308 (Figuur 5.22), zien we dat de strook met hogere perioden vanuit het noorden komt. Zo dicht aan de kust is de lokaal opgewekte energie erg gering en het kleine plukje energie dat vanuit het noorden via richtingsspreiding locatie 308 bereikt zorgt

voor een hoge piekperiode. Iets verder naar het oosten (locaties 318, 324) komt weliswaar ook energie met lange periodes vanuit het noorden aan, maar die hoeveelheid is minder dan de energie die bij hogere frequenties hoort, zie de spectra in Figuur 5.22.

Conclusie: De hoge piekperiodes die bij aflandige wind soms optreden zijn niet verkeerd, maar worden veroorzaakt door energie die elders is opgewekt. Overigens is in deze situaties de hoeveelheid energie die bij deze periodes hoort, gering en de richting kustlangs.

5.9 Conclusie fysische controle

Alle SWAN-berekeningen zijn goed verlopen. De resultaten bevatten weinig vreemde uitschieters. Wel blijkt dat in havens en achter golfbrekers de resultaten soms minder betrouwbaar zijn. Daarom wordt aangeraden om die resultaten niet op te nemen in de Hydradatabase.

Bij hogere windsnelheden treden soms lagere golfperiodes op dan bij lagere windsnelheden. Dit is niet vreemd omdat hardere wind meer (hoog frequente en dus gerelateerd aan kortere periodes) windgroeï veroorzaakt die dominant kan worden over een klein beetje laag frequente energie dat een langere golfperiode geeft.

De minder realistische waarden van golfsteilheid en H_{m0} /diepte verhouding treden op bij lage golfhoogtes, dus condities die niet maatgevend zullen zijn. Verder treedt het slechts lokaal op. Het is niet zo dat hele dijkvakken hier last van hebben. Ook maakt de controle duidelijk dat niet één bepaalde SWAN-berekening voor de hoge waarden zorgt, maar dat het her en der bij verschillende windsnelheden en windrichtingen optreedt. De locaties met waarden van H_{m0} /diepte boven 1.2 worden niet opgenomen in de dataset. De locaties met hoge steilheden worden gehandhaafd, zie ook Hoofdstuk 7.

De ligging van de uitvoerlocaties nabij de teen van de dijk zorgt er voor dat een aanzienlijk deel droog komt te liggen bij lage waterstanden. Dit betekent dat de golfaanval dan 'nul' is.

6 Golven in kanalen

6.1 Inleiding

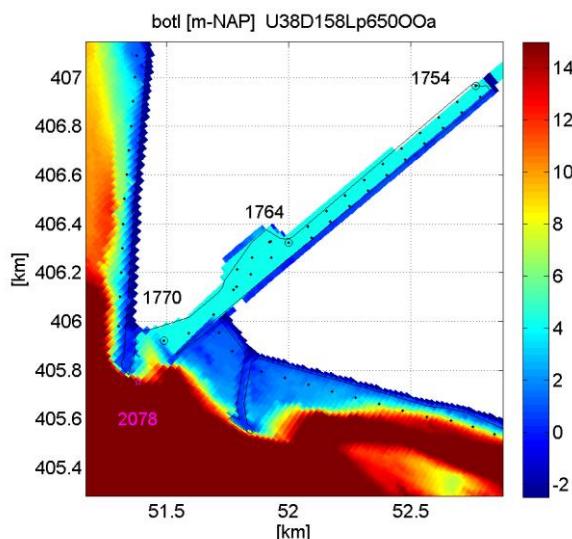
Het Havenkanaal bij Zierikzee en het Kanaal door Zuid Beveland (tussen Wemeldinge en Hansweert) zijn twee kanalen aan de Oosterschelde die mogelijk te smal zijn om goed te modelleren met de huidige schematisaties van WAQUA en SWAN. Toch zijn langs de oevers van deze kanalen wel hydraulische randvoorwaarden nodig want de dijken daar zijn primaire waterkeringen.

Dit hoofdstuk geeft aan hoe op een pragmatische manier golfresultaten voor deze gebieden afgeleid kunnen worden.

6.2 Havenkanaal Zierikzee

Het Havenkanaal heeft in de breedte slechts vier roostercellen, waarvan de buitenste twee voor het grootste deel op het land liggen. Toch beschouwen we hier de resultaten van de SWAN-berekeningen. De resultaten in het Havenkanaal van Zierikzee zijn grafisch weergegeven in Figuur A.6.1 in Appendix A. Voor alle windsnelheden en voor zes windrichtingen (157.5° N, 180° N, 202.5° N, 225° N, 247.5° N, 270° N) zijn de golftoppen (a figuur) en golfperiodes (b figuur) geplot bij een waterstand van NAP+6.5 m, +3.0 m en +0.0 m. Er zijn vier locaties beschouwd, namelijk locatie 2078 uit set 3, ter plaatse van de westelijke havendam, locatie 1770 (set 1) net binnen de havendammen, locatie 1764 (set 1) ongeveer halverwege het kanaal, en locatie 1754 (set 1) nabij de sluis in het noorden.

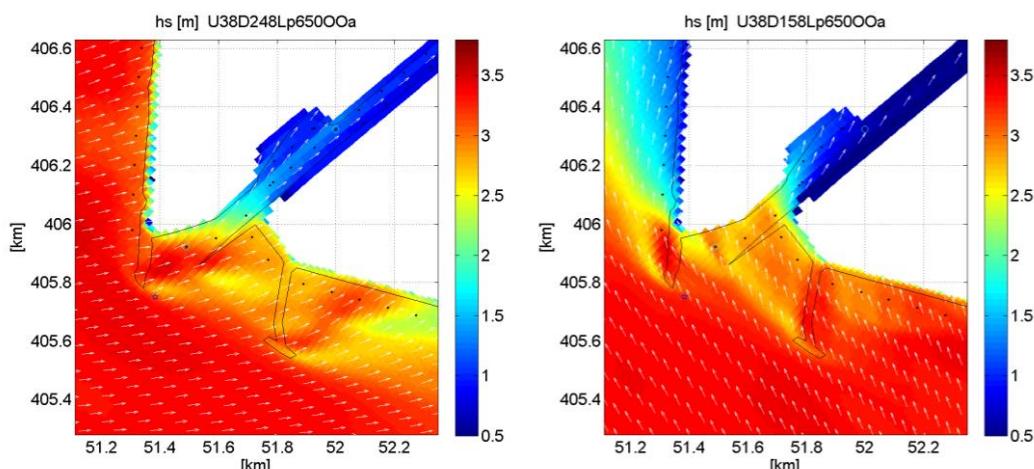
De bodemligging en de vier locaties zijn weergegeven in onderstaande figuur. De havendammen zijn deels in de bodemschematisatie opgenomen, niet met obstakels. Overigens zijn de havendammen volgens het AHN aanzienlijk hoger dan via de Baseline bodemschematisatie tot uitdrukking komt. Lokaal overschatten we daardoor mogelijk de golven. Verder in het Havenkanaal zijn de golven lokaal windgedreven en is de nauwkeurigheid van de hoogte van de havendammen niet van belang.



Figuur 6.1 Schematisatie Havenkanaal Zierikzee

De figuren tonen duidelijk de afname in golfhoogte hoe noordelijker men op het Kanaal komt. De extreinen bedragen meer dan 3 m bij de monding tot ongeveer 1 m in het noorden. De waterstanden hebben veel effect bij de twee middelste locaties. In het noorden (onderste paneel) is de windrichting belangrijker dan de waterstand.

Voor de twee noordelijkste van de beschouwde locaties (1764 en 1754) levert een windrichting van 247.5°N de hoogste golven, gevolgd door 225°N en 270°N. De richtingen 157.5°N en 180°N spelen nauwelijks een rol. Echter, voor de twee zuidelijke locaties is 157.5°N voor de meeste waterstanden en windsnelheden juist belangrijker dan 225°N en 247.5°N. Dit komt door de lange striklenge bij 157.5°N en de oriëntatie van de havendammen, zie ook Figuur 6.2. De bodemschematisatie heeft hier ook veel effect op de golfparameters.



Figuur 6.2 Golfhoogte nabij en in Havenkanaal Zierikzee bij 248° en 158° (blauwe sterretje is loc 2078, set 3)

Voor een nauwkeurige berekening van de golven in het Havenkanaal wordt een nettere bodemschematisatie aangeraden en een hogere resolutie. Afhankelijk van de status van de havendammen moeten die wel of niet meegenomen worden in de modelschematisatie. Indien de havendammen standzeker zijn, moet overwogen worden om een diffractiemodel te gebruiken, met de resultaten van locatie 2078 uit set 3 als randvoorwaarden.

In de detailadviezen die destijds voor het Projectbureau Zeeweringen zijn opgesteld zijn onderstaande waarden gevonden (ook met SWAN, zie Svašek Hydraulics/RHDHV, 2012) bij een waterstand van NAP+3 m. Een vergelijking van deze getallen (de exacte windsnelheden en windrichtingen zijn niet bekend) met de huidige resultaten levert grofweg dezelfde orde van grootte:

- Waterschap:
 - vak 5: NAP+3 m Hs=2.12 m
 - vak 4: NAP+3 m Hs=1.26 m
 - vak 2: NAP+3 m Hs=0.90 m
- Resultaten huidige SWAN berekeningen:
 - locatie 1770, NAP+3 m, 38 m/s: Hs ≈ 2.2 m
 - locatie 1764, NAP+3 m, 38 m/s: Hs ≈ 1.0 m
 - locatie 1754, NAP+3 m, 38 m/s: Hs ≈ 0.7 m

Ter informatie volgt hier de tekst uit een detailadvies dat voor Projectbureau Zeeweringen is opgesteld. Voor PBZ zijn de hydraulische randvoorwaarden voor het Havenkanaal bepaald, zie het 'detailadvies' Svašek Hydraulics/Royal HaskoningDHV, 2012. In dat rapport wordt verwezen naar Royal Haskoning, 2006.

Voor dijkvak 156b ligt een nol (Kurkenol genaamd); de nol schermt dijkvak 156a en 156b (gedeeltelijk) af van golven bij westenwind en voorkomt dat de vooroever bij dijkvak 156b sterk erodeert. De nol is echter niet gedimensioneerd op een maatgevende storm en wordt bij een maatgevende storm als 'verloren' beschouwd. Bij het bepalen van de golfcondities voor dijkvak 156a en 156b (gedeeltelijk) wordt dus de afschermende werking van de nol niet in rekening gebracht.

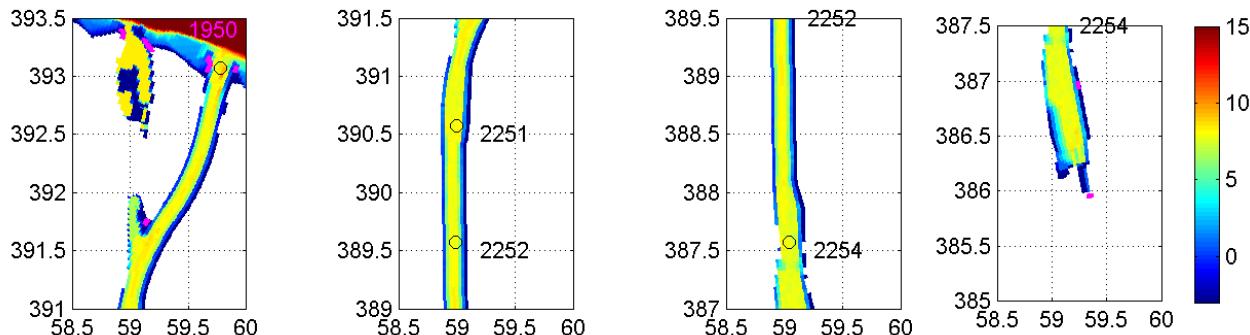
Op het punt waar het Havenkanaal over gaat in de Oosterschelde liggen twee strekdammen; één ten westen en één ten oosten van het Havenkanaal (zie figuur 1). De westelijke strekdam ('t Hoofd genaamd) schermt het Havenkanaal af van westenwind. Deze strekdam zal gedimensioneerd worden op stormcondities met een kans van voorkomen van eens per 4000 jaar. De afschermende werking van de strekdam kan daarom in rekening worden gebracht bij het bepalen van de golfcondities in het Havenkanaal [ref. 17]. De oostelijke strekdam schermt het Havenkanaal af van golven bij zuidenwind. De oostelijke strekdam, minder zwaar uitgevoerd dan de westelijke strekdam, is niet gedimensioneerd op de 1/4000ste storm en wordt tijdens deze maatgevende storm dus als 'verloren' beschouwd. De afschermende werking van deze strekdam wordt dus niet in rekening gebracht.



Figuur 6.3 Ligging dijkvakken uit detailadviezen Svašek Hydraulics/Royal HaskoningDHV, 2012.

6.3 Kanaal door Zuid-Beveland

Het Kanaal door Zuid-Beveland is ongeveer 7 km lang en heeft in de breedte slechts acht roostercellen. Toch beschouwen we hier de resultaten van de SWAN-berekeningen. De resultaten in het kanaal zijn weergegeven in Figuur A.6.2 in Appendix A. Voor alle windsnelheden en voor zes windrichtingen (292.5°N , 315°N , 337.5°N , 360°N , 22.5°N , 45°N) zijn de golfhoogtes (a figuur) en golfperiodes (b figuur) geplot bij een waterstand van NAP+6.5 m, +3.0 m en +0.0 m. Er zijn vier locaties uit set 3 beschouwd, de eerste in de monding (1950), de laatste ruim 5.5 km zuidelijk (2254), en locaties 2251 en 2252 daar tussenin.



Figuur 6.4 Bodemligging Kanaal door Zuid-Beveland en vier beschouwde locaties uit set 3. in roze obstakels

De bodemligging en de vier locaties zijn weergegeven in Figuur 6.4. De havendammen zijn deels in de bodemschematisatie opgenomen, maar ook – via Baseline - met obstakels. In het kanaal zelf zijn drie kleine stukjes (2 of 3 roosterscellen) met obstakels ($X=59150, Y=391750$ en $X=59250, Y=386950$ en $X=59350, Y=385950$)

Bij de locatie in de monding geven de hoogste waterstanden de hoogste golven. De windrichting is minder van belang. Bij de overige locaties verder het kanaal op bepaalt juist vooral de windrichting de golfhoogte. Voor de golfperiode geldt hetzelfde, zie Figuur A.6.2.a en b in Appendix A. De hoogste en langste golven treden op bij windrichtingen van 360° N en 22.5° N. De golfhoogte in de monding is bij de hoogste waterstand en windsnelheid ongeveer 2.6 m, en de spectrale periode 5 s. De overige drie locaties verschillen weinig van elkaar en hebben maximale waarden van ongeveer 1 m H_{m0} en 2.7 s voor $T_{m-1,0}$.

Voor het kanaal door Zuid-Beveland zijn voor het Projectbureau Zeeweringen geen randvoorwaarden bepaald omdat de bekleding bestaat uit breuksteen die niet recent is ontworpen.

6.4 Conclusies

De modelschematisatie van de SWAN-berekeningen op de Oosterschelde is niet optimaal voor de twee aanwezige kanalen (Havenkanaal Zierikzee en het Kanaal door Zuid-Beveland nabij Hansweert). Vooral het Havenkanaal heeft weinig roostercellen in de breedte, zodat ruimtelijke variatie in de breedte niet goed kan worden weergegeven. De manier waarop de havendammen zijn geschematiseerd is niet consistent en komt niet goed overeen met het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Bovendien gaat SWAN vaak niet goed om met diffractie.

Toch zijn de modelresultaten van de SWAN-berekeningen niet onrealistisch. Bij de monding heeft de waterstand meer effect op de golven dan de windrichting. Verder op de kanalen is de windrichting meer van belang. Met andere woorden, we concluderen dat de met SWAN berekende golfcondities kwalitatief in orde zijn, maar niet zonder meer betrouwbaar.

Om de betrouwbaarheid te verhogen wordt aangeraden om voor de kanalen detailberekeningen uit te voeren (hogere resolutie, mogelijk ook inclusief diffractie) en meer aandacht te schenken aan het schematiseren van de (haven)dammen. Als slechts een grove benadering voldoende is, dan moet eerst nagegaan worden welke locaties geschikte modelresultaten geven, en kunnen vervolgens direct de SWAN resultaten in Hydra-NL gebruikt worden.

7 Dataset t.b.v. Hydra-NL

7.1 Inleiding

Voor het probabilistische model Hydra-NL is een database nodig waarin per locatie de resultaten van de WAQUA- en de SWAN berekeningen gecombineerd worden. Als één van de twee modellen onrealistisch waarden (o.b.v. de fysische controles) geeft voor een locatie dan wordt die locatie niet opgenomen in de dataset. Wel zoeken we dan naar nabijgelegen realistische resultaten, bijvoorbeeld door set 2 of set 3 te beschouwen. De term dataset heeft betrekking op de locaties, de database bevat daarnaast ook de berekeningsresultaten.

Als een locatie op basis van de WAQUA-resultaten wordt afgekeurd dan is daar geen extra controle van de SWAN-resultaten meer nodig. Omdat met dezelfde uitvoerlocaties is gewerkt en dezelfde bodemschematisaties zou men verwachten dat de waterdieptes ook gelijk zijn. Dat is niet per se het geval omdat het rekenrooster in de SWAN berekeningen in beide richtingen een factor vier verdicht is.

In eerste instanties zijn op basis van de WAQUA resultaten zoveel mogelijk locaties uit set 1 geselecteerd die geschikte waterstandsresultaten gaven. Waar set 1 niet geschikt was, is gekozen voor set 2 of set 3 (HKV, 2017). Vervolgens is de lijst naast de SWAN resultaten gelegd. Locaties die bij waterstanden van NAP+1.5 m of hoger golfresultaten gaven, zijn behouden voor de dataset. Locaties waarbij dat niet het geval was zijn zo mogelijk vervangen door de bijbehorende set 2 locatie of een nabijgelegen set 3 locatie. Locaties die in de SWAN schematisatie net onhandig lagen bijvoorbeeld op of achter een golfbreker, zijn verwijderd uit de dataset. Ook de locaties die in havens liggen waar de SWAN resultaten minder betrouwbaar bleken, zijn niet in de dataset opgenomen.

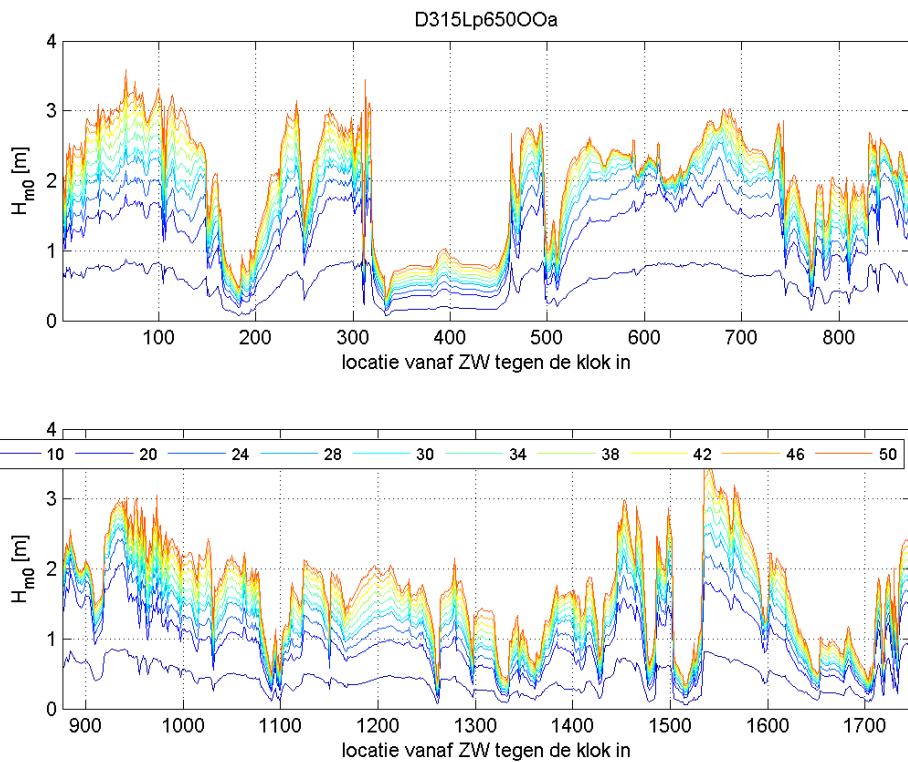
Uiteindelijk bevat de dataset 1748 locaties, waarvan 1442 uit set 1 komen, 109 uit set 2 en 197 uit set 3. Voor Hydra-NL worden alleen de resultaten met open kering beschouwd omdat het vooralsnog niet mogelijk is om meerdere keringsituaties te beschouwen.

In dit hoofdstuk wordt een aantal controles (consistentie, fysische golfkentallen en droogval) uit Hoofdstuk 5 herhaald met de opgeschoonde dataset.

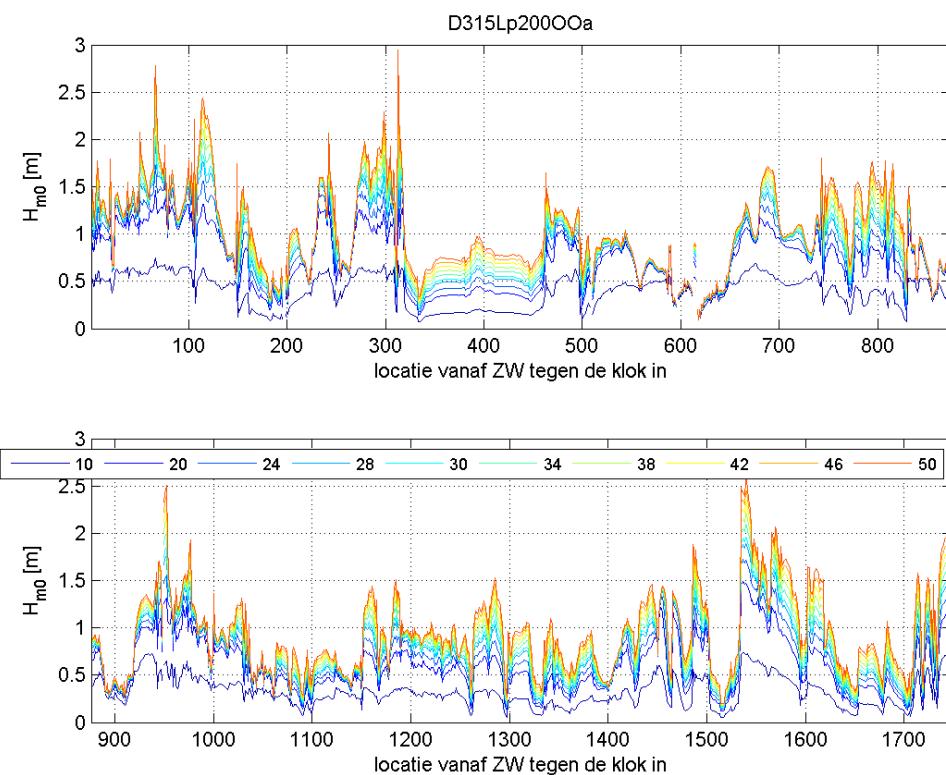
7.2 Consistentieplots

Zoals uitgelegd in Sectie 5.2, zijn ook voor de 'opgeschoonde' set van 1748 locaties consistentiefiguren gemaakt. Bij hoge waterstanden zijn de lijnen volledig, zie Figuur 7.1 . Bij lagere waterstanden zijn er toch locaties droog zodat daar geen golven worden berekend (Figuur 7.2). Dit treedt in enkele gevallen zelfs op bij waterstanden boven de NAP+1.5 m. Dit was weliswaar de drempel, maar als er geen goed alternatief voor handen was, is in sommige gevallen zo'n locatie toch meegenomen. Bovendien zijn de locaties uit set 3 niet op droogval geselecteerd. Dat verklaart dat er toch nog gaten kunnen voorkomen. Bij droogval bedraagt de golfhoogte en golfperiode 0.

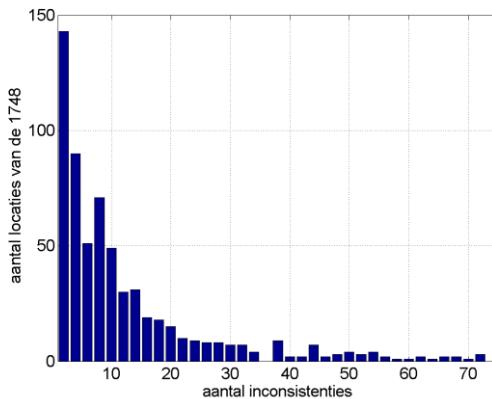
Ondanks dat 'lastige' locaties niet aanwezig zijn in de opgeschoonde dataset, is het aantal inconsistenties vergelijkbaar met die van set 1, zie Hoofdstuk 5 (Figuur 7.3). Het betreft echter minder dan 1% van de gevallen en een inconsistentie hoeft niet verkeerd te zijn.



Figuur 7.1 Consistentie check bij hoge waterstand (NAP+6.5 m). Kleuren geven windsnelheid [m/s] aan.



Figuur 7.2 Consistentie check bij lagere waterstand (NAP+2.0 m). Kleuren geven windsnelheid [m/s] aan.

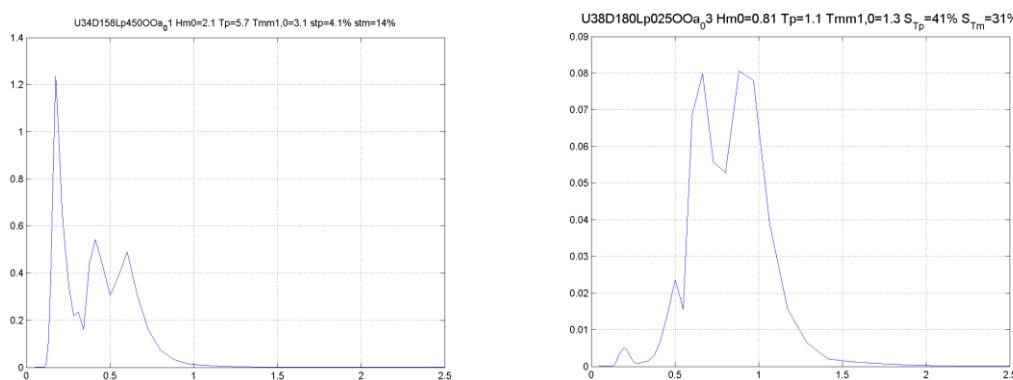


Figuur 7.3 Aantal inconsistenties in opgeschoonde dataset van 1748 locaties

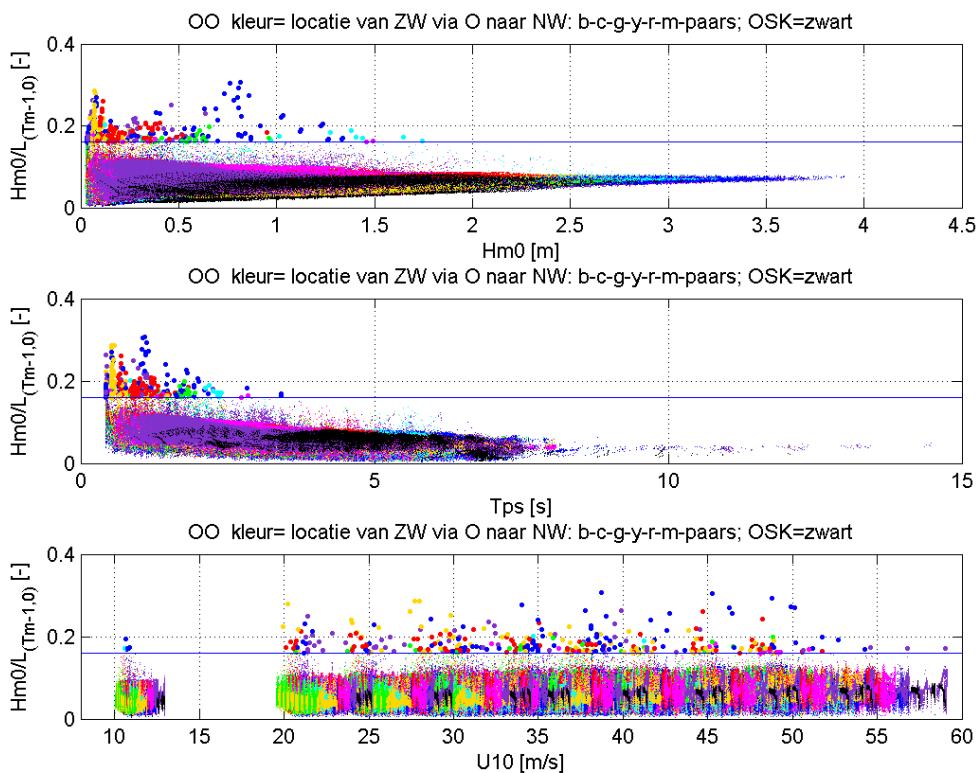
7.3 Fysische golfkentallen

7.3.1 Golfsteilheid

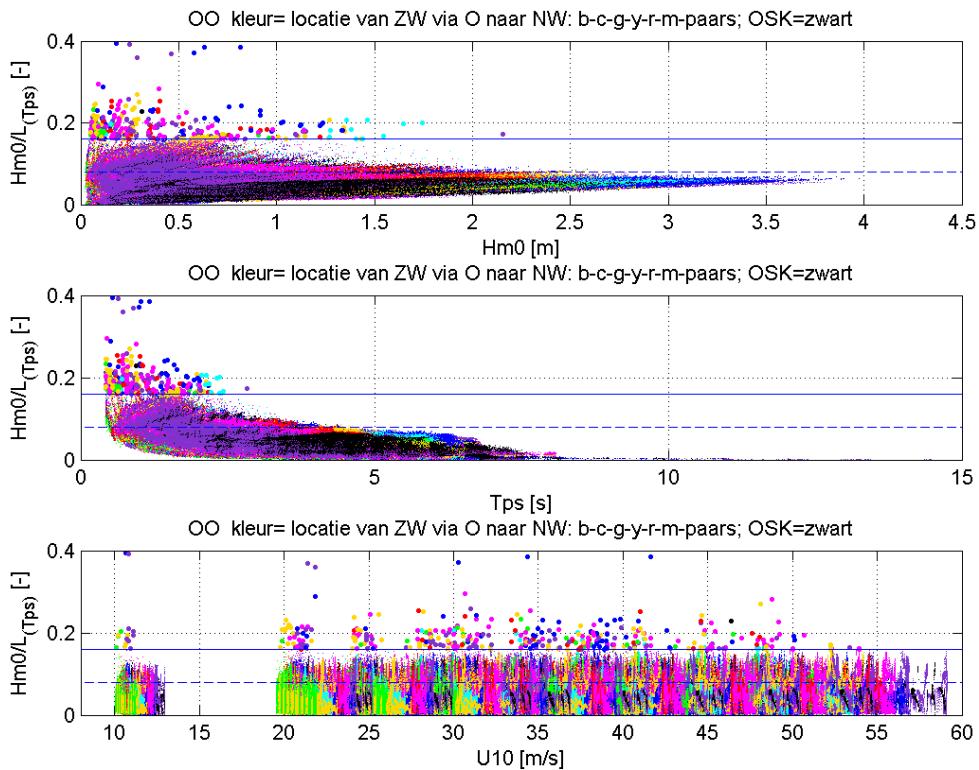
Ook in de opgeschoonde dataset zitten locaties waar de golfsteilheid boven de drempelwaarde van 0.16 uitkomt, maar vooral bij lage periodes. Toch zien we bij golfperiodes van boven de 5 s wel golfsteilheden van meer dan 8% wat aan de hoge kant is (zie Figuur 7.5). Voor een aantal van deze gevallen zijn de spectra bekeken en dit blijken tweetoppige spectra te zijn waarbij de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ veel kleiner is dan de T_{ps} ($T_{ps}/T_{m-1,0}$ veelal boven 1.5 ipv de 'standaard' 1.1), zie Figuur 7.4 (links). Hierdoor is de golfsteilheid gebaseerd op $T_{m-1,0}$ veel hoger dan een golfsteilheid gebaseerd op T_{ps} . Het omgekeerde komt ook voor, dat de T_{ps} kleiner is dan $T_{m-1,0}$. Bij meertoppige spectra blijft het discutabel welke hoogte en periodemaat te beschouwen om de golfsteilheid te berekenen. De scatterplots van golfsteilheid o.b.v. T_{ps} zijn ook opgenomen in dit hoofdstuk Figuur 7.6.



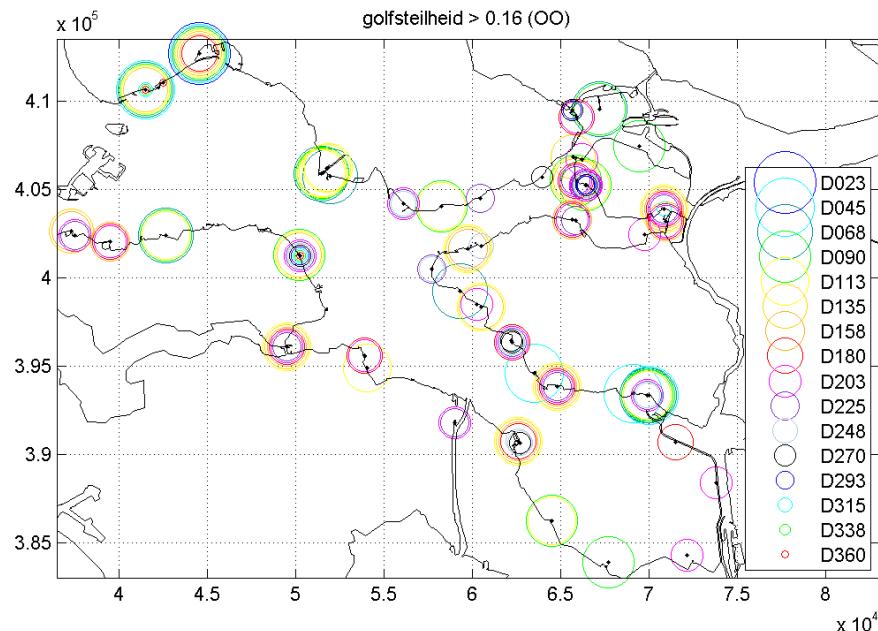
Figuur 7.4 links: spectrum U34D158Lp450OOa; locatie x=53906; y=395625 ($Hm0=2.1$ m, $Tps=5.7$ s, $Tm-1,0=3.1$ s; steilheid $STp=4.1\%$, steilheid $STm-1,0=14\%$)
rechts: spectrum U38D180Lp025OOa; locatie x=39513; y=402074 (dus afstandige wind); ($Hm0=0.81$ m, $Tps=1.1$ s, $Tm-1,0=1.3$ s; steilheid $STp=41\%$, steilheid $STm-1,0=31\%$)



Figuur 7.5 Scatterplots golfsteilheid o.b.v. $T_{m-1,0}$ bij open kering voor de opgeschoonde dataset (horizontale lijn geeft steilheid=16% aan)



Figuur 7.6 Scatterplots golfsteilheid o.b.v. T_{ps} bij open kering voor de opgeschoonde dataset (horizontale lijnen geven steilheid=16% resp 8% aan)



Figuur 7.7 Locaties van de opgeschoonde dataset met golfsteilheid (o.b.v. $T_{m-1,0}$) hoger dan 16%

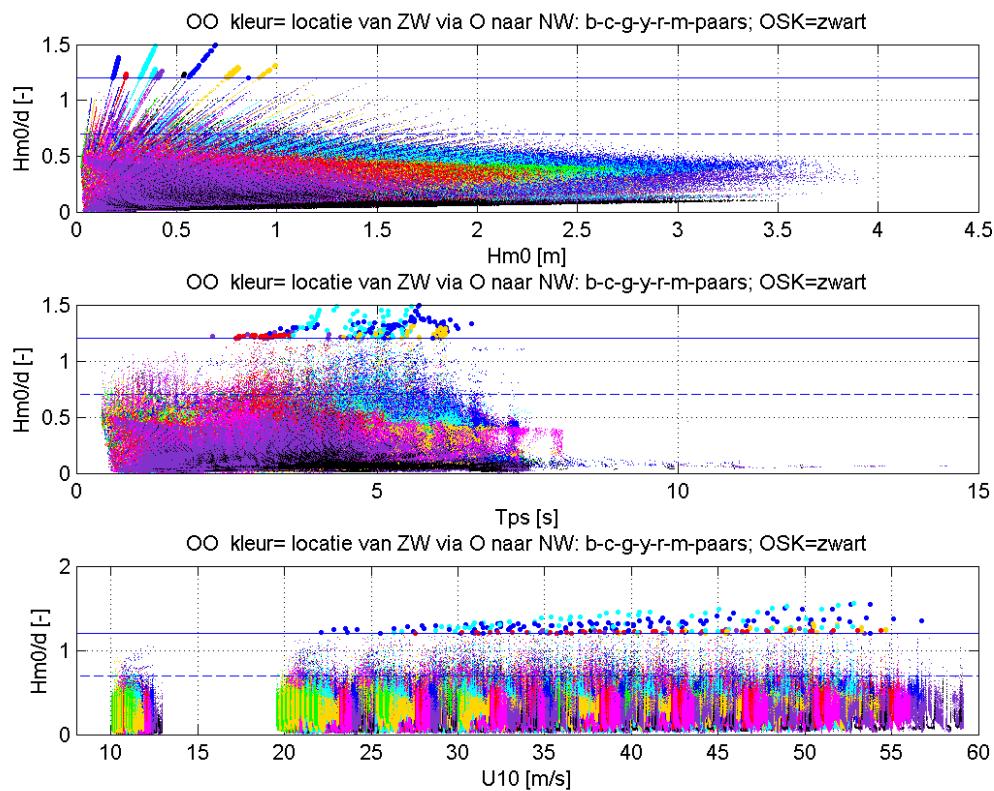
De 56 locaties met steile golven komen liggen verspreid door het hele domein. Uiteindelijk keuren we geen locaties af op grond van de steilheid omdat de unrealistische waarden alleen bij lage golfperiodes voorkomen die niet maatgevend zullen zijn. De steilheid van de golven met piekperiodes langer dan 5 s is in alle gevallen minder dan 8%.

7.3.2 Verhouding golfhoogte waterdiepte

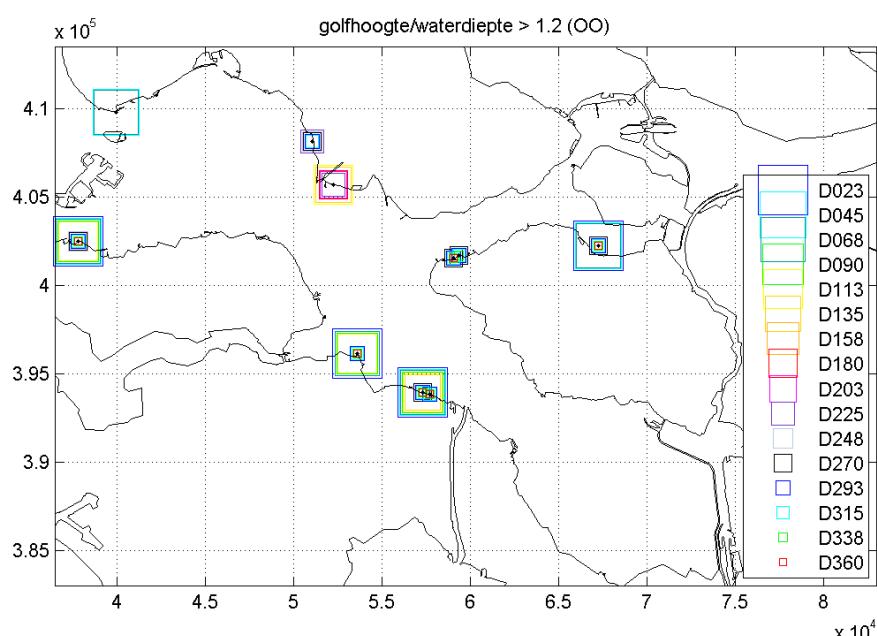
In de opgeschoonde dataset bevinden zich toch nog een aantal locaties met zeer hoge verhouding van golfhoogte en waterdiepte. In alle gevallen betreft het golven kleiner dan 1 m. De extreme golven hoger dan 2.5 m hebben alle een H_{m0}/d -verhouding van minder dan 0.7, wat geheel realistisch is.

In Figuur A.7.1. in Appendix A is de ligging van de tien locaties met dubieuze H_{m0}/d -verhouding weergegeven. We raden aan om deze niet op te nemen in de dataset. Het gaat om de volgende locaties:

37800.00	402488.00
39957.00	409787.00
51096.00	408169.00
52274.00	405688.00
53618.00	396128.00
57330.00	393952.00
57708.00	393827.00
59070.00	401541.00
59376.00	401697.00
67274.00	402229.00



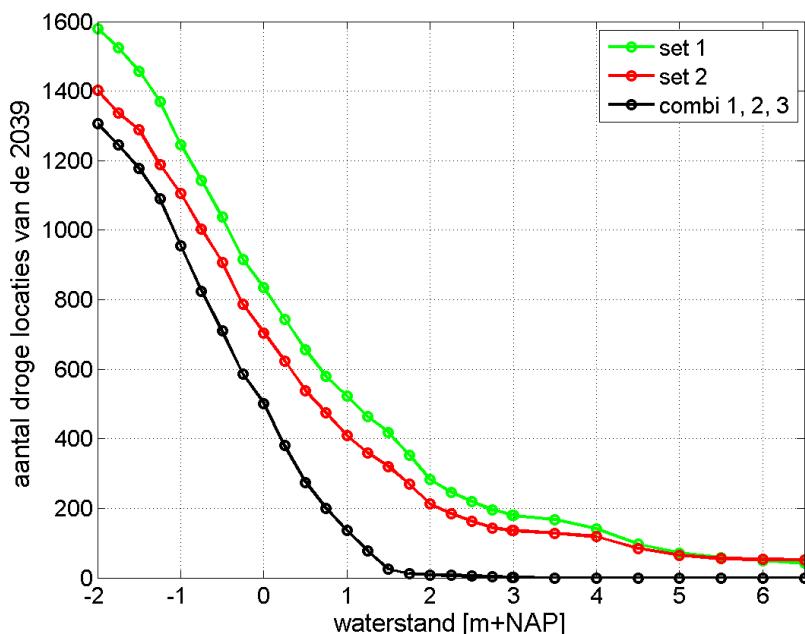
Figuur 7.8 Scatterplots verhouding golfhoogte waterdiepte bij open kering voor de opgeschoonde dataset (horizontale lijnen geven $Hm0/d=1.2$ resp 0.7 aan)



Figuur 7.9 Locaties van de opgeschoonde dataset met $Hm0/d$ hoger dan 1.2.

7.4 Droogval

De opgeschoonde dataset met 1748 locaties heeft geen locaties die droog liggen bij waterstanden boven NAP+3 m. Er zijn echter wel enkele locaties in de dataset terecht gekomen die bij waterstanden tussen NAP +2 en 3 m droog zijn. Zij hebben als golfhoogte 0 m en als golfperiode de waarde 0 s.



Figuur 7.10 Aantal locaties die droogvallen (set 1 en 2 bevatten elk 2039 locaties, de opgeschoonde set (combi 1,2,3) 1748

8 Conclusies

De proefproductieberekeningen van golven voor WBI2023 zijn uitgevoerd met een nieuw SWAN model voor de Oosterschelde, bestaande uit twee kromlijnige rekenroosters: het Noordzeerooster en het Oosterschelderooster. Eerstgenoemde is gebaseerd op bestaande WAQUA roosters van de Zuidwestelijke Delta en de Westerschelde, maar een factor twee in beide richtingen vergrofd. Het Oosterschelderooster is gebaseerd op het bestaande WAQUA-Oosterschelderooster, maar dan een factor vier in beide richtingen verfijnd. De gridgrootte varieert van ongeveer 700 m op de uiterste Noordzeerand tot circa 80 m vlak ten westen van de OSK. Op de Oosterschelde varieert de gridgrootte tussen ongeveer 10 en 50 m.

Er zijn 5624 berekeningen op het Oosterschelderooster uitgevoerd en 4104 op het Noordzeerooster. Eerstgenoemde duren ongeveer 2 uur per berekening, laatstgenoemde orde 3 minuten. De berekeningen zijn uitgevoerd op het H6 Linux rekencluster van Deltares.

Voor de transmissieberekeningen door de OSK is een Python script ontwikkeld dat de transmissie bepaalt op basis van SWAN resultaten op het Noordzeerooster en de transmissiecoëfficiënt, gebaseerd op blokkering van het doorstroomoppervlak.

Er zijn 'run scripts' gemaakt die ervoor zorgen dat eerst een SWAN-berekening op het Noordzeerooster wordt uitgevoerd, dan het transmissiescript, gevolgd door een SWAN-berekening op het Oosterschelderooster, zowel één met open kering als met gesloten kering (indien relevant). Tenslotte worden automatisch met Python figuren van het convergentieverloop, golfspectra en ruimtelijke velden ('maps') van golfhoogte en golfperiode aangemaakt.

Er zijn voor WAQUA en SWAN ruimtelijk variërende windvelden aangemaakt die afgezien van het format, gelijk zijn.

De winddrag neemt toe bij toenemende windsnelheid tot een maximum van $C_d=0.00275$ bij 30 m/s. Daarna blijft hij constant ('afgekapte' Wu formulering). Bij het omrekenen van de potentiele windsnelheid naar open water windsnelheid is de afkapping achterwege gelaten. Daardoor zijn bij hoge windsnelheden de open water winsnelheden enkele procenten te laag berekend.

Op basis van de procedurele controle zijn geen onrechtmatigheden ontdekt, dat wil zeggen dat alle berekeningen binnen 270 minuten zijn uitgevoerd en de juiste bestanden hebben geproduceerd, dat er geen foutmeldingen in de print bestanden staan en dat overal minimaal 99.5% van de roosterpunten geconvergeerd is.

Op grond van de consistentiechecks raden wij aan om voor havens geen gebruik van SWAN te maken maar nader te onderzoeken of het wellicht nodig is om op basis van een uitvoerlocatie buiten de haven, de golven binnen in de haven te berekenen.

Locaties die bij waterstanden van NAP+1.5 m of hoger golfsresultaten gaven, zijn behouden voor de Hydra dataset. Locaties waarbij dat niet het geval was zijn zo mogelijk vervangen door de bijbehorende set 2 locatie of een nabijgelegen set 3 locatie. Locaties die in de SWAN schematisatie net onhandig lagen bijvoorbeeld op of achter een golfbreker, zijn verwijderd uit de dataset. Ook de locaties die in havens liggen waar de SWAN resultaten minder

betrouwbaar bleken, zijn niet in de dataset opgenomen. Uiteindelijk bevat de dataset 1748 locaties, waarvan 1442 uit set 1 komen, 109 uit set 2 en 197 uit set 3, en worden voor Hydra-NL alleen de resultaten met open kering beschouwd.

Voor een aantal stochast combinaties treden lokaal onrealistische waarden van golfsteilheid en H_{m0} /diepte verhouding treden op. Dit is met name het geval bij lage golfhoogtes, dus condities die niet maatgevend zullen zijn. Ook maakt de controle duidelijk dat niet één bepaalde SWAN-berekening voor de hoge waarden zorgt, maar dat het her en der bij verschillende windsnelheden en windrichtingen optreedt. Op basis van deze parameter controles raden wij aan om een aantal locaties (gespecificeerd in Sectie 7.3.2) van de 1748 niet mee te nemen in de dataset omdat de verhouding golfhoogte en waterdiepte meer dan 1.2 bedraagt, wat erg hoog is. Op grond van golfsteilheid keuren we geen locaties af omdat (te) hoge steilheden alleen bij lage en korte golven voorkomen, die hoogstwaarschijnlijk niet maatgevend zullen zijn.

De modelschematisatie van de SWAN-berekeningen op de Oosterschelde is niet optimaal voor de twee aanwezige kanalen (Havenkanaal Zierikzee en het Kanaal door Zuid-Beveland nabij Hansweert). Toch zijn de modelresultaten van de SWAN-berekeningen kwalitatief in orde. Echter, om de betrouwbaarheid van de resultaten aan te tonen, wordt aangeraden om voor de kanalen detailberekeningen - met hogere resolutie en wellicht met diffractie - uit te voeren, en meer aandacht te schenken aan het schematiseren van de (haven)dammen. Als slechts een grove benadering voldoende is, dan moet eerst nagegaan worden welke locaties geschikte modelresultaten geven, en kunnen vervolgens direct de SWAN resultaten in Hydra-NL gebruikt worden.

9 Referenties

- Deltaires, 2015 Construction of model-based extreme wind fields for the assessment of the Dutch primary water defenses, dd Jan 11, 2016. ref 1220082-007-HYE-0007.
- Deltaires, 2016a WTI2017 SWAN Productieberekeningen Rijn-Maasmonding ref 1220082-001-HYE-0011, versie 2 dd 27 juni 2016 definitief
- Deltaires, 2016b Wave transmission through the Eastern Scheldt barrier: a comparison of methods and data, ref 1230058-000-ZWS-0033 dd 14 December 2016.
- Deltaires/HKV, 2016a Opzet SWAN-model Oosterschelde WBI2023 1230058-002-ZWS-0019, 19 december 2016, definitief
- Deltaires/HKV, 2016b C1: Stroming in golfberekeningen: wel of niet toepassen op de Oosterschelde, dd dec 2016. Ref 1230058-000-ZWS-0037
- Deltaires/HKV, 2016c C4: Eisen golfmodel Oosterschelde dd 5 juli 2016. ref 1230058-002-ZWS-0009.
- Deltaires/HKV, 2017 Plan van aanpak productieberekeningen 2017 1230058-002-ZWS-0020, 17 januari 2017, definitief
- HKV, 2010 Diepwaterrandvoorwaarden WTI-2011. HKV rapport PR1759.10, februari 2010.
- HKV/Deltaires, 2016a Belastingmodel Oosterschelde WTI2023, juni 2016. ref PR3262.10
- HKV/Deltaires, 2016b Diepwaterrandvoorwaarden voor SWAN Oosterschelde dd 26 aug 2016. ref PR3262.23. Auteurs: Carolien Wegman, Vincent Vuik.
- HKV/Deltaires, 2017 Productieberekeningen hydraulica. Controles waterbeweging & vullen HR-databases Oosterschelde (concept) dd nov 2017. ref PR3556.
- Miche, 1951. Le Pouvoir Reflechissant des Ouvrages Maritimes Exposes a l' Action de la Houle, Annals des Ponts et Chaussess, 121e Annee, 285-319 (translated by Lincoln and Chevron, University of California, Berkeley, Wave Research Laboratory, Series 3, Issue 363, June 1954).
- RIKZ, 2001 Golfberekeningen Oosterschelde. Golfbelastingen voor het ontwerpen van dijkbekledingen. Rapport RIKZ/2001.006 dd januari 2001.
- RIZA, 2003 Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven, een analyse van bouwstenen. RIZA werkdocument 2003.118x dd juli 2003.
- Royal Haskoning, 2006 Golfrandvoorwaarden Havenkanaal Zierikzee' dd 19 sep 2006, ref 9R2599.N0/R0002/EARN/MJANS/Rott1.

Salmon en Holthuijsen, 2015. Modeling depth-induced wave breaking over complex coastal bathymetries. Coastal Engineering 105 (2015) 21-35.

Svašek Hydraulics/Royal HaskoningDHV, 2012. Update detailadvies Havenkanaal en Inlaag Zuidhoek dd 16 november 2012 ref 1587/U12307/C/PvdR

Svašek Hydraulics, 2016. SWAN hindcast berekeningen Oosterschelde t.b.v. WBI2023 dd 30 nov 2016. ref 1855/U16439/A/MB. Auteurs: M. van den Boomgaard, B.Eikema.

Van Vledder, 2015 Stappenplan aanpassing hydraulische randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag, ref vc55m1r3, dd 10 december 2015.

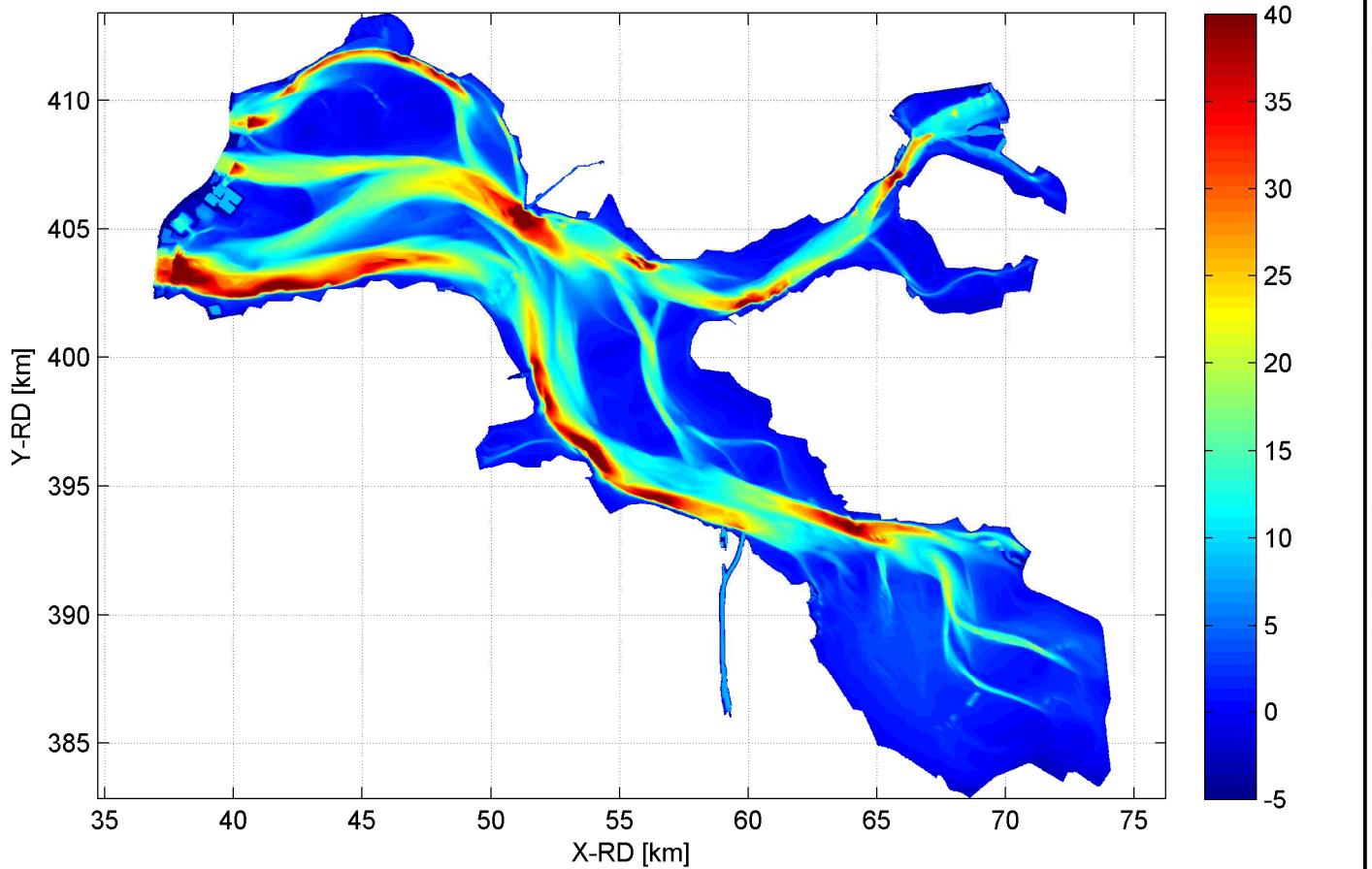
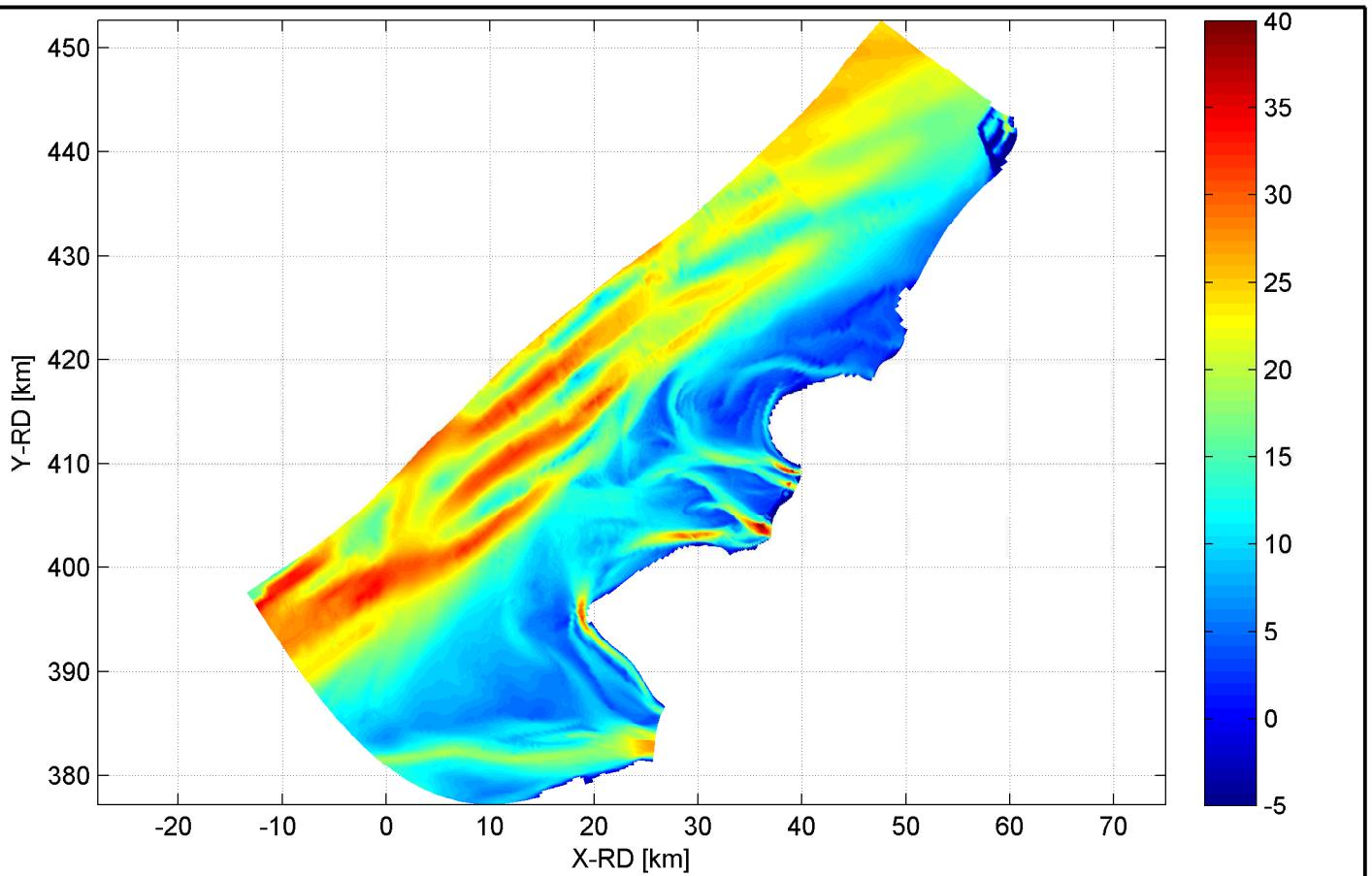
Van der Westhuysen, 2010. Modeling of depth-induced wave breaking under finite depth wave growth conditions. JGR Vol. 115, C01008, doi:10.1029/2009JC005433, 210.

Waal, de H., 2010 WTI 2011 Wind input to be used in HBC assessment, dd 24 Feb 2010. ref 1200103-027-HYE-0001

Wu, J., 1982. Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane. Journal of Geophysical Research 87 (C12), 9704–9706.

Zijlema et al., 2012 Zijlema, M., G.Ph. van Vledder and L.H. Holthuijsen, 2012. Bottom friction and wind drag for wave models. Coastal Engineering, 65, 19-26

A Figuren



Bodemligging [m-NAP] SWAN model o.b.v. Baseline 2012
boven Noordzeerooster; onder Oosterschelderooster

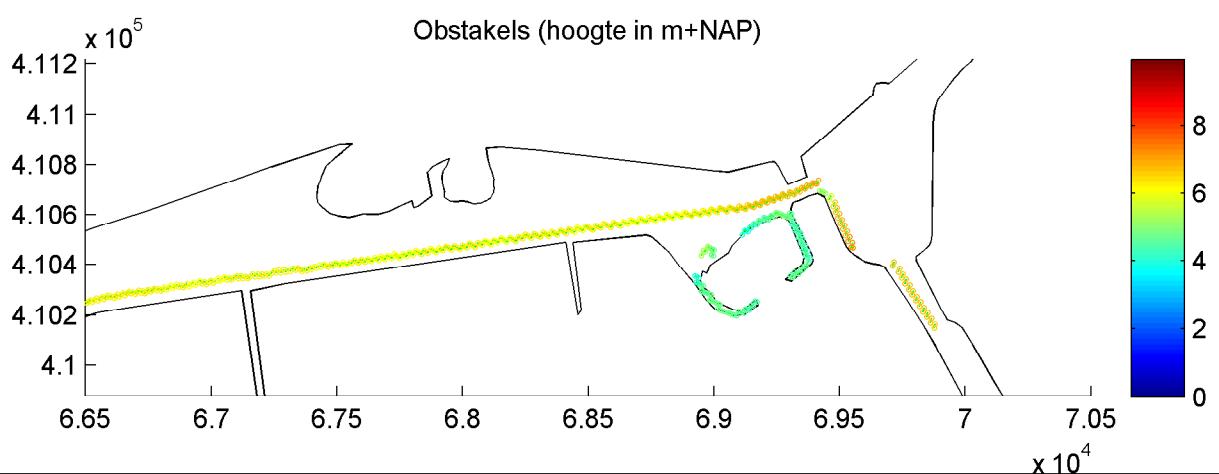
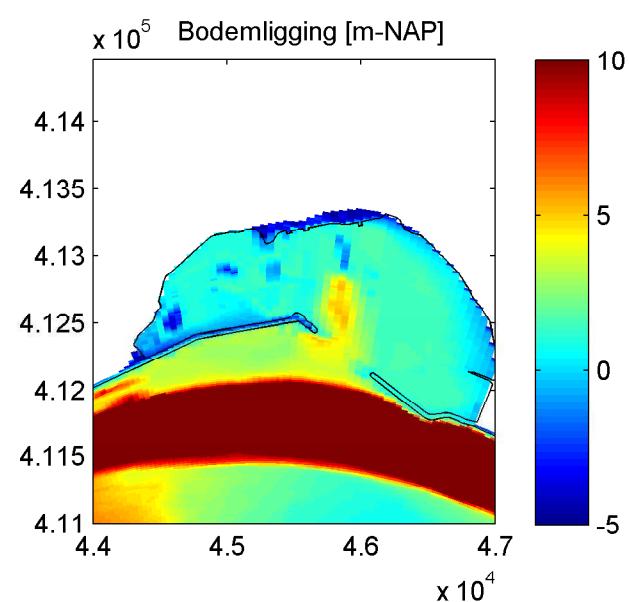
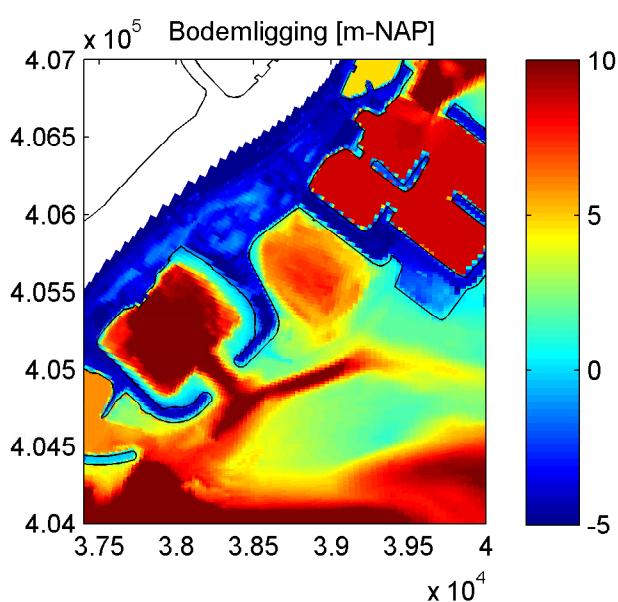
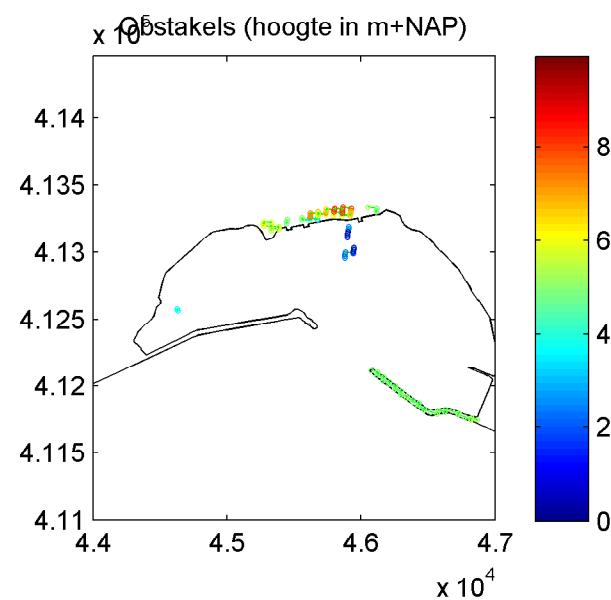
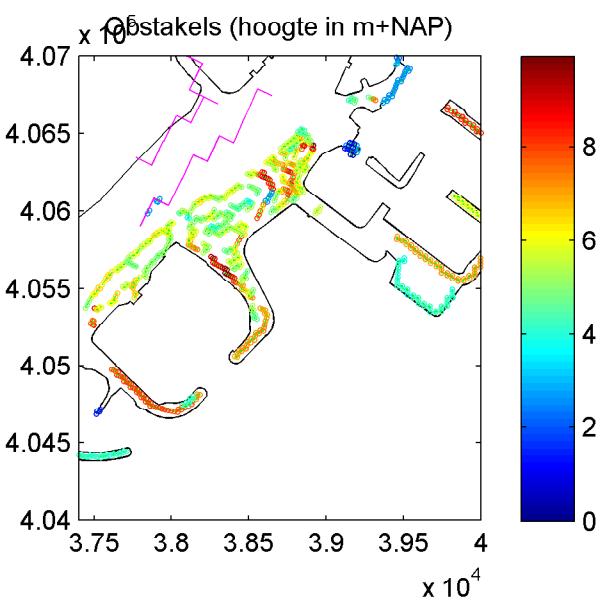
bodem

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

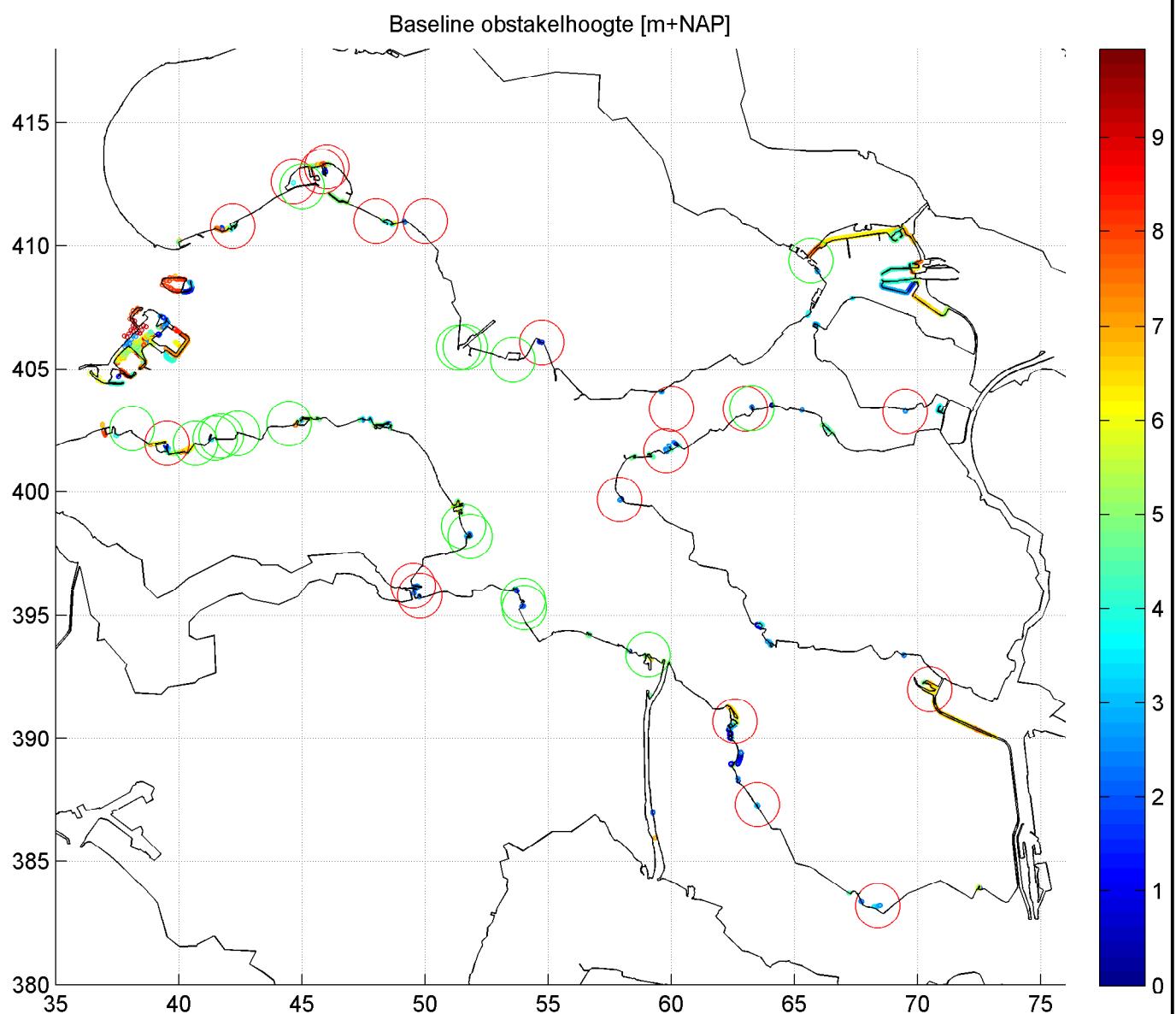
11200556

Fig A.2.1



Voorbeelden obstakels Oosterschelde

SWAN-Oosterschelde



Overzicht obstakels in Baseline en in Waterschapsbestand
rood: wel in baseline, niet in Waterschapsbestand; groen: andersom

obstakels

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.2.3

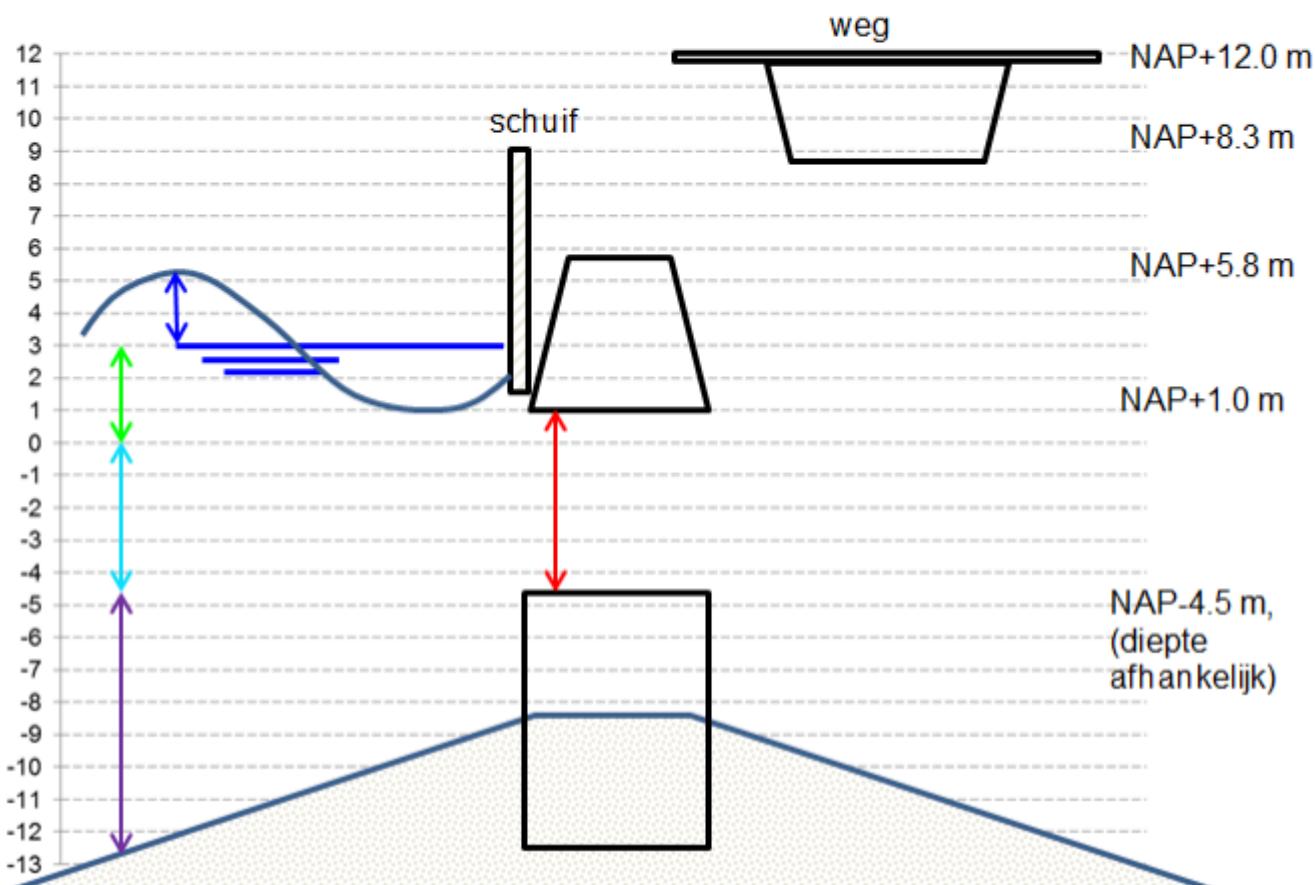
De hoogte van de water kolom is de som van:

- de halve golfhoogte
- de waterstand t.o.v. NAP
- kruinhoogte van de onderwaterdrempeel t.o.v. NAP
- kruinhoogte van de onderwaterdrempeel t.o.v. de teen van de bestorting



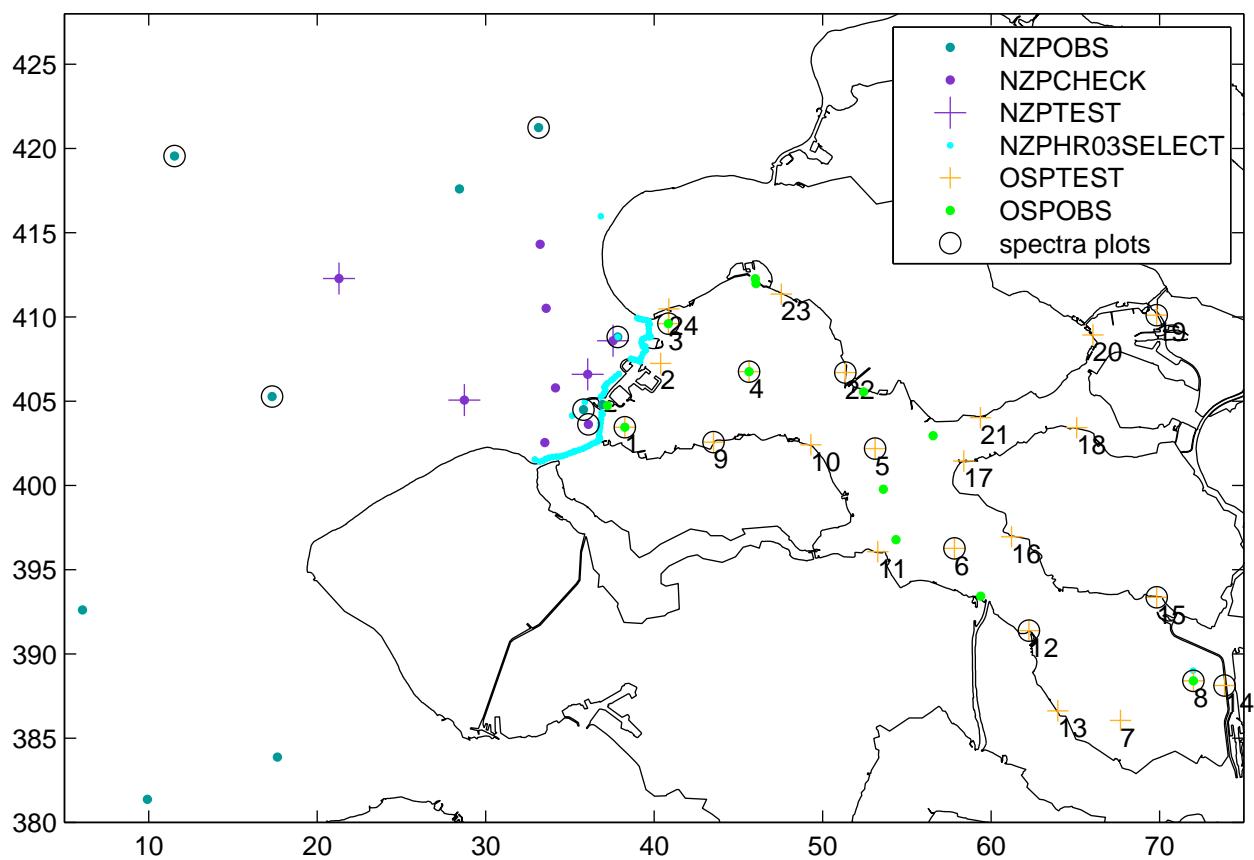
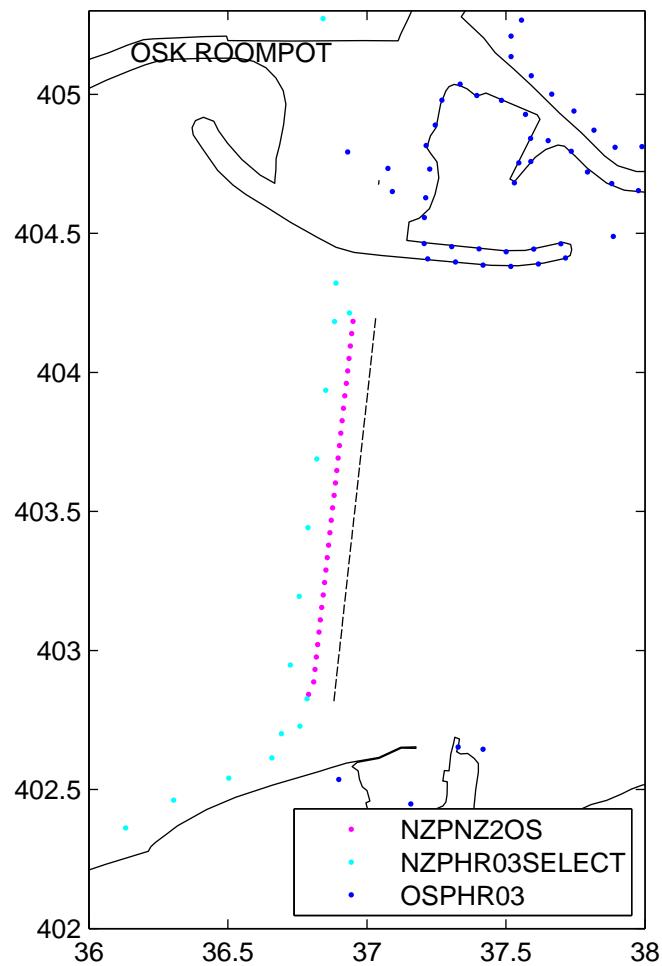
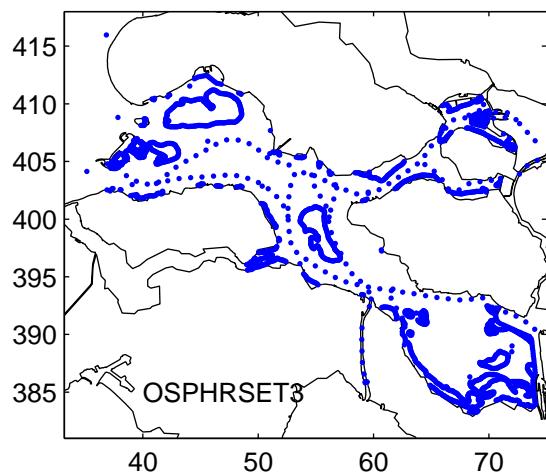
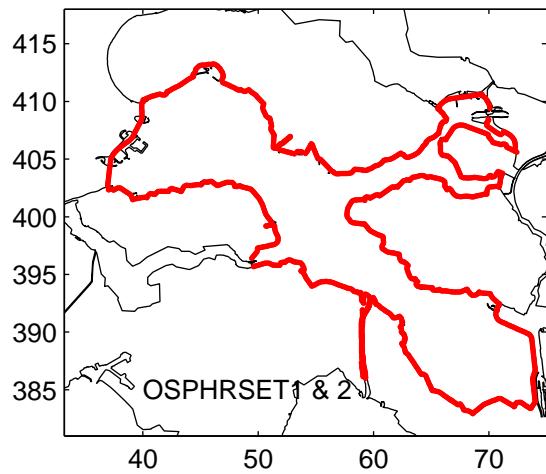
Indien de schuif geopend is en de golftop is niet hoger dan NAP + 5.6 m, dan geldt als de openingshoogte de rode pijl.

In onderstaand voorbeeld bedraagt de golftransmissie $5.5 / (2 + 3 + 4.5 + 8) = 0.31$.



Schematisatie transmissiecoefficient OSK

SWAN-Oosterschelde



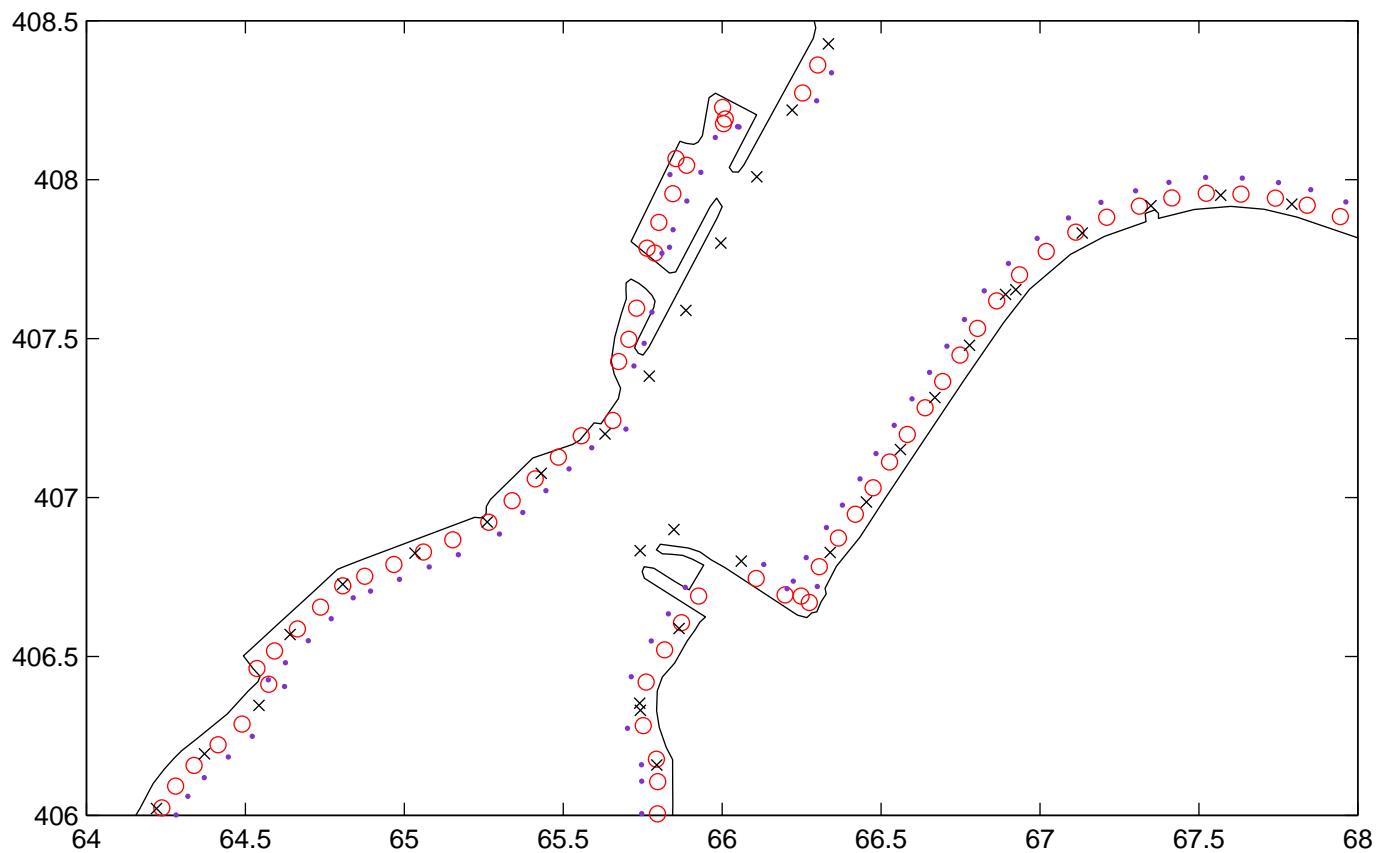
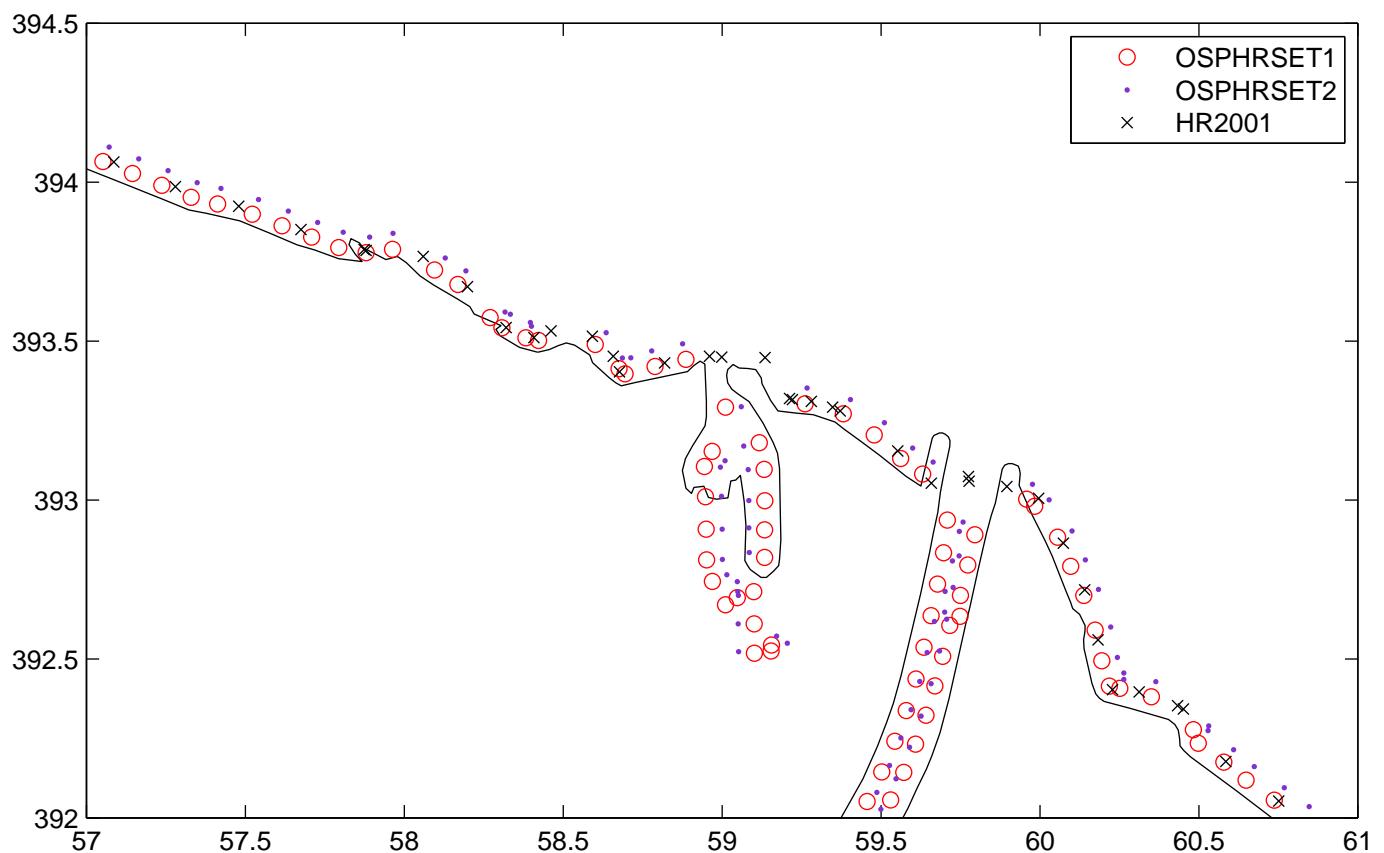
Uitvoerlocatiesets op Noordzee en Oosterschelde

SWAN-Oosterschelde

Deltares

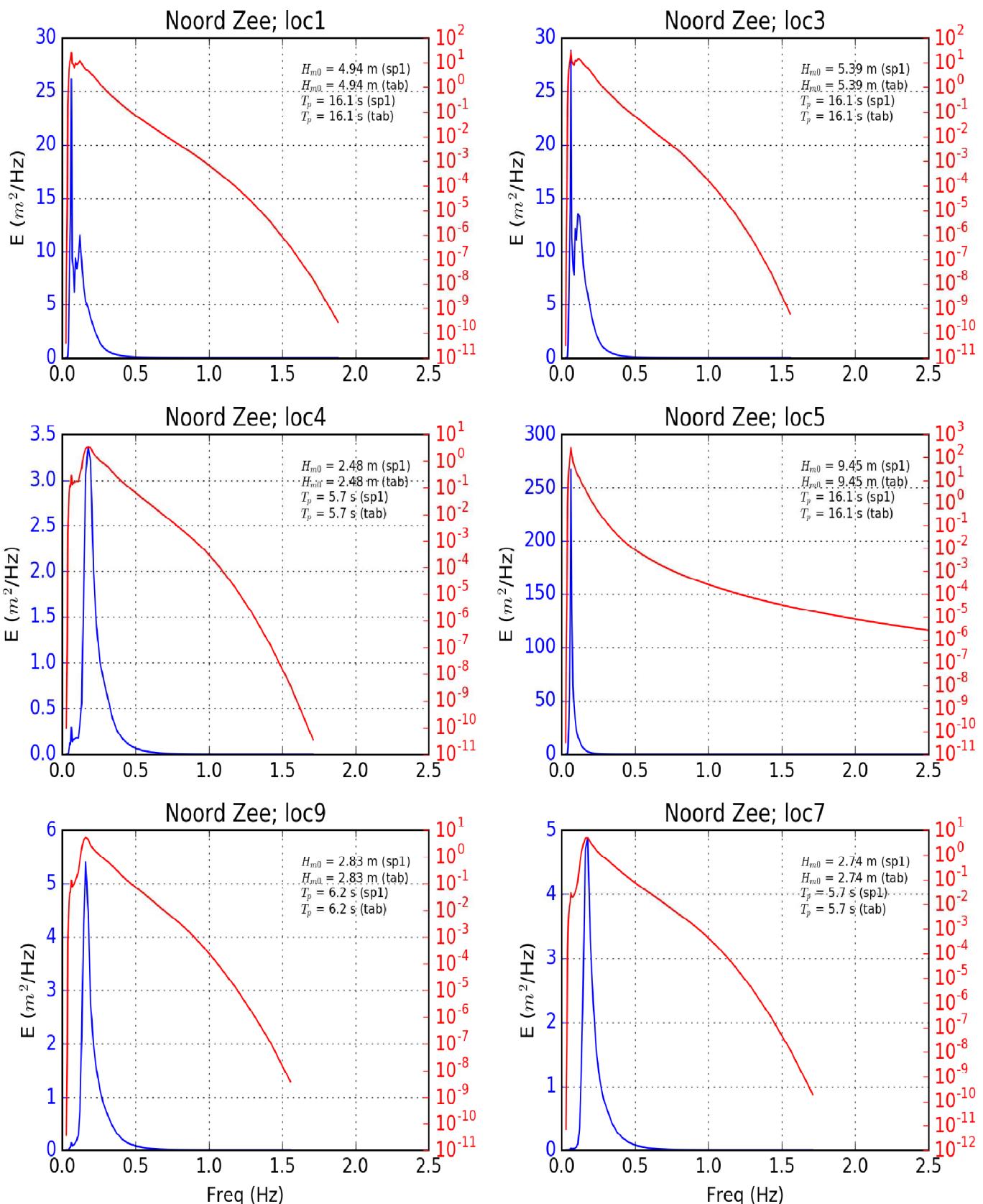
11200556

Fig A.2.5a



Detail van uitvoerlocatiesets 1 & 2 en HR2001 op Oosterschelde

SWAN–Oosterschelde

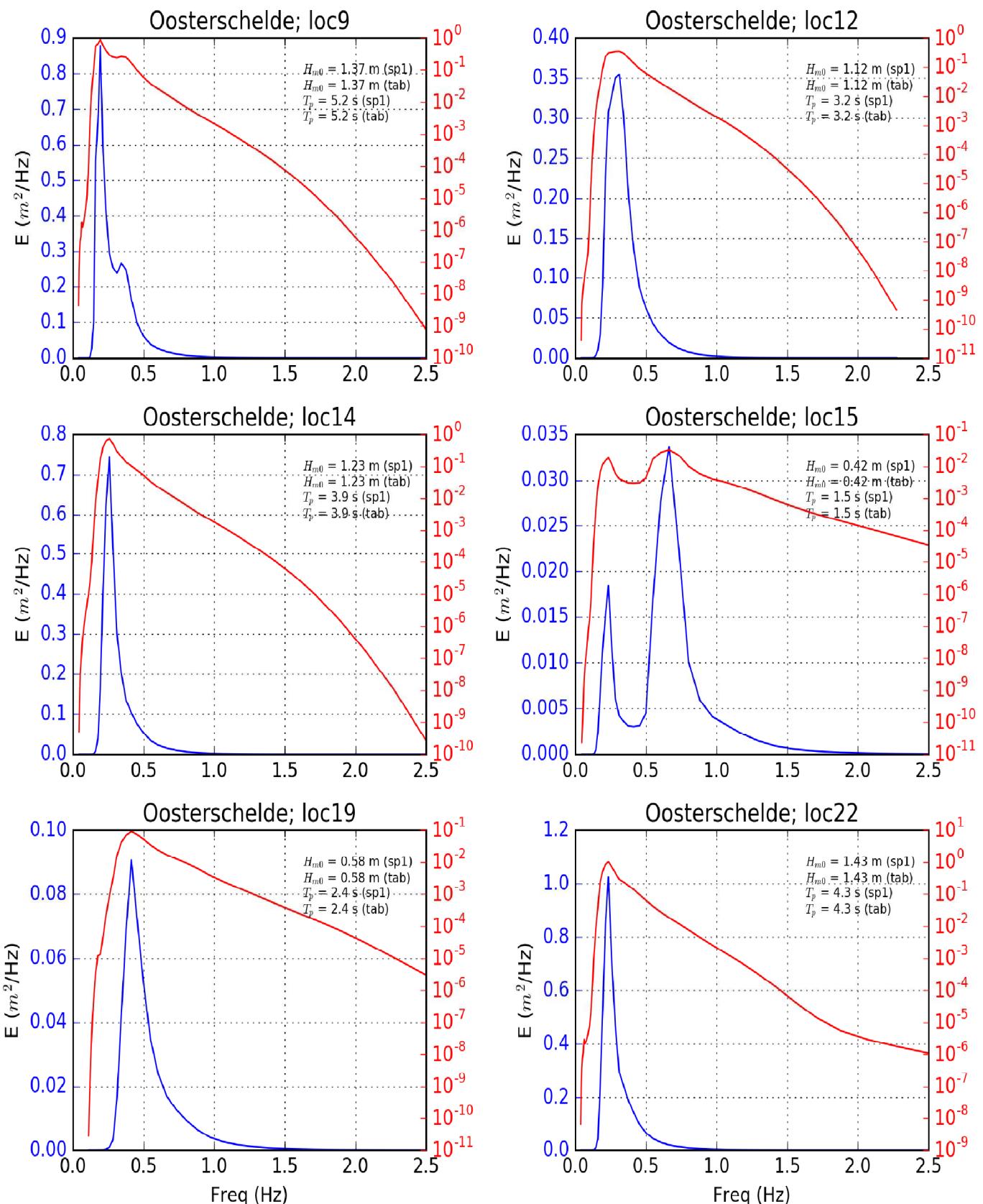


Voorbeeld golfspectra op Noordzeerooster U38D360Lp150Nza
 (rood is zelfde spectrum op log schaal)

spectra

U38D360Lp150OO

SWAN-Oosterschelde

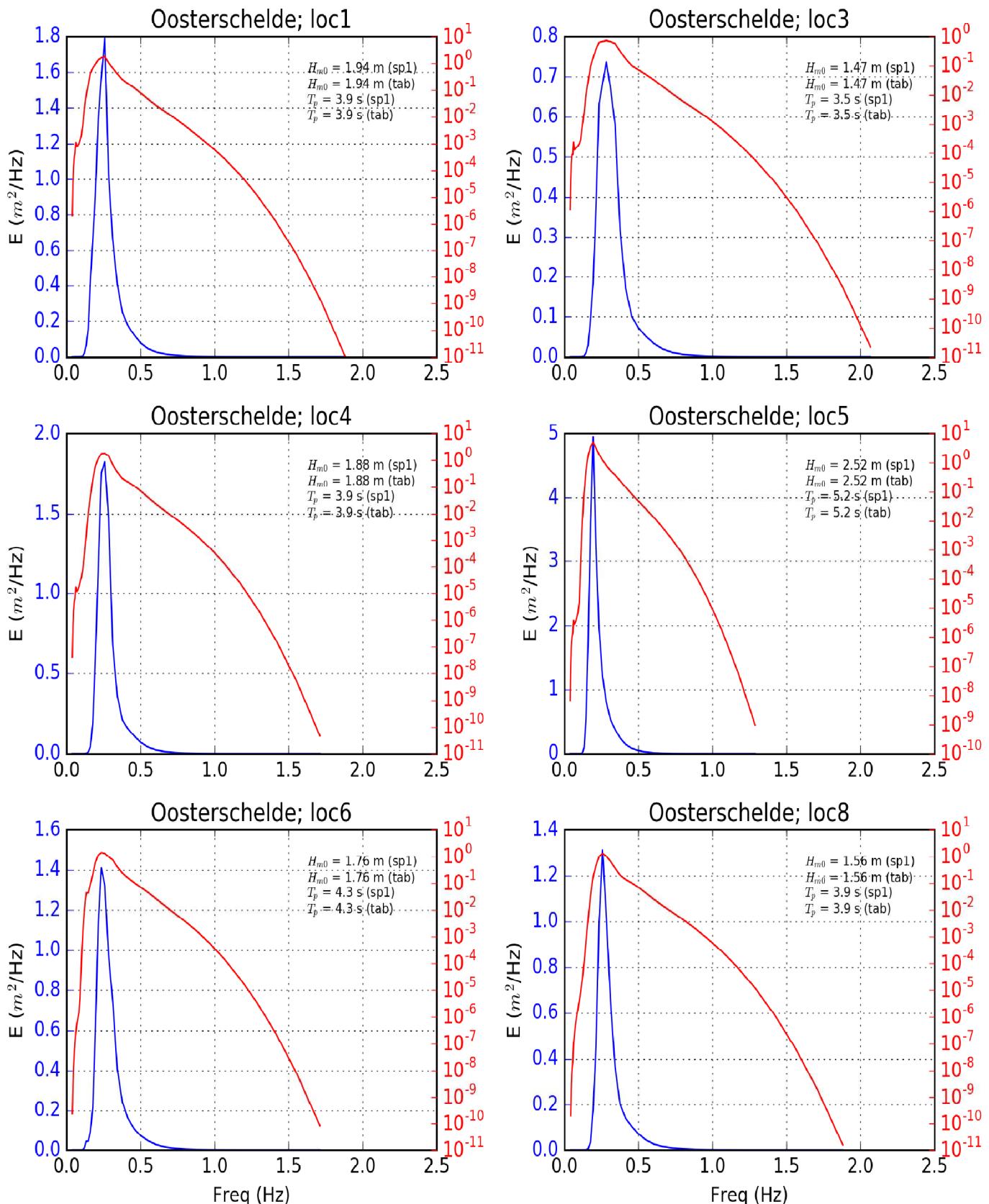


Voorbeeld golfspectra op Oosterschelderooster U38D360Lp150OOa
 (rood is zelfde spectrum op log schaal)

spectra

U38D360Lp150OO

SWAN-Oosterschelde

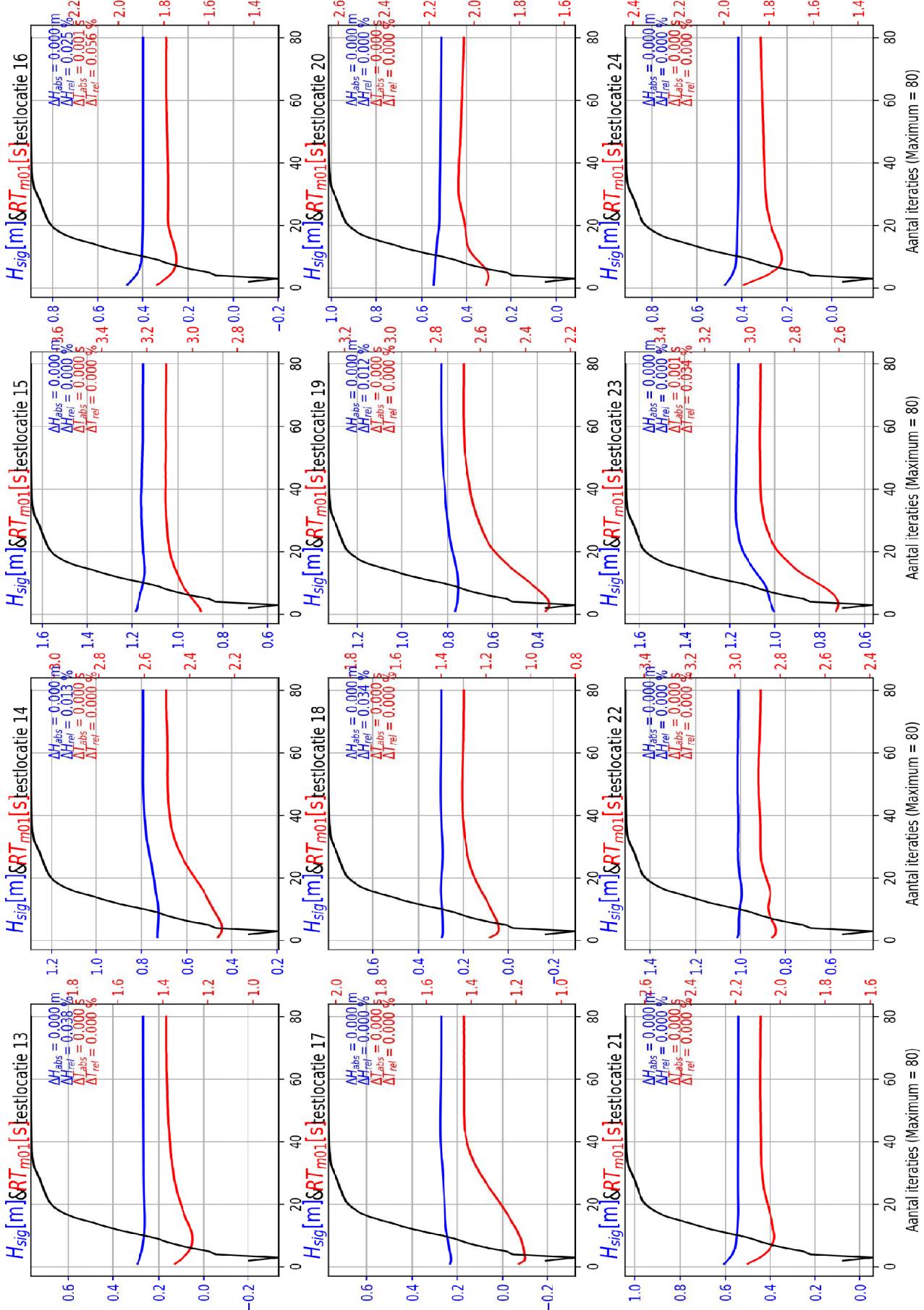


Voorbeeld golfspectra op Oosterschelderooster U38D360Lp150OOa
 (rood is zelfde spectrum op log schaal)

spectra

U38D360Lp150OO

SWAN-Oosterschelde



Voorbeeld convergentie controle op Oosterschelderooster
zwarte lijn is percentage geconvergeerde gridpunten van 0 tot 100%

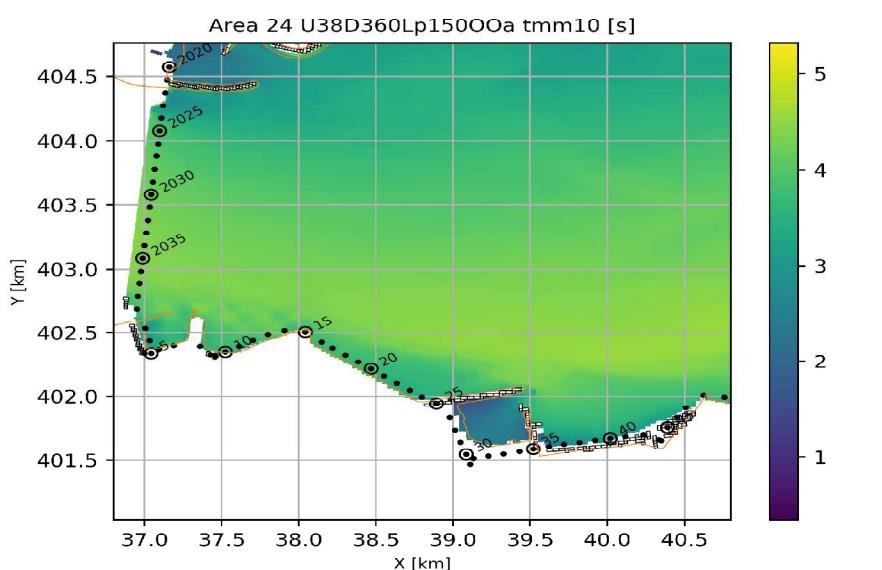
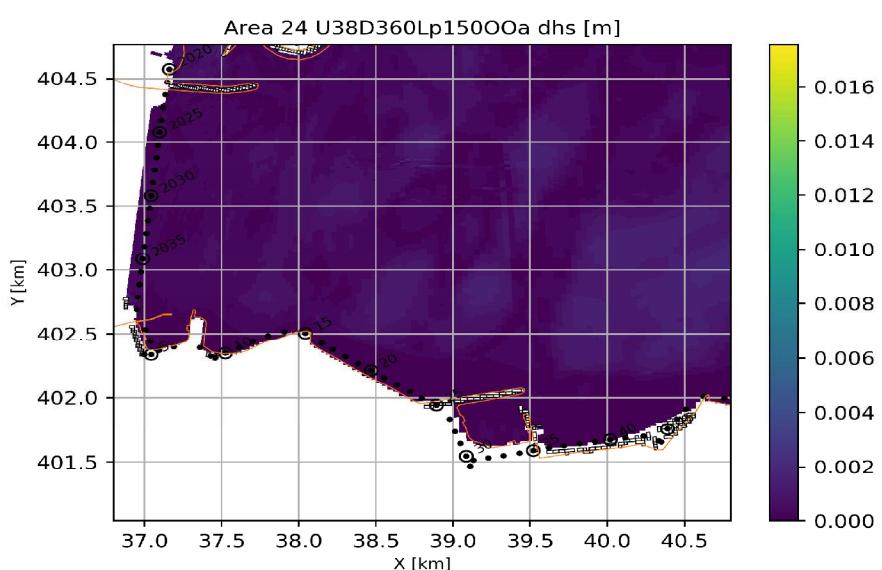
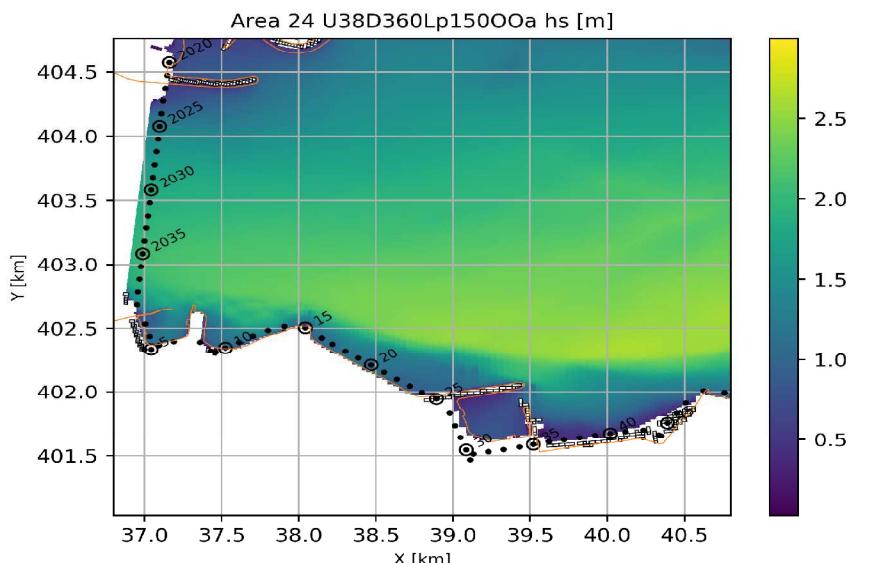
convergentie

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.3.2



Voorbeeld lokale map uitvoer U38D360Lp150OOa
Hs, dHs en Tmm1,0

maps

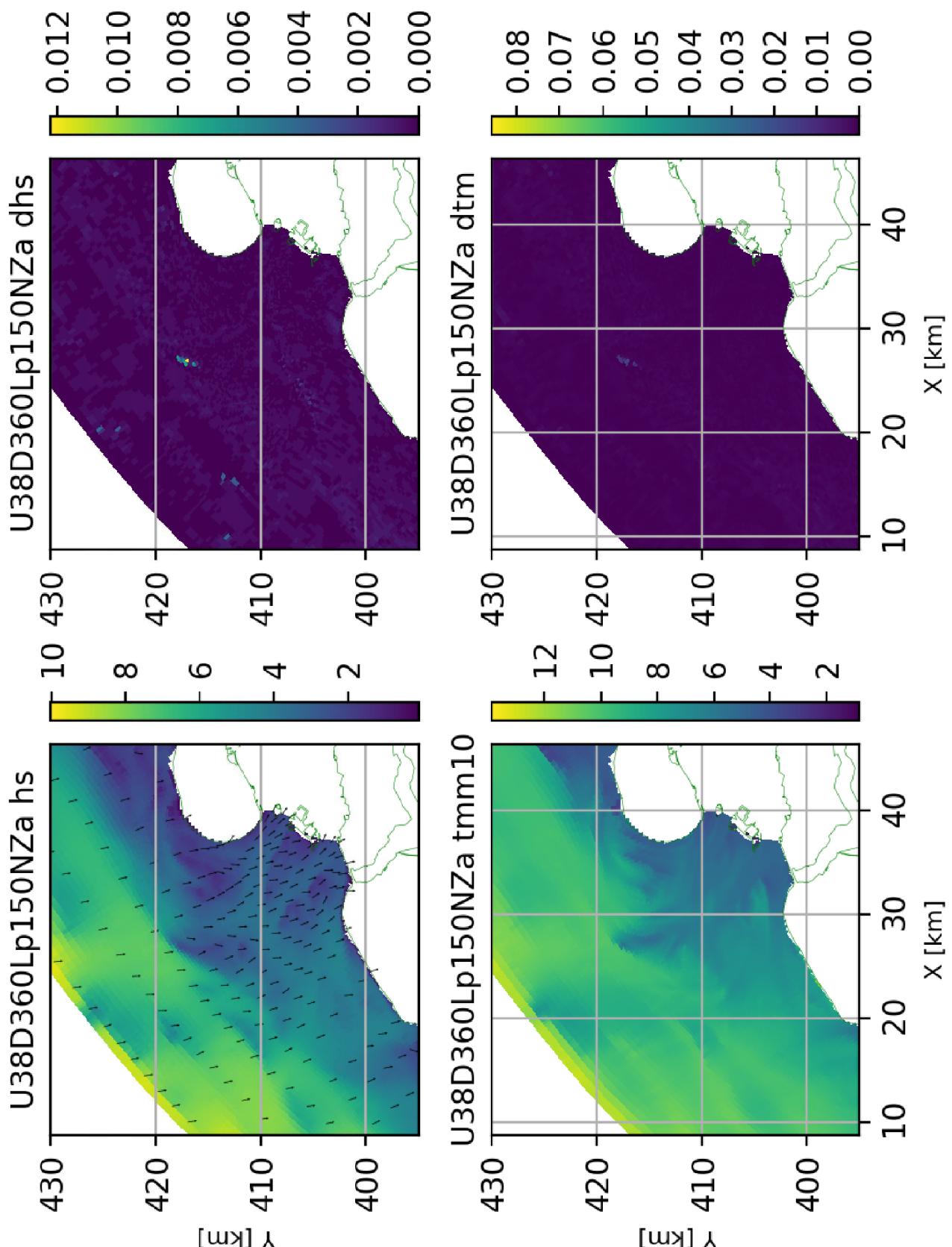
U38D360Lp150OO

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.3.3

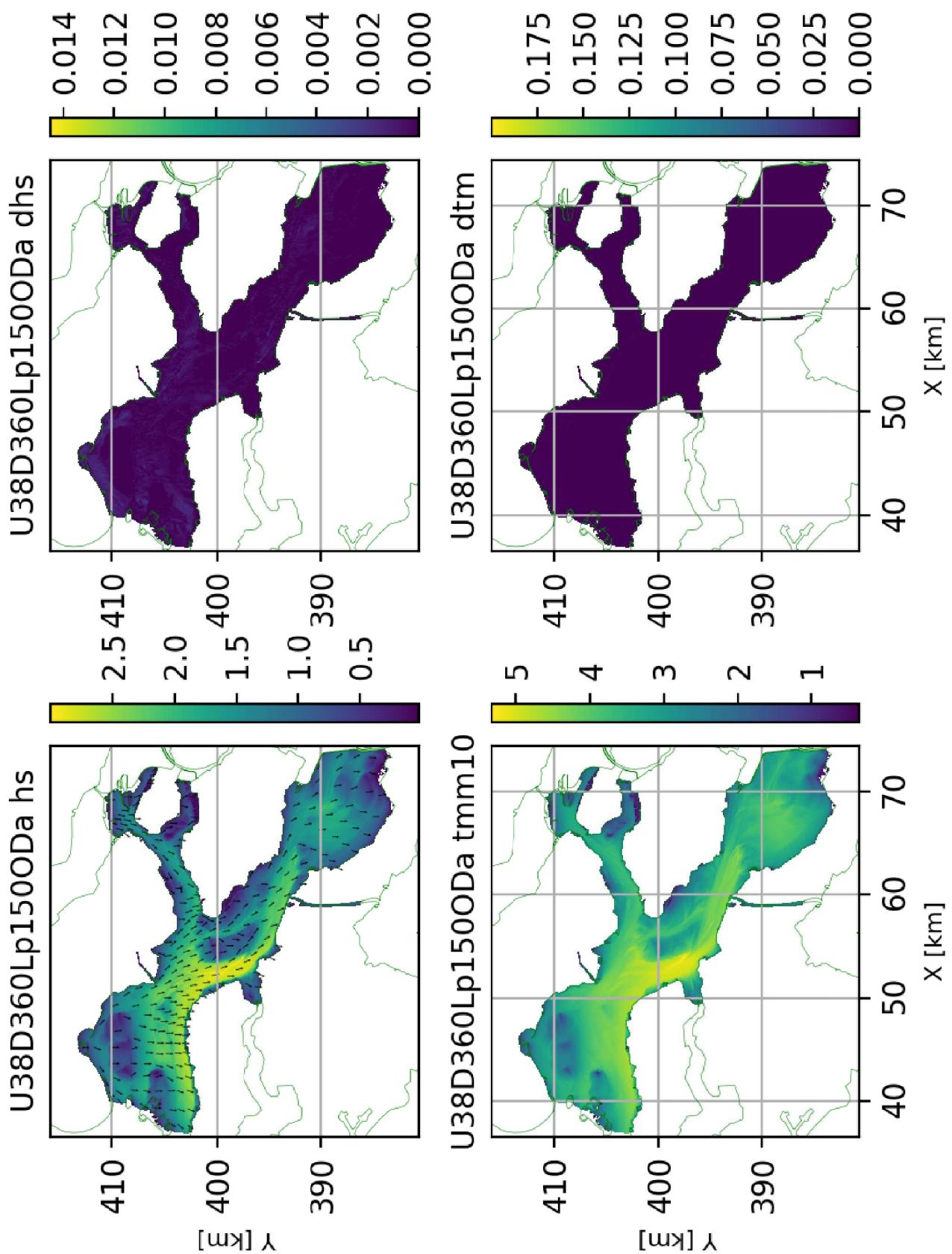


Voorbeeld (deel van) globale map uitvoer Noordzee U38D360Lp150Nza
Hs, Tmm10, dHs en dTmm1,0

maps

U38D360Lp150OO

SWAN-Oosterschelde



Voorbeeld globale map uitvoer Oosterschelde (dicht) U38D360Lp1500ODa
Hs, Tmm10, dHs en dTmm1,0

maps

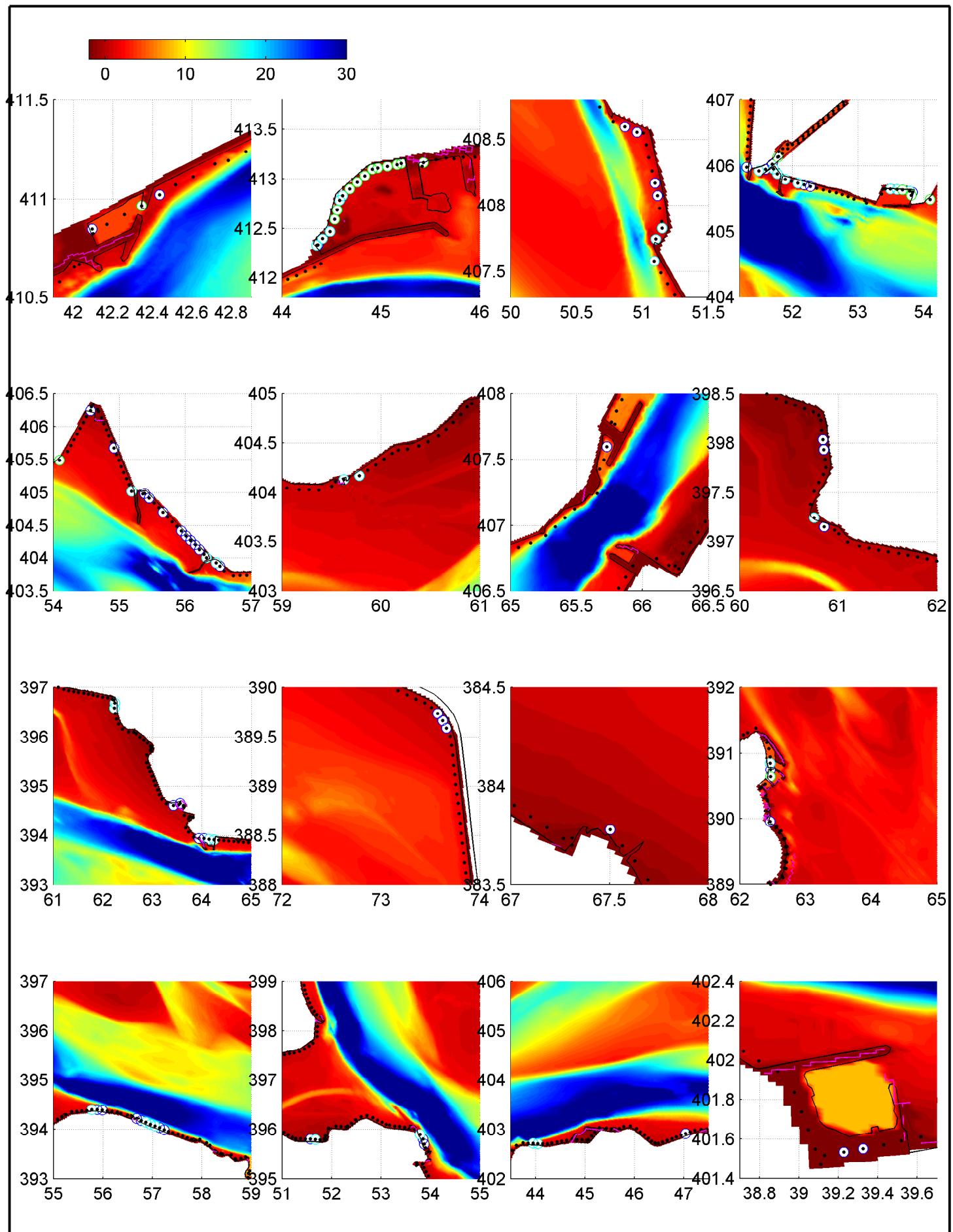
U38D360Lp1500OD

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.3.4b



Locaties met >20 (blauw), >30 (cyaan), >40 (groen) inconsistenties
kleuren zijn bodemligging; obstakels in rose

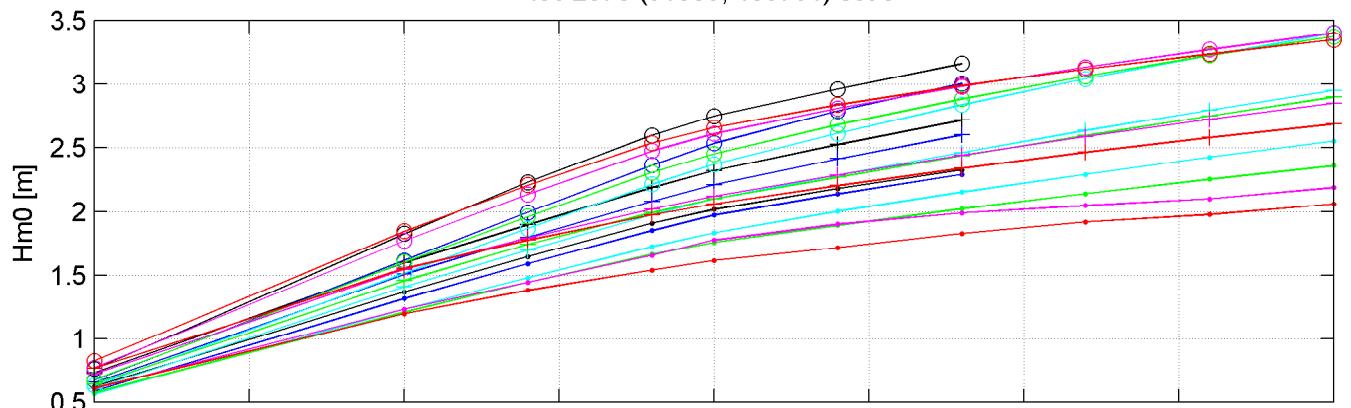
SWAN-Oosterschelde

Deltares

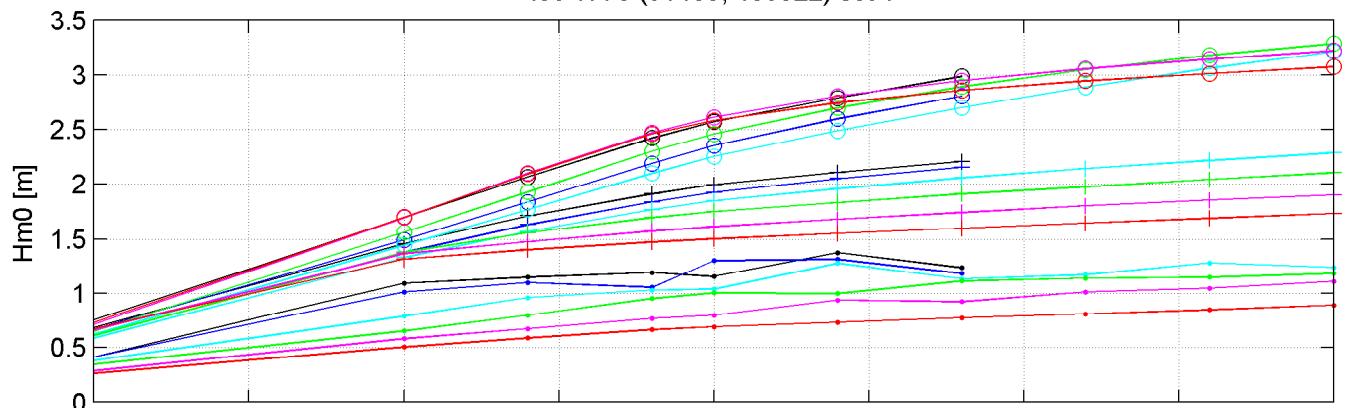
11200556

Fig A.5.1

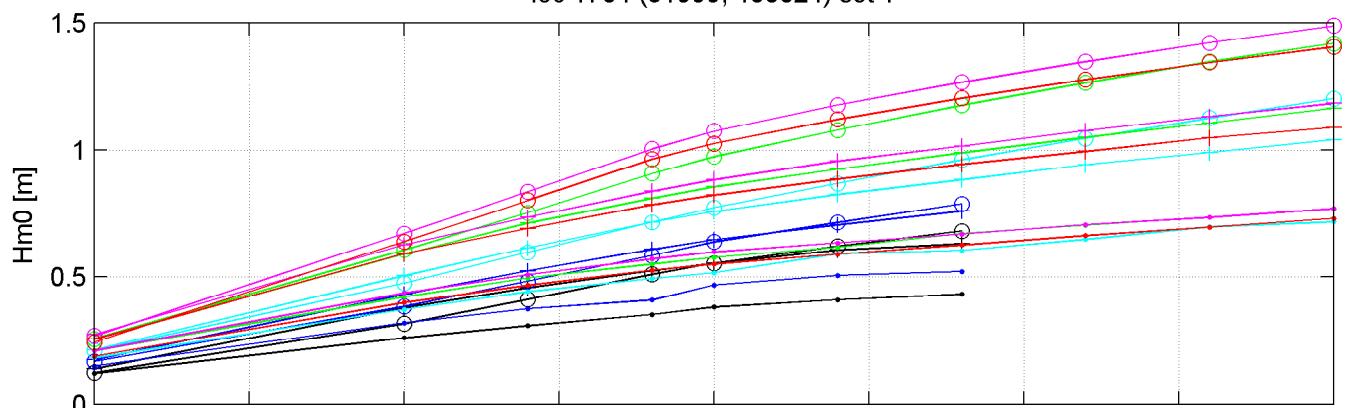
loc 2078 (51385, 405751) set 3



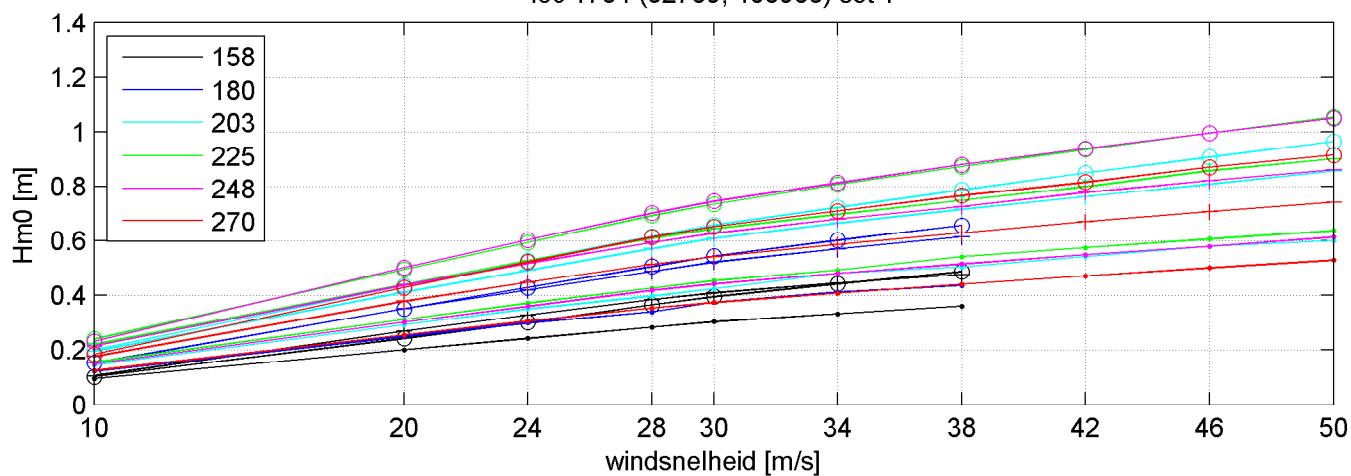
loc 1770 (51489, 405922) set 1



loc 1764 (51999, 406324) set 1



loc 1754 (52769, 406965) set 1



Golfhoogte Havenkanaal Zierikzee
o=NAP+6.5m; +=NAP+3m; .=NAP+0m

Hm0 open kering

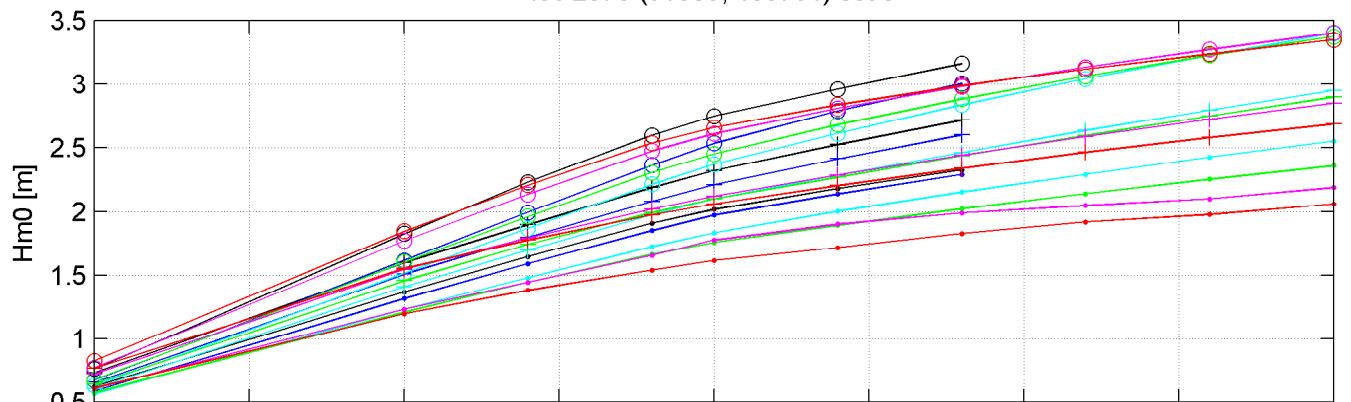
SWAN-Oosterschelde

DELTARES

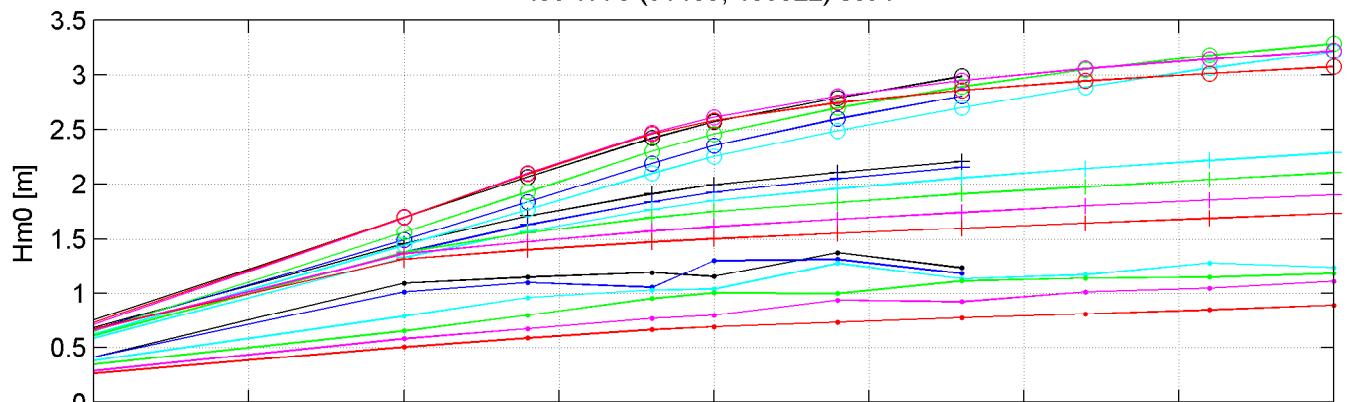
11200556

Fig A.5.2

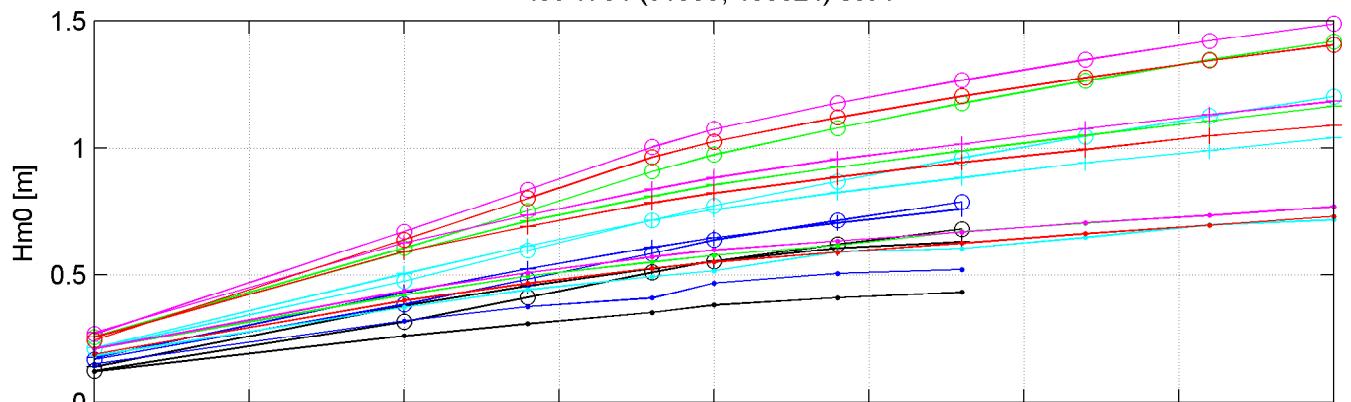
loc 2078 (51385, 405751) set 3



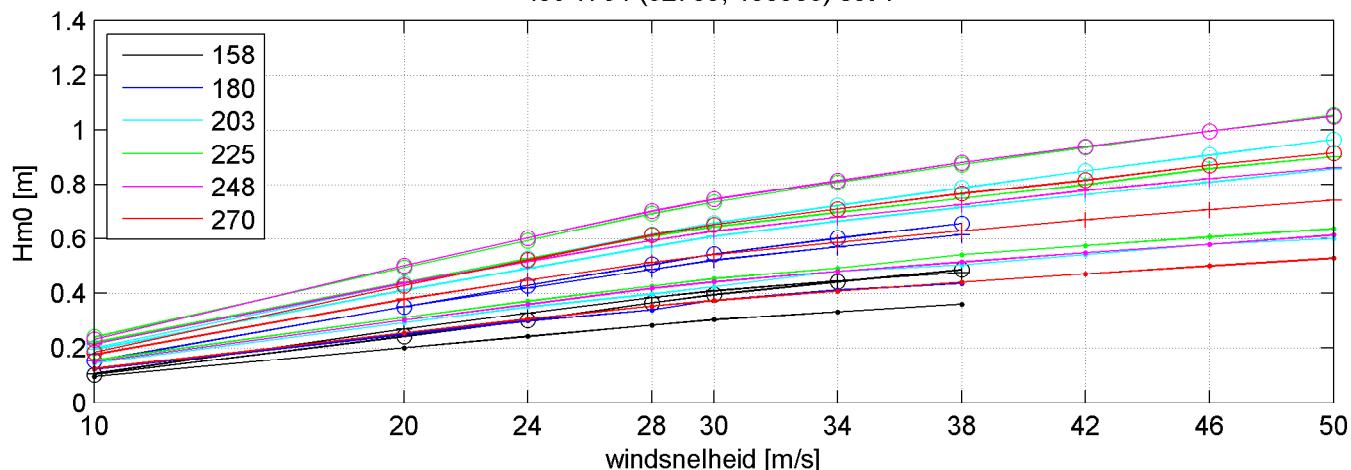
loc 1770 (51489, 405922) set 1



loc 1764 (51999, 406324) set 1



loc 1754 (52769, 406965) set 1



Golfhoogte Havenkanaal Zierikzee
o=NAP+6.5m; +=NAP+3m; .=NAP+0m

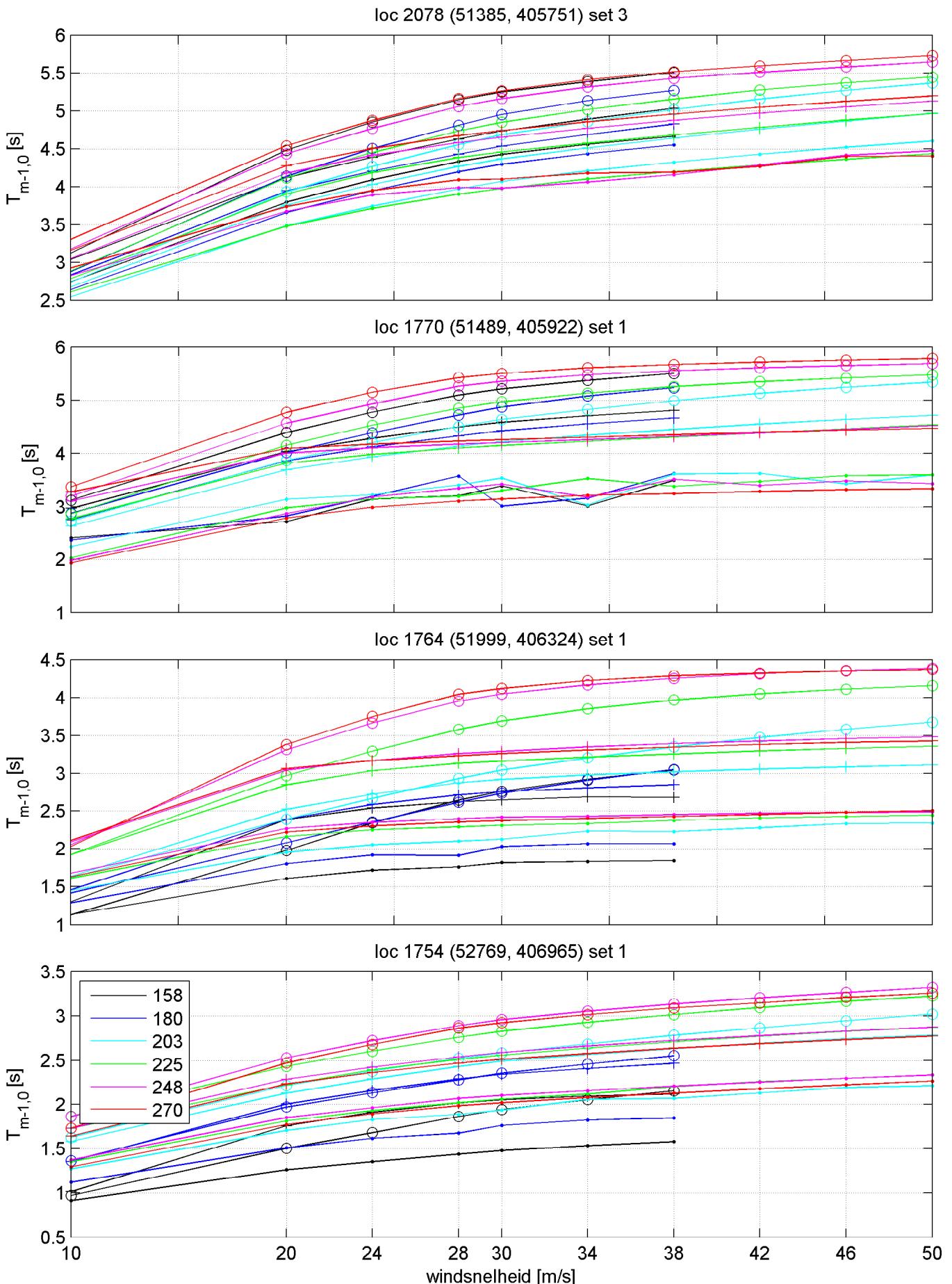
$Hm0$ [m] open kering

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.6.1.a

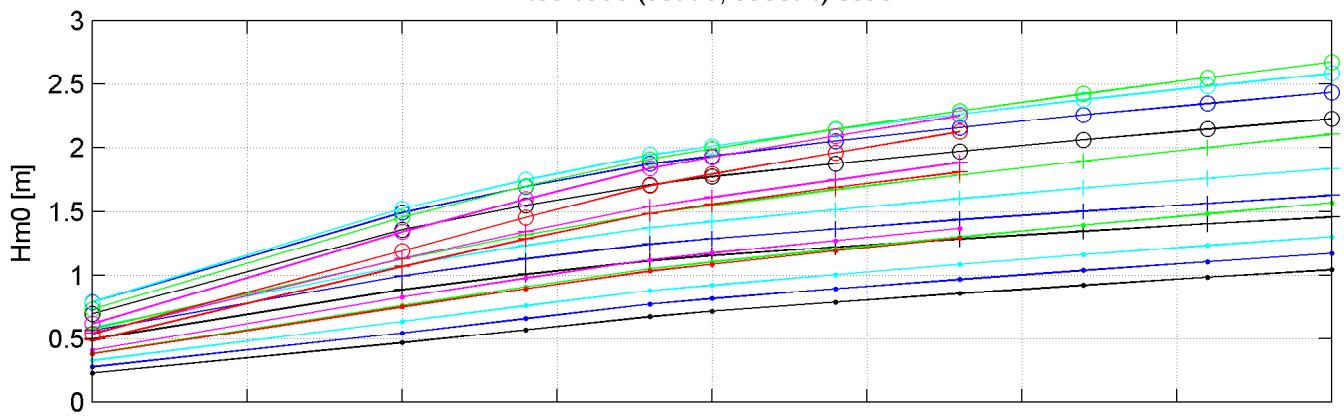


Golfhoogte Havenkanaal Zierikzee
 \circ =NAP+6.5m; $+$ =NAP+3m; $.$ =NAP+0m

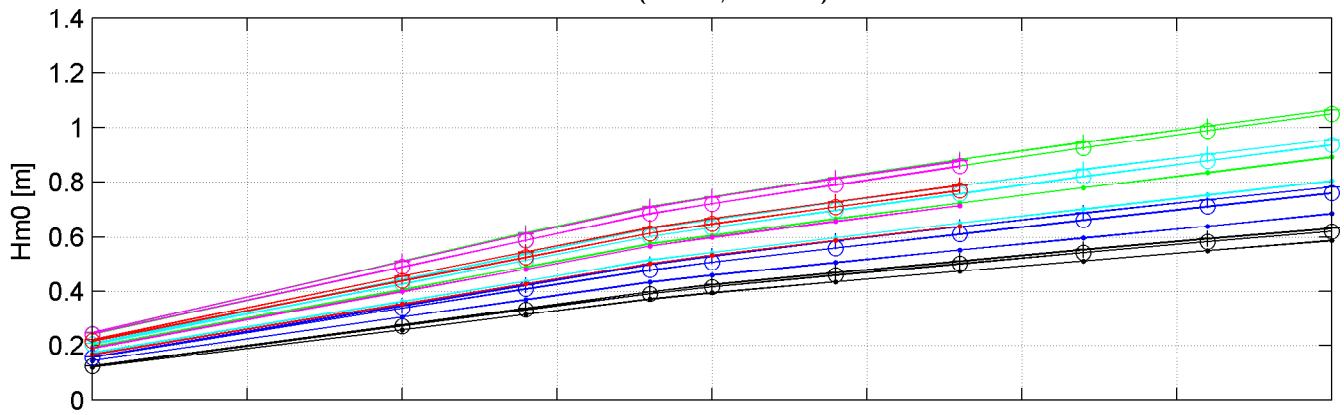
$T_{m-1,0}$ [s]	open kering
-----------------	-------------

SWAN-Oosterschelde

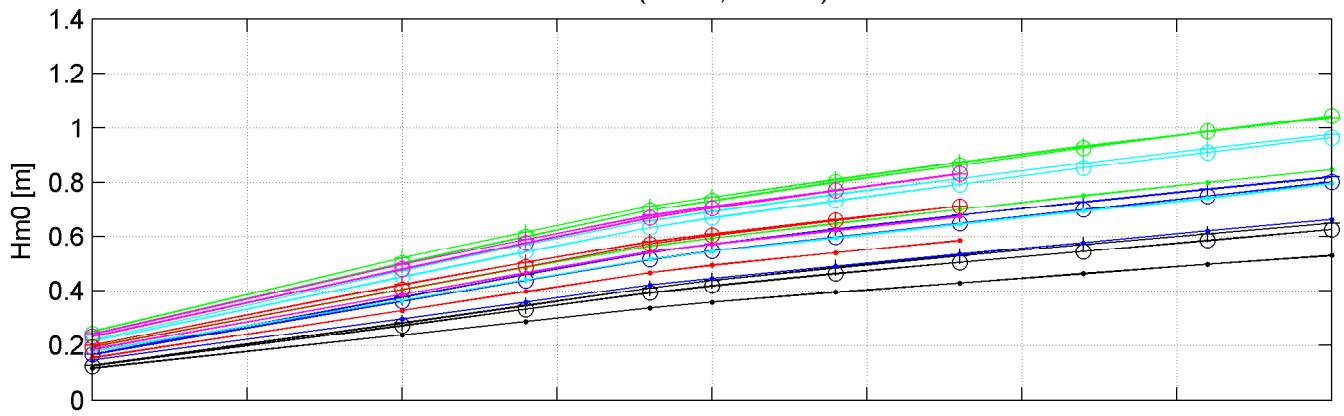
loc 1950 (59775, 393074) set 3



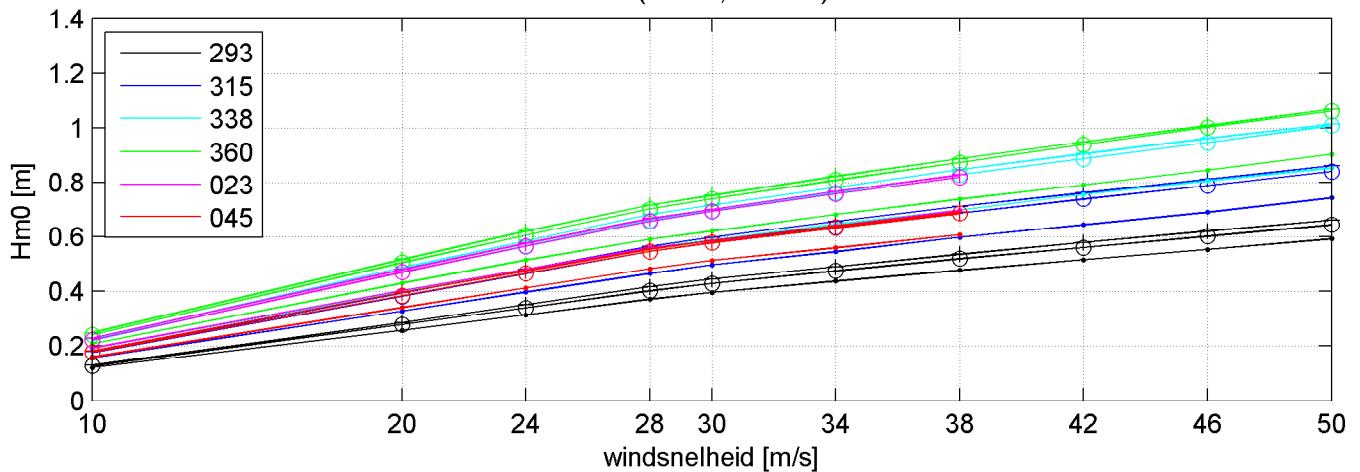
loc 2251 (58989, 390571) set 3



loc 2252 (58984, 389571) set 3



loc 2254 (59037, 387572) set 3



Golfhoogte Kanaal door Zuid-Beveland
o=NAP+6.5m; +=NAP+3m; .=NAP+0m

$Hm0$ [m] open kering

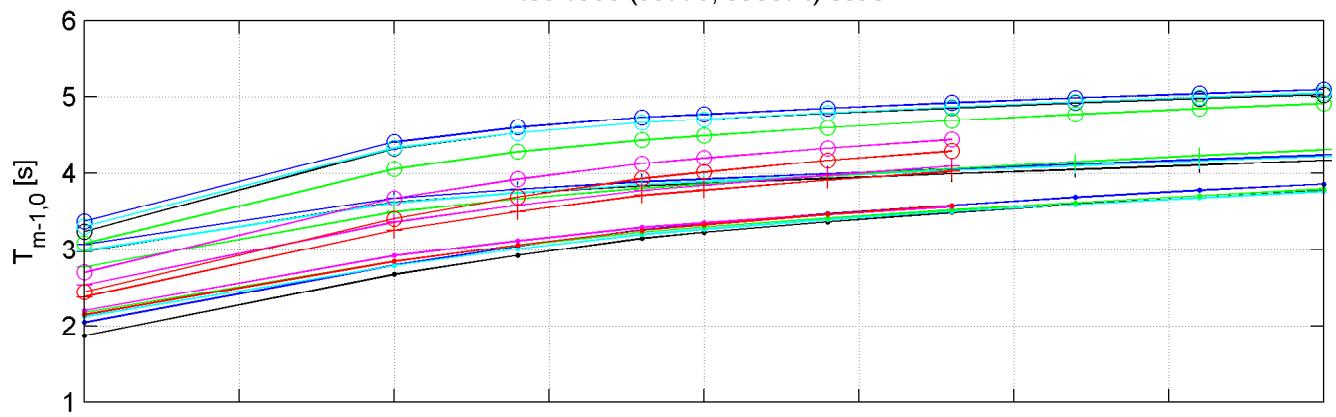
SWAN-Oosterschelde

DELTARES

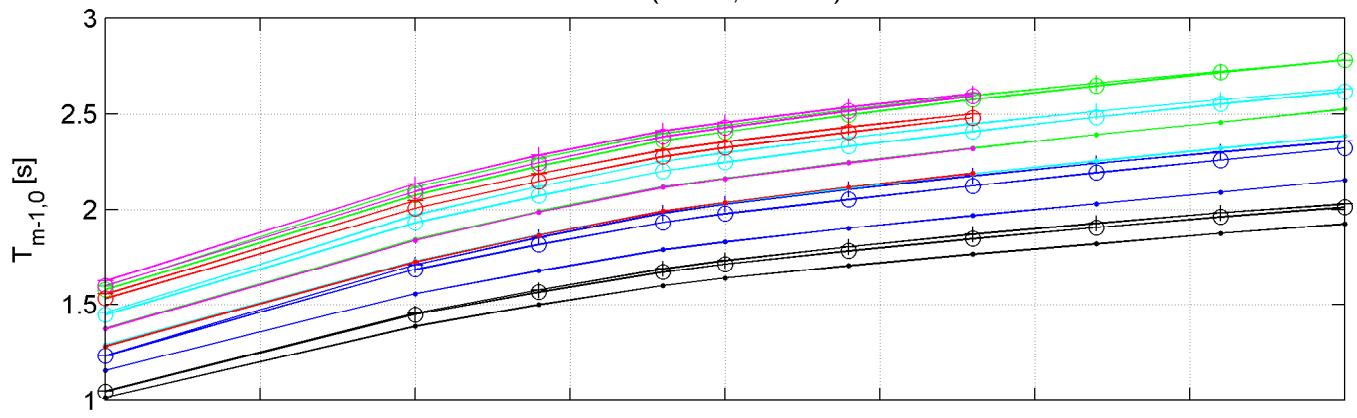
11200556

Fig A.6.2.a

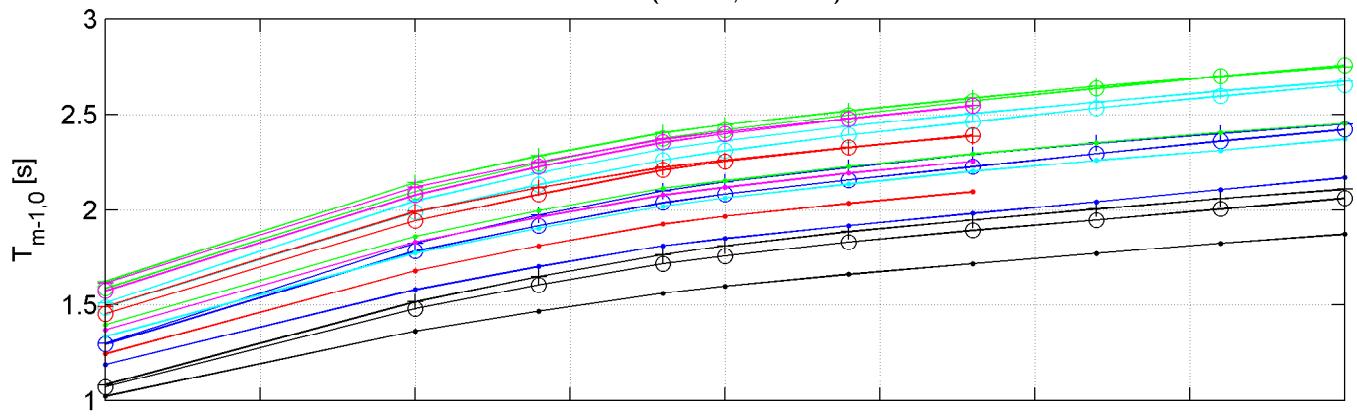
loc 1950 (59775, 393074) set 3



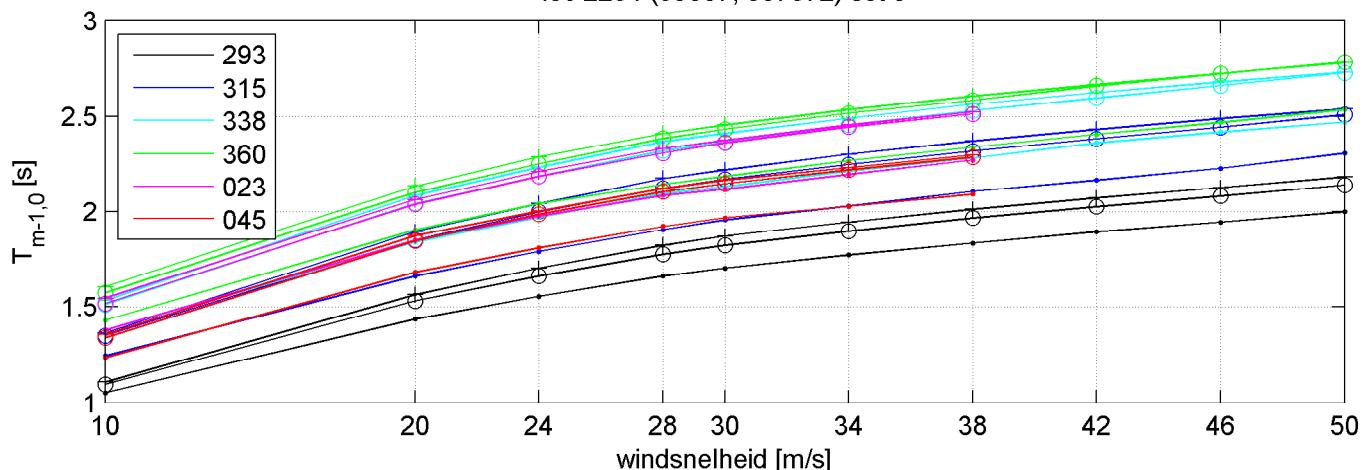
loc 2251 (58989, 390571) set 3



loc 2252 (58984, 389571) set 3



loc 2254 (59037, 387572) set 3



Golfhoogte Kanaal door Zuid-Beveland
o=NAP+6.5m; +=NAP+3m; .=NAP+0m

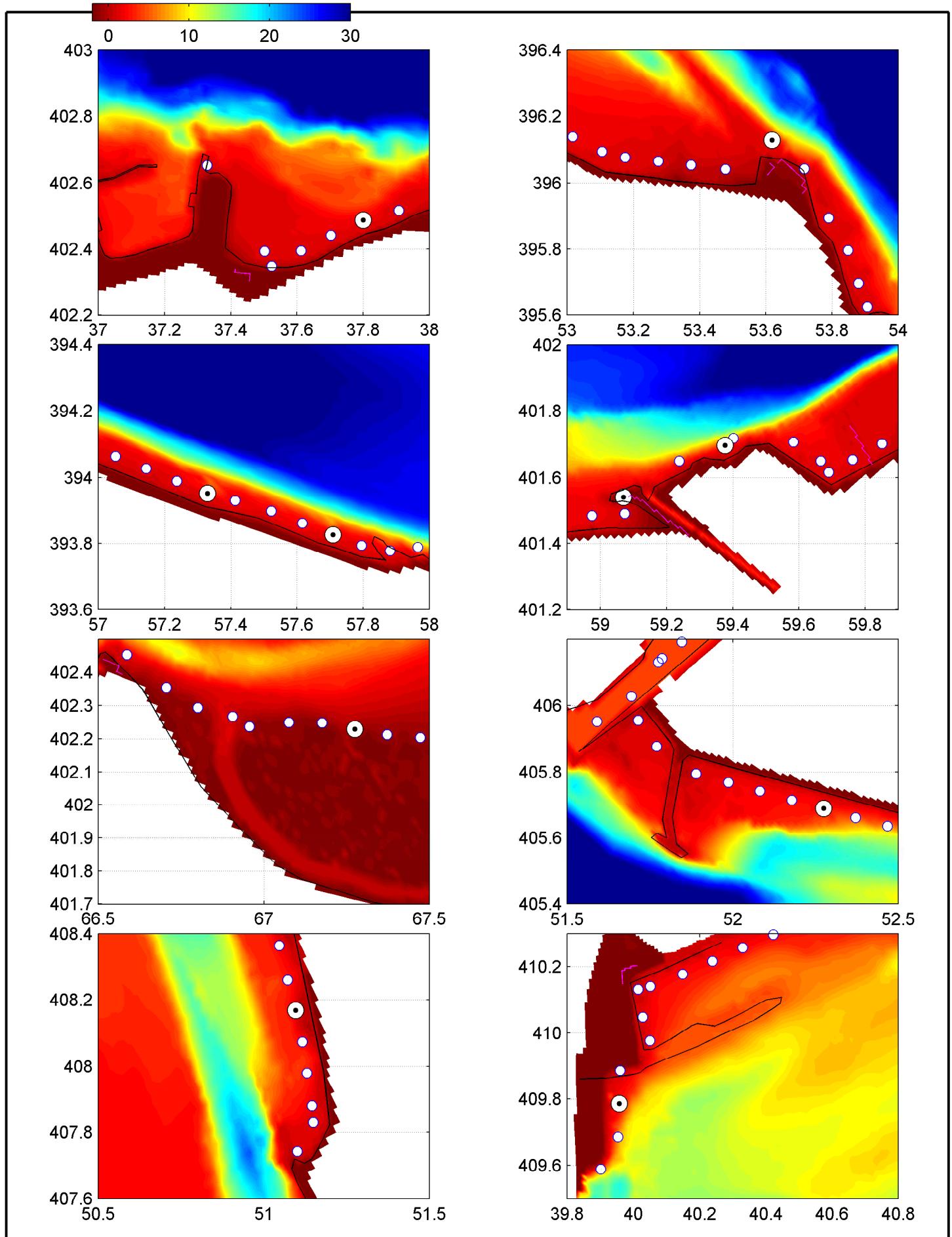
$T_{m-1,0}$ [s]	open kering
-----------------	-------------

SWAN-Oosterschelde

DELTARES

11200556

Fig A.6.2.b



10 locaties uit opgeschoonede set waar $H_m/d > 1.2$
bodemligging in kleur [m-NAP]

SWAN-Oosterschelde

B Tabellen

golfsteilheid > 0.16 (OSK DICHT) aantallen uitgesplitst naar windrichting

X	Y	Botlev	023	045	068	090	113	135	158	180	203	223	248	70	293	315	338	360	tot
37121	404276	1.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	4
37423	405410	-4.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
37479	405485	-4.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
37608	405628	-4.18	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0	0	0	0	11
37748	405767	-4.23	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	3	0	0	0	0	0	12
38117	406094	-4.12	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	4	1	0	0	0	0	19
38681	406496	-4.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
38767	406557	-3.91	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4
39259	407219	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
42259	410921	4.30	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
44409	412394	-0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	0	0	0	0	0	7
44484	412470	-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
53870	395224	-0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	7
53906	395625	1.02	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
54670	406262	-1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3
59101	392610	-0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
60275	398497	-1.16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
60476	404514	-0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
60657	398350	-1.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	2	0	0	0	8
60799	398283	-1.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
61195	404942	-1.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
61403	404974	-1.80	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
62247	396469	-0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5
62276	396360	-0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	4	0	0	0	0	14
62408	390019	1.88	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
62414	390265	-2.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
65789	407769	6.06	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	8	3	0	0	0	0	20
65801	407866	6.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
65855	408067	3.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
65926	406690	-3.66	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	9
66366	406873	-1.55	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0	0	0	0	0	0	8
66414	405271	-0.58	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	5
66420	406948	-1.42	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
66461	405261	-0.39	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	8	2	0	0	0	0	20
66808	402183	-1.26	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
66978	401962	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
67115	401842	-0.11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
68223	407775	-1.59	0	0	0	0	0	0	0	2	4	3	0	0	0	0	0	0	9
68260	401774	-1.70	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
68317	407740	-1.23	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
68881	407533	-1.62	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
69979	406986	-1.60	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
70169	406699	-1.54	0	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	9
70344	406455	-2.05	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	6
70473	406400	-1.46	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
70738	392069	-4.73	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
70862	406303	-1.57	0	0	0	0	0	0	0	8	6	2	0	0	0	0	0	0	16
70880	403878	-0.99	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	0	0	1	0	0	0	13
71119	406281	-1.72	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
71183	384152	-2.37	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
71343	406316	-1.64	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
71473	406248	-1.08	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
71535	406046	-1.47	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	10
71540	406123	-1.54	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
71575	406017	-1.59	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
71614	383898	-2.47	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3
71667	405973	-0.83	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
71786	383797	-2.30	0	0	0	0	0	0	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	14
72117	405756	-0.46	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	8
72228	383615	-2.19	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
72318	383795	-2.19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
73433	383471	-2.17	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
sum			0	0	0	0	0	0	0	132	97	49	35	7	3	0	0	0	0

golfsteilheid > 0.16 (OSK OPEN) aantallen uitgesplitst naar windrichting		(1e helft)
X	Y	Botlev 023 045 068 090 113 135 158180 203 223 248 70 293 315 338 360 tot
37254	405069	-3.11 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5
37423	405410	-4.29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 3
37479	405485	-4.32 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1
37608	405628	-4.18 0 0 4 5 5 5 5 5 6 5 0 0 0 0 0 0 40
37748	405767	-4.23 0 0 0 0 0 0 0 1 5 4 3 0 0 0 0 0 13
38117	406094	-4.12 0 0 0 0 2 5 6 6 7 7 4 1 0 0 0 0 38
38681	406496	-4.92 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1
38767	406557	-3.91 0 0 4 4 2 2 2 2 3 1 0 0 0 0 0 20
39428	401570	-4.26 0 0 0 0 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5
40349	401656	-3.77 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
41502	410633	2.07 0 1 1 3 5 1 0 0 0 0 0 0 0 2 1 0 14
42259	410921	4.30 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 3
42518	411070	1.40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
42693	402383	2.02 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
44409	412394	-0.55 0 0 1 0 0 0 0 0 2 1 4 0 0 0 0 0 8
44484	412470	-0.09 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 2
44558	412688	0.51 2 5 2 1 1 1 2 1 0 0 0 0 0 0 0 15
45136	402859	-1.40 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
50223	401322	0.92 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
50270	401233	1.32 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 3 5 6 2 1 0 21
51167	399251	2.75 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2
51489	405922	4.10 0 0 2 6 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9
51590	405952	4.20 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
51790	406215	4.20 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
51850	406263	4.20 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
51986	405768	1.82 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
53838	395290	1.44 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
53870	395224	-0.12 0 0 0 0 0 0 1 1 3 4 0 0 0 0 0 9
53906	395625	1.02 0 0 0 0 0 0 0 2 5 0 0 0 0 0 0 7
54054	394877	-0.47 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
54576	406298	-1.86 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
54670	406262	-1.55 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 0 0 0 0 3
56149	404197	0.83 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 1 0 0 0 0 4
57721	400524	2.65 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 2
58288	404033	1.35 0 0 0 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
58950	392908	-5.39 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
59040	386559	1.38 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
59040	391800	6.80 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 2
59101	392610	-0.58 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 3
59330	399245	-1.43 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
59761	401654	1.40 0 0 0 0 1 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 5
60275	398497	-1.16 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1
60476	404514	-0.61 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1
60501	401814	0.83 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1
60657	398350	-1.80 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 5 2 0 0 0 8
60799	398283	-1.80 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 2
60916	404898	-1.70 0 0 0 0 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 5
61195	404942	-1.85 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 4
61403	404974	-1.80 0 0 0 0 1 3 2 1 2 0 0 0 0 0 0 9
62247	396469	-0.41 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 0 0 0 5
62276	396360	-0.35 0 0 0 0 0 0 0 1 3 3 4 4 0 0 0 15
62311	390456	-0.11 0 0 0 0 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 5
62384	390365	-1.42 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
62408	390019	1.88 0 0 0 0 1 1 2 6 5 0 0 0 0 0 0 15
62414	390265	-2.76 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 4
63978	405694	1.57 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1
64500	386259	0.60 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2
64844	393862	1.87 0 0 0 0 2 3 3 5 7 6 0 0 0 0 0 26
65663	403302	1.13 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 3
65707	407498	5.81 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
65731	407596	6.20 0 0 4 13 4 1 1 0 0 0 0 0 0 0 23
65764	407784	5.62 0 0 0 2 4 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11
65789	407769	6.06 0 0 0 2 5 7 5 4 5 5 8 3 0 0 0 0 44
65801	407866	6.25 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 4
65845	407956	6.58 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

golfsteilheid > 0.16 (OSK OPEN) aantallen uitgesplitst naar windrichting (2e helft)

X	Y	Botlev	023	045	068	090	113	135	158	180	203	223	248	70	293	315	338	360	tot
65854	405480	1.94	0	0	0	2	3	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	12
65855	408067	3.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
65859	403244	1.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
65926	406690	-3.66	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	4	0	0	0	0	0	11
66366	406873	-1.55	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	2	0	0	0	0	0	12
66414	405271	-0.58	0	0	0	4	3	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	0	12
66420	406948	-1.42	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
66461	405261	-0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	8	2	0	0	0	20
66527	407112	-1.58	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
66583	407199	-1.57	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
66808	402183	-1.26	0	0	0	0	1	2	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	10
66978	401962	0.24	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4
67115	401842	-0.11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
68060	401782	-1.81	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
68131	407809	-1.52	0	0	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
68160	401777	-1.27	0	2	2	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
68223	407775	-1.59	0	0	0	2	3	3	2	2	2	4	3	0	0	0	0	0	21
68260	401774	-1.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
68317	407740	-1.23	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
68787	407568	-1.26	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
68820	401774	-1.89	0	4	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
68881	407533	-1.62	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
69112	401841	-1.61	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
69140	393466	1.35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
69308	401885	-1.19	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
69405	401907	-1.78	3	5	6	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
69927	393344	1.88	0	0	1	1	1	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	10
69979	406986	-1.60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
70026	393336	1.40	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
70169	406699	-1.54	0	0	0	0	0	0	2	2	2	5	4	0	0	0	0	0	15
70297	406522	-1.58	0	0	0	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	18
70344	406455	-2.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	6
70473	406400	-1.46	0	0	0	1	2	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	9
70725	391985	0.88	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
70738	392069	-4.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
70764	406327	-1.79	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
70862	406303	-1.57	0	0	1	4	5	6	5	8	6	2	0	0	0	0	0	0	43
70880	403878	-0.99	0	0	0	0	1	3	5	6	7	5	0	0	1	0	0	0	28
71119	406281	-1.72	0	0	1	2	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9
71183	384152	-2.37	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
71343	406316	-1.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
71473	406248	-1.08	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4
71526	383950	-2.18	0	0	2	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
71528	390695	0.32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
71535	406046	-1.47	0	0	0	1	2	3	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	24
71540	406123	-1.54	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
71575	406017	-1.59	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
71614	383898	-2.47	0	0	0	0	1	3	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	10
71667	405973	-0.83	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
71786	383797	-2.30	0	0	2	4	5	6	5	8	6	0	0	0	0	0	0	0	41
71871	383746	-2.35	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
72027	405800	-1.44	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
72117	405756	-0.46	0	0	0	0	1	2	2	2	4	4	0	0	0	0	0	0	15
72129	383594	-2.19	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
72228	383615	-2.19	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
72273	383706	-2.24	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
72318	383795	-2.19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
73433	383471	-2.17	0	0	0	1	1	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9
73825	388420	1.88	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
sum			10	24	51	90	108	104	86	85	150	114	55	40	11	5	2	0	

golfhoogte/waterdiepte > 1.2 (OSK DICHT) aantalen uitgesplitst naar windrichting

X	Y	Botlev	023	045	068	090	113	135	158	180	203	223	248	70	293	315	338	360	tot
37459	402316	-4.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
41432	402211	-4.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3		
47760	402972	-2.86	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	20	23	20	20	0	139	
59176	401497	-2.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	2	0	12	
62372	391262	-3.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	0	15	
62431	390048	-3.88	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	5	8	9	0	36
67210	407882	-1.59	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	14	13	13	14	16	0	91
sum			0	0	0	0	0	0	36	35	34	38	46	52	60	0			

golfhoogte/waterdiepte > 1.2 (OSK OPEN) aantalen uitgesplitst naar windrichting

X	Y	Botlev	023	045	068	090	113	135	158	180	203	223	248	70	293	315	338	360	tot	
37358	402394	-5.19	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
37459	402316	-4.03	6	5	5	5	4	0	0	0	0	0	0	3	7	0	35			
37800	402488	1.65	6	5	4	4	2	0	0	0	0	0	5	8	9	9	0	61		
38892	401944	-6.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
41432	402211	-4.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	0	9	
47760	402972	-2.86	12	12	11	8	4	1	0	4	18	18	23	24	23	20	20	0	198	
51096	408169	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	1	0	0	10		
52274	405688	2.32	0	0	0	0	2	2	0	1	1	3	0	0	0	0	0	9		
53989	395382	0.43	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
57330	393952	1.52	5	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	3	5	7	7	0	45	
57708	393827	1.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	0	9	
59176	401497	-2.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	2	0	11	
59376	401697	2.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	0	9
62372	391262	-3.95	4	4	4	4	4	1	0	0	0	0	0	0	4	5	6	0	36	
62431	390048	-3.88	6	7	11	11	11	9	6	9	5	0	0	5	8	9	0	108		
62601	389789	-3.42	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
62659	389686	-3.84	0	3	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17		
67210	407882	-1.59	10	9	7	4	1	0	0	0	9	12	14	13	13	14	16	0	122	
sum			49	51	55	50	37	19	9	11	37	39	44	54	73	80	85	0		

C Randvoorwaarden Noordzeerooster

Voor de situaties waarbij de wind vanuit zee waait, komt golfenergie het Noordzeerooster binnen doordat bij deze richtingen golfrandvoorwaarden op de noordwestelijke modelrand worden gezet.

De golfrandvoorwaarden zijn afgeleid uit 'Diepwaterrandvoorwaarden' (HKV, 2010). In dat rapport zijn voor een aantal meetlocaties voor diverse combinaties van windrichting en potentiele windsnelheid de bijbehorende golfperiodes T_p en $T_{m-1,0}$ en de golfhoogte gegeven. Op basis van locatie Europlatform zijn voor windrichtingen 225°N, 247.5°N, 270°N, 292.5°N, 315°N, 337.5°N, 360°N en 22.5°N de benodigde golfparameters (H_{m0} en T_p) bij windsnelheden 10, 20, 24, 28, 30, 34, 38, 42, 46, 50 m/s met lineaire inter- en extrapolatie bepaald. Omdat voor zuidelijke richtingen locatie Scheur West relevanter is dan Europlatform, hebben we voor 180° de waarden van Scheur West gebruikt, en voor 202.5°N interpoleren we tussen de 180°N van Scheur West en de 210°N van Europlatform.

Voor windrichtingen 45°N, 67.5°N, 90°N, 112.5°N, 135°N, 157.5°N passen we geen golfrandvoorwaarden toe omdat de wind dan vanaf de modelrand uit het rooster gericht is.

De randvoorwaarden worden als volgt in de *.SWN-file opgegeven (voorbeeld):

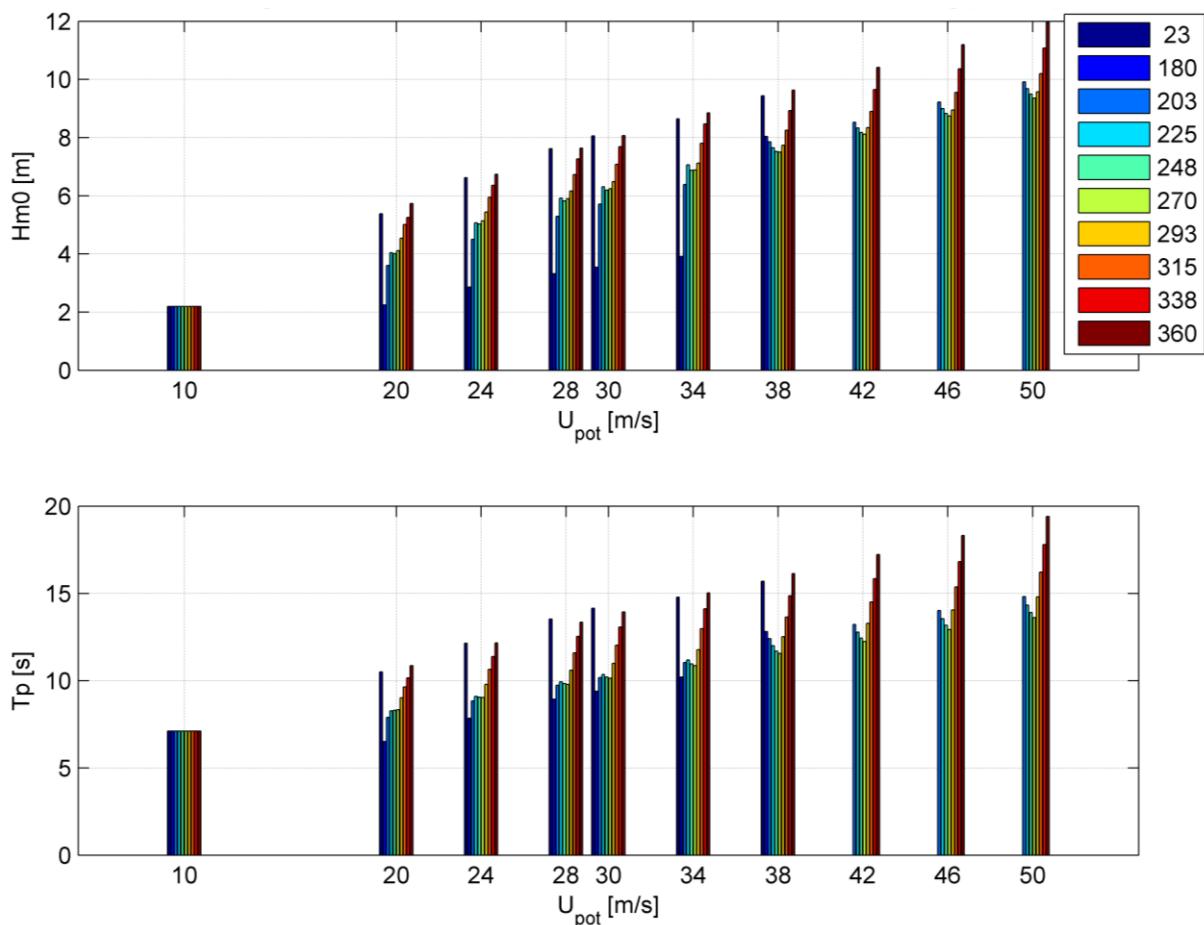
```
BOUND SHAPE JONSWAP GAMMA=3.3 PEAK DSPPR POWER
BOUND SEGMENT IJ 0 129 271 129 CONST PAR HS= 2.19 PER=7.11 DIR=292.5
```

Voor de richtingsspreiding wordt de defaultwaarde 2 gebruikt. Tabel C.1 bevat de gegevens die zijn overgenomen uit HKV, 2010 voor locatie Europlatform en Scheur West (alleen 180°N). De windsnelheid is de potentiele windsnelheid.

Wind Dir [°N]	Wind [m/s]	$T_{m-1,0}$ [s]	H_{m0} [m]	T_p [s]
30	12.4	5.208	1.772	5.848
30	16.6	7.857	4.034	8.824
30	20.9	9.493	5.609	10.816
30	25.1	10.777	6.848	12.493
30	29.2	11.872	7.878	13.958
30	33.4	12.888	8.83	15.342
60	12.7	5.747	2.158	6.454
60	16.8	7.581	3.755	8.513
60	21	8.977	5.266	10.081
60	25.2	10.169	6.163	11.369
60	29.5	11.265	7.169	12.718
60	33.7	12.252	8.068	13.967
180	12.5	4.056	1.019	4.409
180	16.9	4.974	1.532	5.407
180	21.2	6.374	2.517	6.928
180	25.6	7.33	3.06	8.374

180	30	8.109	3.537	9.387
180	34.4	8.791	3.95	10.293
210	13.2	5.976	2.504	6.723
210	17.4	6.921	3.359	7.786
210	21.9	7.678	4.601	8.643
210	26.5	8.454	5.701	9.663
210	31.1	9.215	6.665	10.679
210	35.8	9.971	7.573	11.704
240	13.7	6.162	2.616	6.895
240	17.7	6.988	3.379	7.813
240	22.1	7.69	4.58	8.68
240	26.7	8.404	5.553	9.586
240	31.4	9.106	6.417	10.496
240	36.2	9.792	7.222	11.401
270	13.9	6.359	2.732	7.123
270	17.8	7.119	3.423	7.974
270	22.1	7.781	4.759	8.674
270	26.7	8.454	5.672	9.545
270	31.5	9.118	6.496	10.417
270	36.4	9.76	7.256	11.27
300	12.7	6.708	3.086	7.539
300	17.3	7.754	4.124	8.715
300	21.9	8.566	5.174	9.573
300	26.6	9.358	6.018	10.561
300	31.3	10.109	6.788	11.519
300	36	10.823	7.506	12.446
330	12.3	6.684	2.787	7.527
330	16.7	7.921	3.913	8.919
330	21.2	9.11	5.544	10.288
330	25.8	10.176	6.672	11.641
330	30.4	11.14	7.652	12.896
330	35.1	12.047	8.562	14.101
360	12.2	7.1	3.034	7.959
360	16.6	8.565	4.72	9.662
360	20.9	9.754	5.994	11.164
360	25.4	10.847	7.084	12.59
360	29.8	11.813	8.026	13.879
360	34.3	12.724	8.908	15.114

Tabel C.1 Golfperiode, golfhoogte en piekperiode voor gegeven windrichting en –snelheid voor de locatie Europlatform (behalve 180°: Scheur West) voor de rekenmethode met variantie. bron: HKV, 2010



Figuur C.1 Golfrandvoorwaarden voor de NW-rand van het Noordzeerooster als functie van windsnelheid en windrichting (in kleur)

Een overzicht van alle golfrandvoorwaarden is te vinden in Figuur C.1. en in Tabel C.2. Daaruit blijkt duidelijk dat de golfrandvoorwaarden toenemen bij toenemende windsnelheid en dat de randvoorwaarden bij WZW wind over het algemeen kleiner zijn dan bij wind uit NW.

Het is goed om te realiseren dat het belang van juiste diepwaterrandvoorwaarden beperkt is bij de hoge windsnelheden die beschouwd worden.

Hs [m]	22.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
10	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
20	5.38	2.24	3.6	4.04	4.01	4.11	4.54	5.01	5.25	5.73
24	6.62	2.86	4.5	5.07	5.03	5.14	5.44	5.95	6.36	6.74
28	7.62	3.32	5.29	5.92	5.82	5.9	6.16	6.73	7.27	7.64
30	8.06	3.54	5.71	6.31	6.19	6.24	6.48	7.08	7.69	8.07
34	8.64	3.91	6.39	7.06	6.87	6.88	7.12	7.8	8.47	8.85
38	9.43	8.04	7.85	7.65	7.52	7.5	7.73	8.25	8.93	9.63
42	-	-	8.53	8.33	8.17	8.12	8.34	8.9	9.65	10.41
46	-	-	9.22	9	8.83	8.74	8.95	9.55	10.36	11.19
50	-	-	9.91	9.68	9.49	9.36	9.57	10.2	11.08	11.97
Tp [s]	22.5°	180°	202.5°	225°	247.5°	270°	292.5°	315°	337.5°	360°
10	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.11
20	10.49	6.5	7.89	8.27	8.3	8.33	9.01	9.64	10.16	10.85
24	12.14	7.85	8.84	9.1	9.05	9.03	9.78	10.64	11.38	12.15
28	13.53	8.93	9.73	9.93	9.83	9.78	10.59	11.59	12.53	13.35
30	14.15	9.39	10.17	10.35	10.21	10.14	10.99	12.03	13.07	13.93
34	14.78	10.21	11.04	11.18	10.96	10.85	11.77	12.97	14.12	15.03
38	15.7	12.81	12.4	12	11.69	11.55	12.51	13.64	14.86	16.13
42	-	-	13.21	12.78	12.43	12.24	13.28	14.5	15.84	17.22
46	-	-	14.02	13.55	13.16	12.92	14.04	15.36	16.82	18.32
50	-	-	14.82	14.33	13.9	13.61	14.8	16.22	17.8	19.41

Tabel C.2 Golfrandvoorraarden (Hs en Tp) per windsnelheid en richting, toegepast op de noordwestelijke modelrand van het Noordzeerooster in de SWAN-Oosterschelde berekeningen

D Wind

Omdat de wind boven de Noordzee meestal harder waait dan boven land of de estuaria, is aanbevolen om in plaats van uniforme wind, ruimtelijk variërende windvelden te gebruiken (Deltares/HKV, 2016c). Deze appendix geeft ook extra informatie over de toegepaste winddrag.

D.1 Ruimtelijke windvelden

Op basis van KNMI-metingen over de periode 1981-2015 is bepaald in hoeverre de windsnelheid op diverse locaties op de Oosterschelde en net ten westen daarvan, afwijkt van de windsnelheid van Vlissingen. Dit is gedaan voor vier sectoren van elk 90° (N, O, Z, W). De statistiek van Vlissingen wordt gehanteerd in Hydra-NL. Over het algemeen blijkt het boven zee harder te waaien dan in het oosten van de Oosterschelde, zie Tabel D.1. Een vergelijkbare analyse is uitgevoerd op basis van HARMONIE windgegevens, afkomstig van de studie 'Construction of model-based extreme wind fields for the assessment of the Dutch primary water defenses' (Deltares, 2015). Op basis van KNMI's HARMONIE windvelden van de periode 1979-2013 is de statistiek van de open-water wind voor een willekeurig locatie op te stellen. In de HARMONIE analyse beschouwen we de extreme richtingsafhankelijke windsnelheden met herhalinstijden van meer dan 1000 jaar. Beide resultaten zijn gecombineerd tot de factoren die zijn weergegeven in Tabel D.2. Zij zijn de basis voor de windvelden die voor SWAN en WAQUA zijn aangemaakt.

op basis van metingen	uit NOORD (0°N)	uit OOST (90°N)	uit ZUID (180°N)	uit WEST (270°N)
Oosterschelde	1.26	1.06	1.07	0.99
Tholen	0.98	0.79	0.95	0.83
Europlatform	1.21	1.06	1.12	0.93
Lichteland Goeree	1.23	0.96	1.03	0.94
Vlake van de Raan	1.24	1.02	1.05	1.00

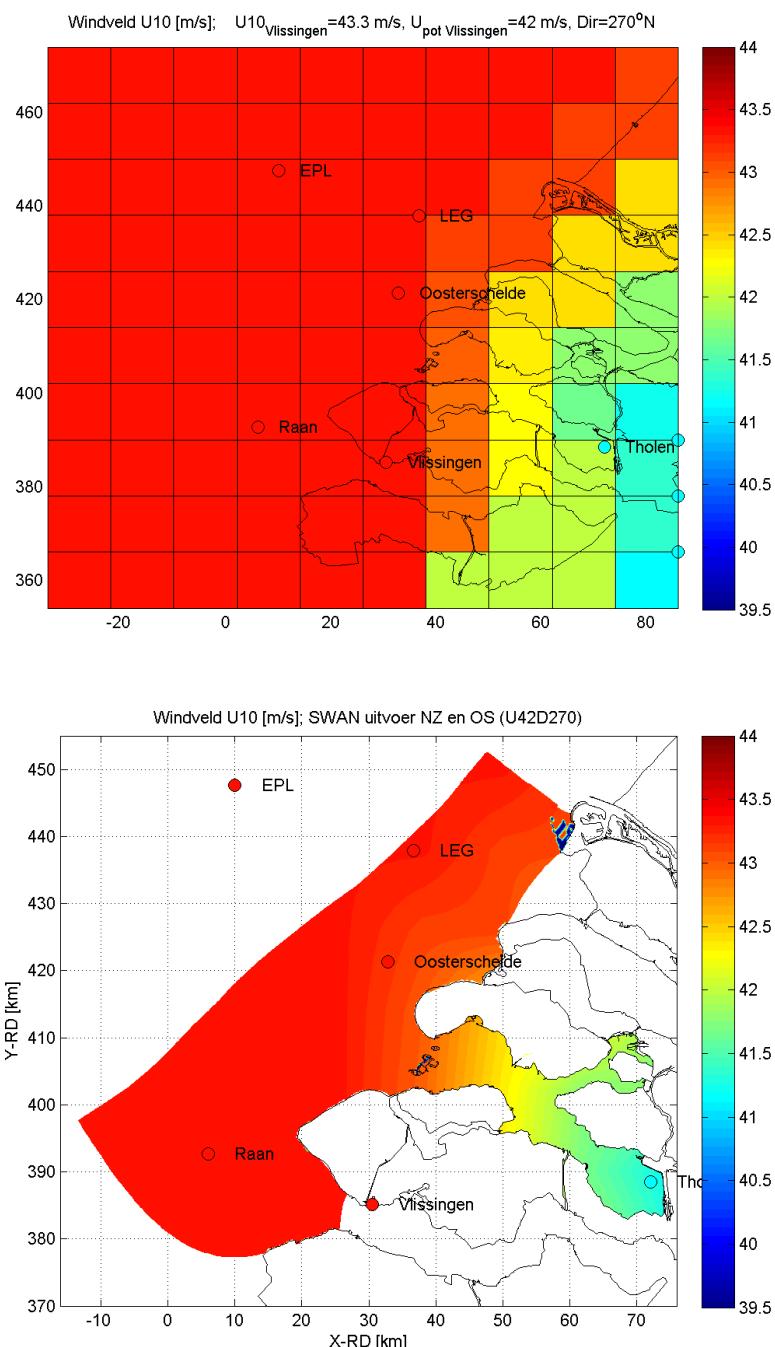
Tabel D.1 Verhouding windsnelheid op genoemde locatie en te Vlissingen, gebaseerd op metingen 1981 - 2015

combinatie metingen en model	uit NOORD (0°N)	uit OOST (90°N)	uit ZUID (180°N)	uit WEST (270°N)
Oosterschelde	1.25	1.05	1	1
Tholen	1	0.95	0.9	0.95
Europlatform	1.25	1.1	1.1	1
Lichteland Goeree	1.25	1.05	1	1
Vlake van de Raan	1.25	1.05	1	1

Tabel D.2 Verhouding windsnelheid op genoemde locatie en te Vlissingen, gebaseerd op zowel metingen als HARMONIE modeluitkomsten

De windvelden die nodig zijn voor de WBI-golfberekeningen variëren in snelheid en richting. Voor de richtingen gelden zestien sectoren van elk 22.5°, met als middens [0:22.5:360]. De voorgedefinieerde windsnelheden zijn [10, 20, 24, 28, 30, 34, 38, 42, 46, 50] m/s, gedefinieerd als potentiele windsnelheid te Vlissingen. Het rooster van de windvelden meet 120 km bij 120 km (X=-34000 – 86000 m; Y=354000 – 474000 m, verdeeld in 10 bij 10 cellen) en beslaat daarmee beide SWAN roosters, zie Figuur D.1. De celmaat is 12 km x 12 km. Op basis van de factoren uit Tabel D.2 en de gewenste windsnelheid en windrichting te

Vlissingen, is een windveld gemaakt. Naast de zes boven genoemde windmeetlocaties worden drie steunpunten (met de waarde van Tholen) gebruikt op de oostelijke windveldrand om het hele gebied te kunnen dekken. De eerste interpolatieslag is linear, daarna wordt het gebied opgevuld met de interpolatie-optie 'nearest'. Er wordt ook geïnterpolateerd tussen de vier hoofdsectoren. Het resulterende windveld betreft de U10 (windsnelheid op 10 m hoogte). Voor de omrekening van potentiele wind naar open water wind is – gelijk aan eerdere WBI rondes - gebruik gemaakt van het Matlabscript 'Upot2Uow_Charnock.m', gebaseerd op de Charnock formuleering, met alfa=0.0185 (zie ook Tabel D.3).



Figuur D.1 Voorbeeld windveld zoals opgegeven in SWAN (boven) en na interpolatie (onder)

D.2 Windruwheid (winddrag)

Er zijn verschillende formuleringen in omloop om de windsnelheid om te rekenen naar de schuifspanningssnelheid u_* aan het wateroppervlak. Het gaat dan vooral om de ruwheidsfactor C_d (ook wel drag coëfficiënt genoemd).

Het verdient aanbeveling om binnen het golfmodel en het hydrodynamisch model met consistente formuleringen te werken. Ook de manier waarop de potentiele windsnelheid naar open water wind snelheid wordt omgerekend moet daar bij aansluiten.

Tot nu toe is voor WBI-toepassingen in SWAN voor snelheden boven 7.5 m/s altijd de formulering volgens Wu (1982) gebruikt (zie groene lijn in Figuur D.2):

$$C_d = (a + b * U_{10}) * 10^{-3}.$$

Volgens Wu (1982) zijn de optimale waarden voor a en b:

$$a = 0.8$$

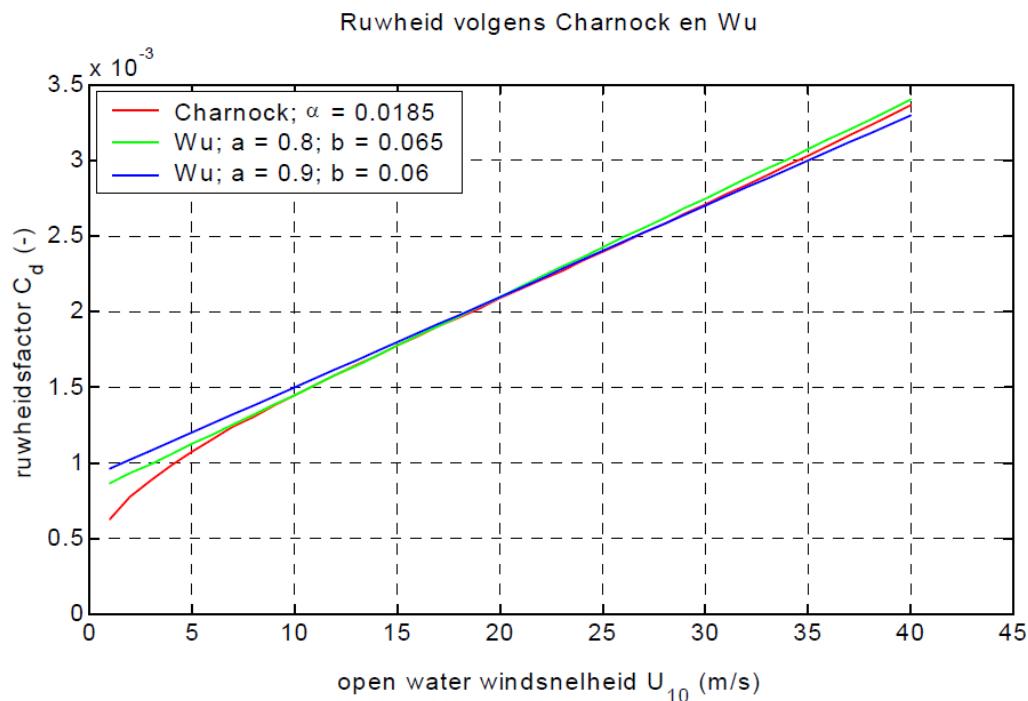
$$b = 0.065 \text{ s/m}$$

En deze zijn ook in SWAN gebruikt. Een andere combinatie die in het WAQUA Oosterscheldemodel wordt gebruikt is (zie blauwe lijn):

$$a = 0.9$$

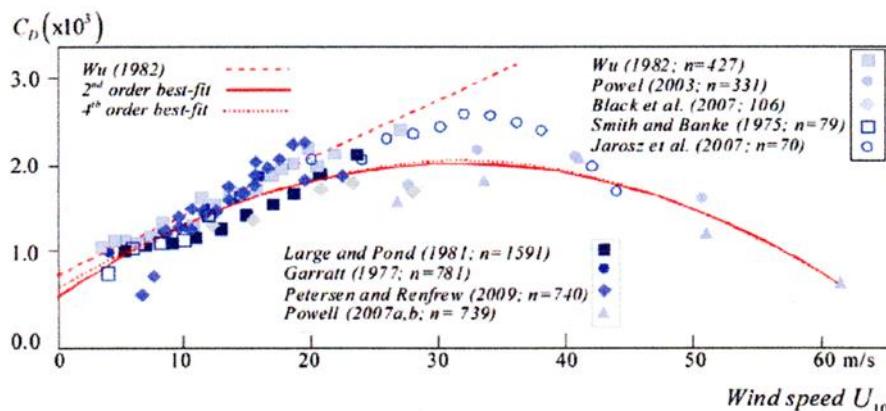
$$b = 0.06 \text{ s/m}$$

Voor het omrekenen van potentiele wind naar open water wind maken we voor de SWAN berekeningen gebruik gemaakt van de Charnock formulering (met $\alpha=0.0185$, zie rode lijn). De waarde $\alpha=0.0185$ wordt binnen WBI standaard gebruikt voor de meren; voor de kust wordt $\alpha=0.032$ gebruikt (de Waal, 2010).



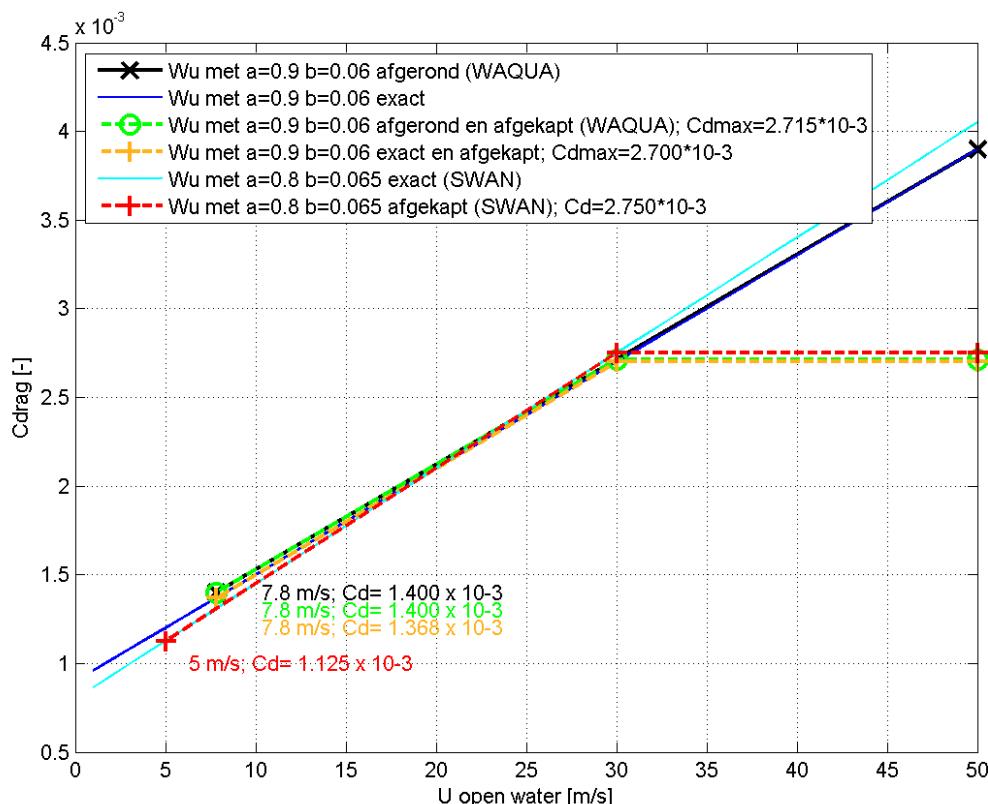
Figuur D.2 Ruwheidsfactor volgens Charnock en Wu (bron: RIZA, 2003)

In de huidige studie laten we de ruwheidscoëfficiënt niet onverminderd toenemen met toenemende windsnelheid, maar stellen we een maximum in bij 30 m/s (open water) wind, te weten $C_d=0.00275$. Dit is in lijn met het voorstel van Van Vledder, 2015, en resulteert in minder conservatieve extremen. Metingen tonen aan dat de drag niet toe blijft nemen en mogelijk zelfs afneemt ten gevolge van schuimvorming en het afwaaien van golfkoppen (zie Figuur D.3).



Figuur D.3 Winddrag parameterisatie en waargenomen Cd waarden als functie van windsnelheid
(bron: figuur 3 van Zijlema et al., 2012).

Onderstaande figuur toont in detail het verloop van de ruwheidswaarde als toegepast binnen de SWAN- en WAQUA-berekeningen. Het Cd-verloop is niet identiek omdat we de WAQUA instellingen binnen het calibratie bereik niet wilde wijzigen, en in SWAN niet de coëfficiënten binnen de Wu formulering konden wijzigen. Bovendien waren in WAQUA enigszins aferonde waarden gebruikt ($C_d = 0.0014$ bij wind=7.8 m/s en $C_d = 0.0039$ bij wind = 50 m/s). De verschillen zijn gering, zie Figuur D.4.

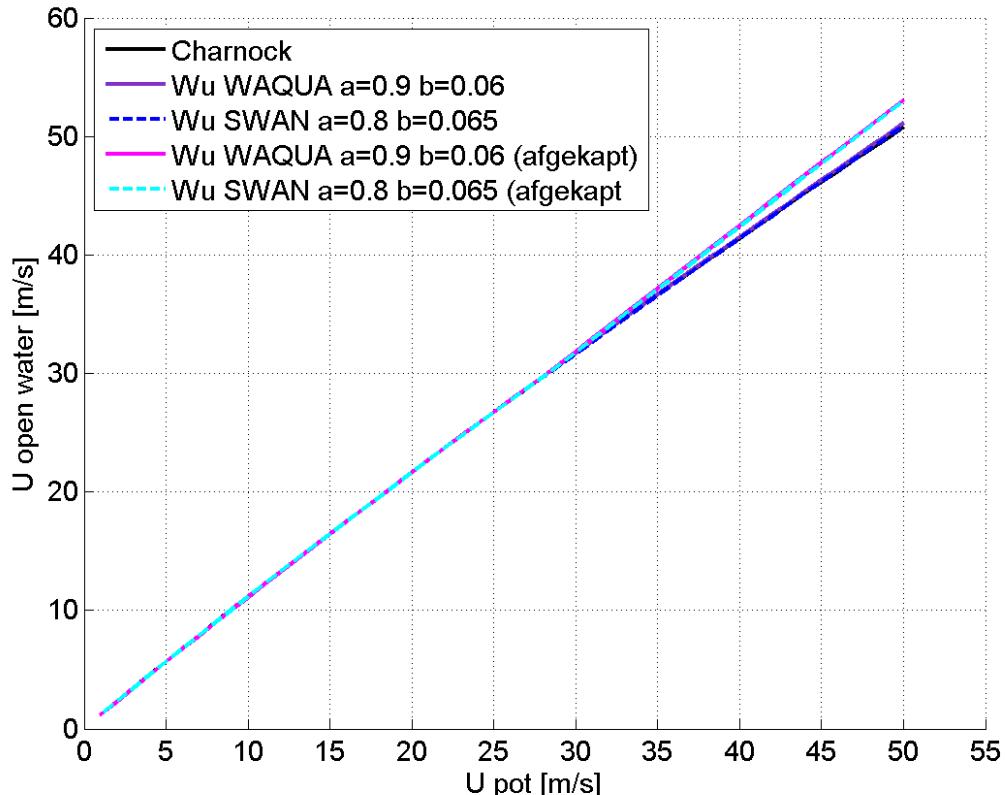


Figuur D.4 Ruwheidsfactor (Cdrag) volgens Wu met diverse constantes, afrondingen en afkappingen

De afgekapselde Wu formulering is dus gebruikt zowel in de SWAN berekeningen als in de WAQUA berekeningen. Echter, om de potentiele windsnelheid om te zetten in de open water wind (invoer voor SWAN en WAQUA) is de Charnock formulering gebruikt, zonder afkapping. Dit heeft tot gevolg dat de opgelegde windsnelheid in de berekeningen boven de 30 m/s enkele procenten te laag is, zie Figuur D.5. Echter, de onnauwkeurigheid ligt binnen de betrouwbaarheid van de ruimtelijke variatie in windsnelheid.

U_{pot} [m/s]	10	20	24	28	30	34	38	42	46	50
U_{ow} o.b.v. Charnock $\alpha=0.0185$	11.14	21.64	25.71	29.73	31.71	35.64	39.50	43.31	47.07	50.77
U_{ow} o.b.v. Wu;30m/s afgekapt	11.14	21.62	25.68	29.69	31.79	36.02	40.26	44.50	48.74	52.98

Tabel D.3 Omrekening van potentiele windsnelheid naar open water windsnelheid [m/s]



Figuur D.5 Omrekening van U_{pot} naar U open water. De zwarte lijn is de bovenste regel uit Tabel D.3 (toegepast in de huidige studie) en de turquoise lijn is de onderste regel uit Tabel D.3.

D.3 Samenvatting

In de SWAN- en WAQUAberekeningen gebruiken we voor windsnelheden onder 30 m/s (open water wind) de formulering van Wu (1982) voor de winddrag, en daarboven houden we de drag constant (maximale waarden $C_d_{SWAN} = 0.00275$, $C_d_{WAQUA} = 0.002715$). Vanwege andere coefficienten verschillen de waarden voor de winddrag van WAQUA en SWAN enigszins.

In de SWAN- en WAQUAberekeningen wordt de wind als grof ruimtelijk variërend windveld van open water wind opgegeven, en de modellen interpoleren zelf naar het eigen rekenrooster. De stochast blijft echter potentiele windsnelheid te Vlissingen. De ruimtelijke variatie – die richtingsafhankelijk is – is gebaseerd op ruim 30-jarige meetreeksen waaruit blijkt dat het op de Noordzee gemiddeld harder waait dan in het oosten van de Oosterschelde. Bovendien blijkt dat bij noordelijke windrichtingen de windsnelheid te Vlissingen relatief laag is, en daar compenseren de windvelden ook voor.

E Opzet uitgevoerde SWAN-berekeningen

De hoofdstructuur is als volgt:

INPFIX bevat vaste input
 INPVAR bevat variabele input
 RUN hier worden de berekeningen uitgevoerd en komt de uitvoer terecht

- INPFIX bevat zowel voor het Noordzee- als het Oosterschelderooster de bestanden voor de bodemroosters, rekenroosters, uitvoerlocaties en obstakels. De eerste twee letters geven aan of het om het Noordzee- of Oosterschelderooster gaat. De structuur is dan als volgt:

- INPFIX

- NZ.BOT
- NZ.GRD
- NZPCHECK.PNT
- OS.BOT
- OS.GRD
- OS.OBS
- ...

- INPVAR bevat de variabele input, te weten de windvelden (WIND) en golfrandvoorwaarden voor het OS-rooster (RVW). Binnen 'RVW' zijn subdirectories voor elke case, met daarin 62 spectrale files, ter plaatse van elke schuif een invoerspectrum . De structuur is dan als volgt:

- INPVAR

- WIND
 - U24D023a.WND
 - U24D045a.WND
 - U24D068a.WND
 - ...
- RVW
 - U24D023Lm200OOa
 - U24D023Lm200OOaHAM01.SP2
 - U24D023Lm200OOaHAM02.SP2
 - U24D023Lm200OOaHAM03.SP2
 - ...
 - U24D023Lm100OOa
 - ...

- RUN is de directory waar de SWAN invoerbestanden (*.SWN) staan, de berekeningen zijn uitgevoerd en de resultaten terecht zijn gekomen. Om het overzicht te bewaren is voor elk van de zestien windrichtingen een subdirectory gemaakt, en vervolgens per runid een subdirectory. De structuur is dan als volgt:

- RUN
 - D023
 - ...
 - D045
 - ...
 - D068
 - U10D068Lm200NZa
 - U10D068Lm200NZa.SWN
 - U10D068Lm200NZa.PRT
 - U10D068Lm200NZaXX.TAB
 - U10D068Lm200NZaXX.SP1
 - U10D068Lm200NZaXX.SP2
 - U10D068Lm200NZaXX.NC
 - U10D068Lm200NZaXX....
 - U10D068Lm200OOa
 - U10D068Lm200OOa.SWN
 - U10D068Lm200OOa.PRT
 - U10D068Lm200OOaXX.TAB
 - U10D068Lm200OOaXX.SP1
 - U10D068Lm200OOaXX.SP2
 - U10D068Lm200OOaXX.NC
 - U10D068Lm200OOaXX....
 - U10D068Lm100NZa
 - U10D068Lm100NZa.SWN
 - U10D068Lm100NZa.PRT
 - U10D068Lm100NZaXX.TAB
 - U10D068Lm100NZaXX.SP1
 - U10D068Lm100NZaXX.SP2
 - U10D068Lm100NZaXX.NC
 - U10D068Lm100NZaXX....
 - ...
 - U20D068Lm200NZa
 - U20D068Lm200NZa.SWN
 - U20D068Lm200NZa.PRT
 - U20D068Lm200NZaXX.TAB
 - U20D068Lm200NZaXX.SP1
 - U20D068Lm200NZaXX.SP2
 - U20D068Lm200NZaXX.NC
 - U20D068Lm200NZaXX....
 - ...

Elke subdirectory (bijv. U24D023Lm200NZa) bevat initieel alleen de SWAN invoerfile. Na een succesvolle run komt daar het *.PRT bestand bij en alle SWAN resultaten. Op deze manier hoeven grote bestanden zoals rekenroosters en bodembestanden maar op één plek te staan. Meerdere SWAN berekeningen kunnen tegelijk gebruik maken van deze bestanden.

In de RUN directory staan ook de runscripts. Er is een runscript voor het Oosterschelderooster met gesloten OSK ('run_OD') en één waarbij het Noordzeerooster wordt doorgerekend, gevolgd door het transmissiescript en het Oosterschelderooster met open OSK ('run'). De runscripts zetten ook de postprocessing in gang.

Het runscript 'run' voor Noordzeerooster en Oosterschelderooster met open OSK:

```

#!/bin/sh
#$ -cwd
#$ -N SWAN
swan_omp_exe=/p/11200556-os/golven/swanmodel/SWANNC8/swan.exe
export LD_LIBRARY_PATH=/p/11200556-os/golven/swanmodel/SWANNC8/
export OMP_NUM_THREADS=8

echo -----
echo $swan_omp_exe
echo with OpenMP on linux cluster.
echo SGE_O_WORKDIR : $SGE_O_WORKDIR
echo HOSTNAME : $HOSTNAME
echo OMP_NUM_THREADS : $OMP_NUM_THREADS
echo $1
echo -----

### Copy swaninit
Dir_name=$1
cp swaninit "${Dir_name:3:4}/$1"
cp swaninit "${Dir_name:3:4}/$2"

rundir=$PWD
cd "${Dir_name:3:4}/$1"
echo $PWD

### General, start SWAN.

cp "$1".SWN INPUT
starttime=`date +%s`
$swan_omp_exe
endtime=`date +%s`

runtime=$((endtime-starttime))
echo -----
echo "The run was completed after $((runtime / 60)) minutes"
echo -----

cp PRINT "$1".PRT
rm INPUT
rm PRINT
rm swaninit
rm norm_end

source /opt/python/pythonsource.sh
source /p/11200556-os/virtualenvs/oosterschelde/bin/activate
wavetrans $1_01.SP2 /p/11200556-os/golven/SWAN01/INPVAR/RVW/

cd ../$2

```

```
cp "$2".SWN INPUT
starttime=`date +%s`
$swan_omp_exe
endtime=`date +%s`

runtime=$((endtime-starttime))
echo -----
echo "The run was completed after $((runtime / 60)) minutes"
echo -----

cp PRINT "$2".PRT

rm INPUT
rm PRINT
rm swaninit
rm norm_end

cd $rundir

echo Post-processing will start.

outdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/CONTROL/
scriptdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/Physchecks/
cd $scriptdir
python plspectra.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$1" $outdir
python plspectra.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$2" $outdir
python plmaps.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$1" $outdir
python plmaps.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$2" $outdir

scriptdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/Procchecks/
cd $scriptdir
python plconvergence.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$2" $outdir

echo Post-processing is finished.
echo -----

cd $rundir
```

Het runscript 'run' voor Noordzeerooster en Oosterschelderooster met open OSK:

```
#!/bin/sh
#$ -cwd
#$ -N SWAN
swan_omp_exe=/p/11200556-os/golven/swanmodel/SWANNC8/swan.exe
export LD_LIBRARY_PATH=/p/11200556-os/golven/swanmodel/SWANNC8/
export OMP_NUM_THREADS=8

echo -----
echo $swan_omp_exe
echo with OpenMP on linux cluster.
echo SGE_O_WORKDIR : $SGE_O_WORKDIR
echo HOSTNAME : $HOSTNAME
echo OMP_NUM_THREADS : $OMP_NUM_THREADS
echo $1
echo -----
### Copy swaninit
Dir_name=$1
cp swaninit "${Dir_name:3:4}/$1"

### Tranmission NZ to OD
Transdir=$1
NZdir="${Transdir:0:12}Nza"
cd "${Dir_name:3:4}/$NZdir"
source /opt/python/pythonsource.sh
source /p/11200556-os/virtualenvs/oosterschelde/bin/activate
wavetrans "$NZdir"_01.SP2 /p/11200556-os/golven/SWAN01/INPVAR/RVW/ --closed
cd ../../

rundir=$PWD
cd "${Dir_name:3:4}/$1"
echo $PWD

### General, start SWAN.

cp "$1".SWN INPUT
starttime=`date +%s`
$swan_omp_exe
endtime=`date +%s`

runtime=$((endtime-starttime))
echo -----
echo "The run was completed after $((runtime / 60)) minutes"
echo -----

cp PRINT "$1".PRT
rm INPUT
rm PRINT
rm swaninit
rm norm_end
```

```
cd $rundir

echo Post-processing will start.

outdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/CONTROL/
scriptdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/Physchecks/
cd $scriptdir
python plspectra.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$1" $outdir
python plmaps.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$1" $outdir

scriptdir=/p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/ProcChecks/
cd $scriptdir
python plconvergence.py "$rundir/${Dir_name:3:4}/$1" $outdir

echo Post-processing is finished.
echo -----
```

```
cd $rundir
```

De berekeningen werden opgestart in groepen van bijvoorbeeld ongeveer 100 runs, zie bijvoorbeeld (een deel van) het shell script, genaamd submit_runsNZOO_D248U28.sh:

```
#!/bin/sh
queue=normal-e3
cp /p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/shell_script/run .
cp /p/11200556-os/golven/SWAN01/SCRIPTS/shell_script/swaninit .
qsub -q $queue run U28D248Lm200Nza U28D248Lm20000a
qsub -q $queue run U28D248Lm175Nza U28D248Lm17500a
qsub -q $queue run U28D248Lm150Nza U28D248Lm15000a
qsub -q $queue run U28D248Lm125Nza U28D248Lm12500a
qsub -q $queue run U28D248Lm100Nza U28D248Lm10000a
qsub -q $queue run U28D248Lm075Nza U28D248Lm07500a
qsub -q $queue run U28D248Lm050Nza U28D248Lm05000a
qsub -q $queue run U28D248Lm025Nza U28D248Lm02500a
qsub -q $queue run U28D248Lm000Nza U28D248Lm00000a
qsub -q $queue run U28D248Lp025Nza U28D248Lp02500a
qsub -q $queue run U28D248Lp050Nza U28D248Lp05000a
qsub -q $queue run U28D248Lp075Nza U28D248Lp07500a
qsub -q $queue run U28D248Lp100Nza U28D248Lp10000a
qsub -q $queue run U28D248Lp125Nza U28D248Lp12500a
qsub -q $queue run U28D248Lp150Nza U28D248Lp15000a
```

Het bestand 'swaninit' dat standaard wordt aangemaakt als een SWAN berekening wordt opgestart bleek aangepast te moeten worden ('highest file ref. number' moet opgehoogd worden tot 500), dat regelt het runscript ook.

Aantal van het totaal [-]	Windrichting [°N]	Potentiële windsnelheid Vlissingen [m/s]	Waterstand op referentielocatie OS11 [m+NAP]	Keringtoestand [-]
1624	8	7	29 open	1
	22,5	10	-2.00	open
	45	20	-1.75	open
	67,5	24	-1.50	open
	90	28	-1.25	open
	112,5	30	-1.00	open
	135	34	-0.75	open
	157,5	38	-0.50	open
	180		-0.25	open
			0.00	open
			0.25	open
			0.50	open
			0.75	open
			1.00	open
			1.25	open
			1.50	open
			1.75	open
			2.00	open
			2.25	open
			2.50	open
			2.75	open
			2.99	open
			3.00	open
			3.50	open
			4.00	open
			4.50	open
			5.00	open
			5.50	open
			6.00	open
			6.50	open

Tabel E.1 Door te rekenen stochastcombinaties met SWAN voor de oostelijke windrichtingen bij 22.5° sectoren

Aantal van het totaal [-]	Windrichting [°N]	Potentiële windsnelheid Vlissingen [m/s]	Waterstand op referentielocatie OS11 [m+NAP]	Keringtoestand [-]
4000	8	10	29 open + 21 dicht	
	202,5	10	-2.00	open
	225	20	-1.75	open
	247,5	24	-1.50	open
	270	28	-1.25	open
	292,5	30	-1.00	open
	315	34	-0.75	open
	337,5	38	-0.50	open
	360	42	-0.25	open
		46	0.00	open dicht
		50	0.25	open dicht
			0.50	open dicht
			0.75	open dicht
			1.00	open dicht
			1.25	open dicht
			1.50	open dicht
			1.75	open dicht
			2.00	open dicht
			2.25	open dicht
			2.50	open dicht
			2.75	open dicht
			2.99	open dicht
			3.00	open dicht
			3.50	open dicht
			4.00	open dicht
			4.50	open dicht
			5.00	open dicht
			5.50	open dicht
			6.00	open dicht
			6.50	open dicht

Tabel E.2 Door te rekenen stochastcombinaties met SWAN voor de westelijke windrichtingen bij 22.5° sectoren