

Memo

Aan

Bas Kers / Edwin Paree / Jan Rolf Hendriks / Ernst Lofvers /
Raven Cammenga / Martin Baptist

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
26 maart 2021	11206799-003-ZKS-0003	1 van 18
Contactpersoon	Doorkiesnummer	E-mail
Roy van Weerdenburg	+31(0)88 335 7527	Roy.vanWeerdenburg@deltares.nl
Julia Vroom	+31(0)88 335 8061	Julia.Vroom@deltares.nl

Onderwerp

Modelparameters Ecotopenkaart Waddenzee

1 Inleiding

Deltares is door Rijkswaterstaat-CIV gevraagd om gegevens aan te leveren voor het opstellen van de ecotopenkaart voor de Waddenzee. Dit gebeurt in het kader van KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden 2021, onderdeel Natuurmonitoring. De gegevens worden afgeleid uit de resultaten van hydrodynamische modelsimulaties. De resultaten worden gebruikt voor de karakterisering van habitats bij het opstellen van de ecotopenkaart.

Voor de ecotopenkaart voor de Waddenzee worden ruimtelijke data van de volgende parameters uit modelberekeningen afgeleid:

1. De jaargemiddelde droogvalduur;
2. De maximaal optredende stroomsnelheid;
3. De maximaal optredende bodemschuifspanning door stroming;
4. Het jaargemiddelde zoutgehalte bij hoog water;
5. De zoutvariatie bij hoogwater;
6. De orbitaalsnelheid van golven in een representatieve periode.

In dit memo worden de methode (Hoofdstuk 2) en de resultaten (Hoofdstuk 3) toegelicht. Om de resultaten te reproduceren (bijvoorbeeld bij een actualisatie van de ecotopenkaart) zijn de afzonderlijke stappen in de methode uitgebreid beschreven. De resultaten bevatten ook vergelijkingen met de gegevens die voor een eerdere versie van de ecotopenkaart zijn gebruikt. Afsluitende opmerkingen en aanbevelingen zijn opgenomen in Hoofdstuk 4.

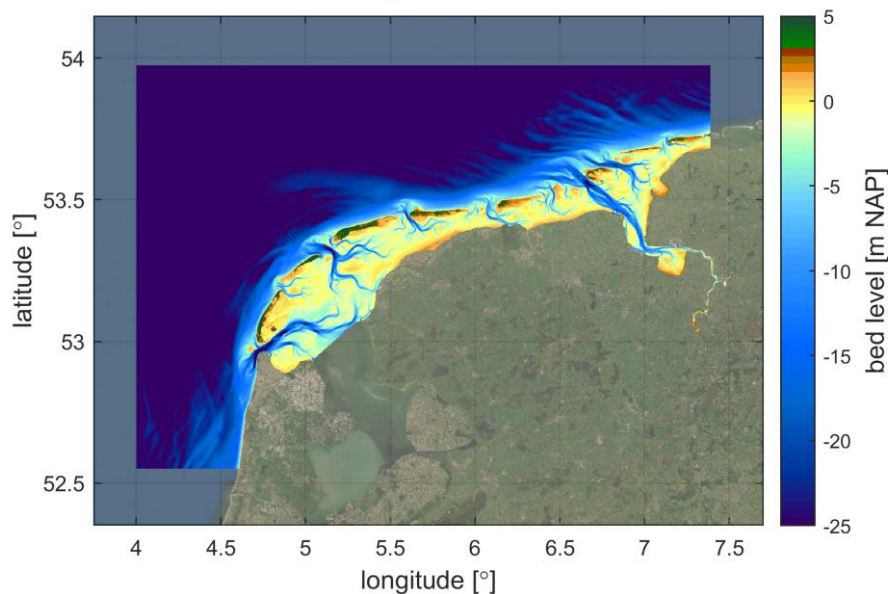
2 Methode

2.1 Modelschematisaties

De meeste benodigde parameters worden bepaald uit resultaten van het Dutch Wadden Sea Model (DWSM) in Delft3D-Flexible Mesh (FM) (Van Weerdenburg & Zijl, 2019). Dit model bevat geen golven, daarom wordt voor het bepalen van de orbitaalsnelheid van golven gebruik gemaakt van het operationele SWAN-Kuststrook model.

Het modeldomein van DWSM loopt van IJmuiden tot de Duitse Waddenzee en bevat de Nederlandse Waddenzee, het Eems-Dollard estuarium en een brede strook van de Noordzee langs de Nederlandse Waddeneilanden (Figuur 2.1).

De droogvalduur, stroomsnelheden en bodemschuifspanningen worden bepaald uit de 2D versie van het model met ongeveer 100 m x 100 m horizontale resolutie in het interessegebied. Saliniteit wordt bepaald met een 3D versie van het model met 10 verticale σ -lagen en ongeveer 200 m x 200m horizontale resolutie in het interessegebied. De bodemhoogte in het model volgt uit een Baselineprojectie (Nederland_6/j16_6-w4) op het modelrooster. Als er nieuwe bodemdata beschikbaar komt (bijv. Vaklodingen), dan is die data niet direct opgenomen in Baseline. De bodemdata die gebruikt is voor de modelbodem is bijgewerkt met Vaklodingen die zijn ingewonnen tot en met 2018.



Figuur 2.1 Modeldomein van het DWSM model met aangegeven de bodemhoogte ten opzichte van NAP.

DWSM wordt geforceerd door tijdseries met waterstandsvariaties op de modelranden. Deze tijdseries zijn afgeleid uit het DCSM-FM 100m model (Zijl & Groenenboom, 2020). Randvoorwaarden voor saliniteit voor de 3D versie van DWSM zijn afgeleid uit het 3D DCSM-FM model (Zijl et al., 2018). Meteorologische forcering van het model (d.w.z., windcondities en atmosferische druk) is gebaseerd op HiRLAM modelsimulaties door het KNMI.

De orbitaalsnelheden worden bepaald uit modelresultaten van het SWAN-Kuststrook model. Dit is een recent ontwikkeld golfmodel van de Nederlandse kustzone, inclusief de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium. SWAN-Kuststrook wordt ingezet als operationeel voorspellingsmodel voor golven sinds 2019. Sinds 2020 wordt het HARMONIE-model van het KNMI gebruikt als meteorologische forcering van het operationele model. De resolutie van de modelschematisatie varieert van ongeveer 2600 m in dieper water tot 35 m nabij de kust. De resolutie in de Waddenzee is gemiddeld ongeveer 300 m.

2.2 Uitgevoerde modelberekeningen

De parameters worden bepaald op basis van modelresultaten voor een periode die representatief is voor gemiddelde condities. Welke periode representatief is wordt bepaald op basis van de gemeten hydrodynamische condities op een aantal karakteristieke punten.

2.2.1 Representatieve periode voor hydrodynamische parameters

De droogvalduur, stroomsnelheden en bodemschuifspanningen door stroming worden bepaald uit modeluitvoer voor de twee spring-doodtij periodes van 23 juni tot 22 juli 2017. De getijcondities tijdens deze spring-doodtij periodes zijn representatief voor het getij tussen 1 januari 2013 en 31 december 2017. Dit is bepaald aan de hand van de volgende stappen:

1. Op basis van de gemeten waterstanden is de gemiddelde hoogwaterstand en de gemiddelde laagwaterstand in de periode van 2013 tot en met 2017 bepaald bij Oudeschild, Nes en Eemshaven (Tabel 2.1). Deze drie meetstations liggen respectievelijk in het westelijke, het centrale en het oostelijke deel van het interessegebied. Het verschil tussen de gemiddelde hoogwaterstand en de gemiddelde laagwaterstand is de gemiddelde getijslag.
2. Vervolgens is de periode van één synodische maand (d.w.z., 29 dagen, 12 uur en 44 minuten) gezocht in 2017 waarbinnen de gemeten gemiddelde hoogwaterstand en gemiddelde laagwaterstand het beste overeen komen met de gemeten gemiddelden over de periode van 5 jaar (Tabel 2.2). Dit is beoordeeld aan de hand van de kleinste kwadratische fout. De start van de synodische maand valt daarbij samen met hoogwater. De gekozen periode loopt van 08:10 op 23 juni tot 20:54 op 22 juli 2017.

Tabel 2.1 Gemiddelde hoog- en laagwaterstand bij meetstations Oudeschild, Nes en Eemshaven tussen 2013 en 2017 op basis van gemeten waterstanden.

Locatie	gemiddelde hoogwaterstand [m NAP]	gemiddelde laagwaterstand [m NAP]
Oudeschild	0,629	- 0,755
Nes	1,060	- 1,153
Eemshaven	1,233	-1,372

Tabel 2.2 Gemiddelde hoog- en laagwaterstand en gemiddelde getijslag bij meetstations Oudeschild, Nes en Eemshaven in de synodische maand (d.w.z. twee spring-doodtij cycli) van 23 juni tot 22 juli 2017 op basis van gemeten waterstanden.

Locatie	gemiddelde hoogwaterstand [m NAP]	verschil met meerjarig gemiddelde [m]	gemiddelde laagwaterstand [m NAP]	verschil met meerjarig gemiddelde [m]
Oudeschild	0,616	- 0,013	- 0,762	- 0,007
Nes	1,054	- 0,006	- 1,166	- 0,013
Eemshaven	1,250	0,017	- 1,362	0,010

De tijdstap waarop modelsimulaties uitvoer wegschrijven is 1 uur. Dat betekent dat er 708 keer uitvoer wordt weggeschreven tijdens de simulatieperiode.

2.2.2 Saliniteit in 2017

De gemiddelde saliniteit bij hoogwater en de variatie in saliniteit worden bepaald op basis van een 3D modelsimulatie voor 2017. Door een volledig jaar te simuleren worden seizoensvariëaties meegenomen in het gemiddelde en de variatie.

Om de zoutverdeling aan het begin van 2017 (d.w.z., de initiële conditie) goed te krijgen is eerst een modelsimulatie uitgevoerd voor 2016. Het einde van de simulatie voor 2016 wordt vervolgens gebruikt als initiële conditie voor de simulatie voor 2017. Het jaar 2016 is dan de zogenaamde inspeelperiode. Tijdens de inspeelperiode verdwijnt de invloed van (foute) initiële condities op de modelresultaten. Bij eerdere toepassingen van DWSM is gebleken dat een inspeelperiode van een jaar ruim voldoende is voor saliniteit in de Waddenzee.

Er zijn acht zoetwaterafvoeren en spuidebieten in de modelsimulaties opgenomen (Tabel 2.3). De grootste afvoeren (d.w.z., groot effect op saliniteit) in het interessegebied zijn daarmee in het model opgenomen. Voor veel van de spuidebieten is de temporele resolutie van data voldoende om de fasering van lozingen ten opzichte van de getijcyclus goed te reproduceren. Voor Noordpolderzijl is alleen het gespuide volume per dag beschikbaar, waardoor variaties op de tijdschaal van de getijcyclus ontbreken. Er zijn nog meer zoetwaterafvoeren in de

Waddenzee en in het Eems-Dollard estuarium dan die in het model zijn opgenomen, maar voor deze zijn op dit moment geen data beschikbaar.

Tabel 2.3 Afvoeren en spuidebieten die in de modelsimulaties zijn opgenomen en de tijdstap waarop data beschikbaar is.

Locatie	tijdstap (Δt)
Den Oever	$\Delta t = 10$ min
Kornwerderzand	$\Delta t = 10$ min
Cleveringsluizen	$\Delta t = 15$ min
Eems	$\Delta t = 15$ min
Helsdeur	$\Delta t = 15$ min
Noordpolderzijk	$\Delta t = 1$ dag
Spijksterpompen	$\Delta t = 15$ min
DeDrieDelfzijlen	$\Delta t = 15$ min

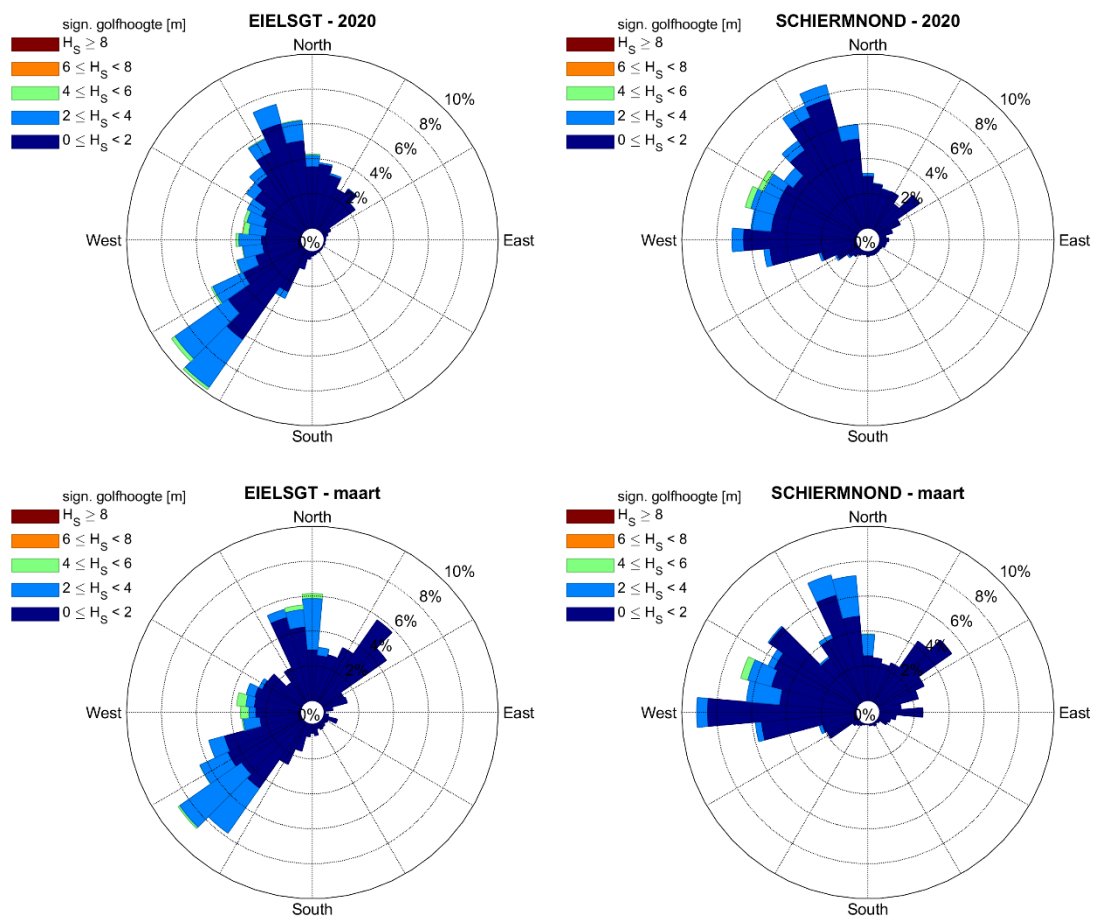
2.2.3 Representatieve orbitaalsnelheden in 2020

Het SWAN-Kuststrook model met meteorologische randvoorwaarden uit HARMONIE is sinds 2020 operationeel. 2020 is dus het enige volledige jaar waarvoor uitvoer beschikbaar is. Aan de hand van de volgende stappen is de maand maart 2020 gekozen als representatieve periode voor jaargemiddelde golfcondities:

- Op basis van gemeten golfcondities is de *Root Mean Square* (RMS) waarde voor de golfhogte in 2020 bepaald voor meetstations Eierlandse Gat en Schiermonnikoog Noord. Deze is respectievelijk 1,71 m en 1,37 m.
- Vervolgens is de RMS waarde voor de golfhogte op deze twee stations bepaald voor elke maand in 2020 (Tabel 2.4). De RMS waarde voor de golfhogte in maart 2020 blijkt goed overeen te komen met jaargemiddelde condities: het verschil met de jaargemiddelde condities is (gemiddeld over de twee stations) het kleinst in de maand maart 2020.
- Uit golfrozen voor 2020 en voor maart 2020 bij Eierlandse Gat en Schiermonnikoog Noord (Figuur 2.2) blijkt bovendien dat de golfrichting in maart 2020 redelijk goed overeen komt met de golfrichting in 2020. Ter vergelijking zijn golfrozen voor de andere maanden in 2020 opgenomen in Bijlage 1.

Tabel 2.4 Root Mean Square (RMS) waarde voor de golfhogte bij meetstations Eierlandse Gat en Schiermonnikoog Noord in 2020 en voor afzonderlijke maanden in 2020.

Periode	Eierlandse Gat [m]	Schiermonnikoog Noord [m]
2020	1,71	1,37
januari 2020	1,95	1,52
februari 2020	2,86	2,41
maart 2020	1,77	1,42
april 2020	1,22	1,20
mei 2020	1,23	1,18
juni 2020	1,23	0,95
juli 2020	1,36	1,21
augustus 2020	1,44	1,05
september 2020	1,53	1,22
oktober 2020	1,79	1,26
november 2020	1,82	1,23
december 2020	1,68	1,16



Figuur 2.2 Golfrozen op basis van gemeten golfcondities bij Eierlandse Gat (EIELSGT, links) en Schiermonnikoog Noord (SCHIERMOND, rechts) in 2020 (boven) en in maart 2020 (onder).

2.3 Verwerking van modeluitvoer

Met behulp van Matlab scripts wordt de modeluitvoer verwerkt tot ruimtelijke data van de benodigde parameters. In deze paragraaf wordt per parameter toegelicht welke stappen nodig zijn voor het genereren van de ruimtelijke data.

2.3.1 Droogvalduur

Voor het bepalen van de droogvalduur worden de waterstand en de bodemhoogte in modeluitvoer gebruikt. Een roostercel wordt als droog beschouwd als het verschil tussen de waterstand en de bodemhoogte kleiner is dan 5 cm. Per roostercel wordt bepaald gedurende welk percentage van de tijd de roostercel droog is, dit is de droogvalduur (in [%]). De droogvalduur per roostercel wordt vervolgens geïnterpoleerd op een regelmatig 20 m x 20 m rooster van het interessegebied.

2.3.2 Stroomsnelheid

De grootte van de dieptegemiddelde stroomsnelheid is onderdeel van de modeluitvoer. Per roostercel wordt de 99^e percentielwaarde bepaald. De data op het rekenrooster wordt vervolgens geïnterpoleerd op een regelmatig 100 m x 100 m rooster van het interessegebied.

2.3.3 Bodemschuifspanning door stroming

Op dezelfde manier als voor de stroomsnelheden wordt de 99^e percentielwaarde bepaald uit de modeluitvoer voor de bodemschuifspanning door stroming en geïnterpoleerd op een regelmatig 100 m x 100 m rooster.

De bodemschuifspanning door stroming wordt in de 2D berekeningen bepaald als:

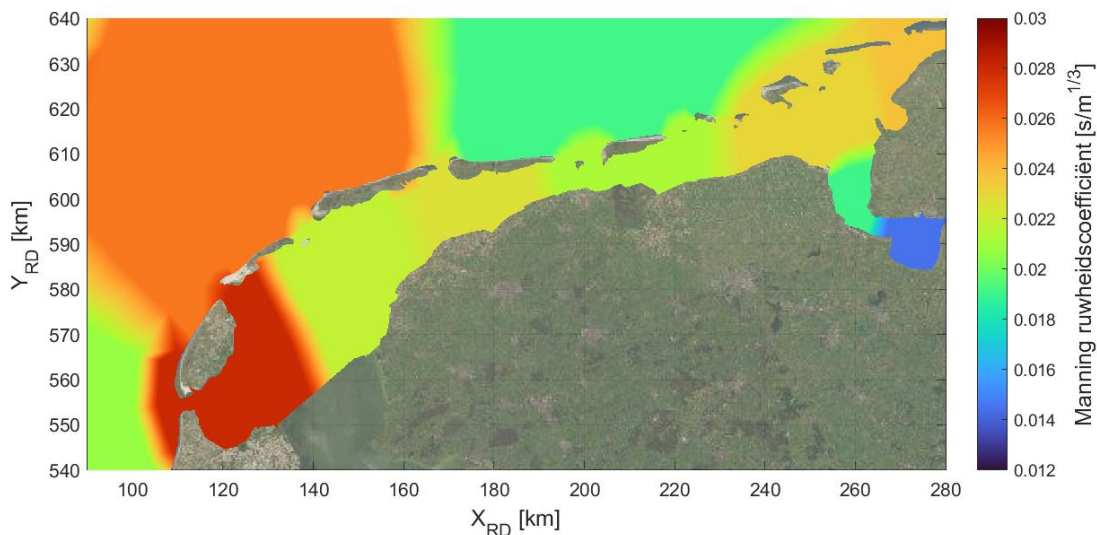
$$\tau_b = \frac{\rho_0 g U |U|}{C_{2D}^2} \quad (1)$$

waarin ρ_0 de dichtheid van water, g de gravitatieconstante, U de dieptegemiddelde stroomsnelheid en C_{2D} een Chézy coëfficiënt voor de bodemruwheid. De opgelegde bodemruwheid beïnvloedt dus direct de bodemschuifspanning. De bodemruwheid in DWSM wordt opgelegd door middel van een Manning ruwheidscoëfficiënt. De Manning coëfficiënt wordt omgerekend naar een Chézy coëfficiënt volgens:

$$C_{2D} = \frac{\sqrt[6]{R}}{n} \quad (2)$$

waarin R de hydraulische straal en n de Manning coëfficiënt. In 2D berekeningen is de hydraulische straal bij benadering gelijk aan de waterdiepte.

De Manning coëfficiënt voor de bodemruwheid is tijdens de kalibratie van het model gebruikt als kalibratieparameter (Van Weerdenburg & Zijl, 2019). Om gemeten waterstanden zo goed mogelijk te reproduceren wordt een ruimtelijk variërende Manning coëfficiënt gebruikt (Figuur 2.3). Per bekken in de Waddenzee is de Manning coëfficiënt uniform.



Figuur 2.3 Gebruikte Manning ruwheidscoëfficiënt in DWSM.

2.3.4 Saliniteit (gemiddelde en variatie)

Om de gemiddelde saliniteit bij hoogwater en de variatie in saliniteit te bepalen worden eerst voor elke roostercel de tijdstappen bepaald waarop de waterstand piekt. Vervolgens wordt de saliniteit op deze tijdstappen geselecteerd en worden per roostercel het tijdsgemiddelde en de standaardafwijking van de dieptegemiddelde saliniteit bij hoogwater bepaald.

De variatie in saliniteit wordt bepaald als:

$$\text{saliniteitsvariatie} = 4 * \sigma / \mu * 100\% \quad (3)$$

waarbij σ de standaardafwijking en μ het gemiddelde van de saliniteit bij hoogwater.

Het gemiddelde en de variatie in saliniteit bij hoogwater in 2017 worden geïnterpoleerd op een regelmatig 100 m x 100 m rooster van het interessegebied.

2.3.5 Orbitaalsnelheid

Met lineaire golftheorie worden per rooster cel orbitaalsnelheden bij de bodem bepaald uit de uitvoerparameters van het operationele SWAN-Kuststrook model. De orbitaalsnelheid is namelijk geen uitvoerparameter van het operationele model.

Allereerst wordt de waterdiepte (d) bepaald als het verschil tussen de waterstand en de bodemhoogte. Vervolgens wordt het golfgetal (k) bepaald volgens de benadering door Fenton (1988). Door deze benadering te gebruiken hoeft de impliciete dispersierelatie niet iteratief opgelost te worden. De fout die gemaakt wordt door deze benadering te gebruiken is altijd kleiner dan 0.05% (Holthuijsen, 2007).

$$\alpha = \omega^2 d / g \quad (4)$$

$$\beta = \alpha (\tanh \alpha)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$kd \approx \frac{\alpha + \beta^2 (\cosh \beta)^{-2}}{\tanh \beta + \beta (\cosh \beta)^{-2}} \quad (6)$$

waarbij ω de orbitaalfrequentie ($\omega = 2\pi/T$, waarbij T de golfperiode) en g de gravitatieconstante.

De amplitude van de orbitaalbeweging bij de bodem wordt vervolgens bepaald als:

$$U_{orb} = \frac{\omega * a}{\sinh(kd)} \quad (7)$$

waarbij a de amplitude van de golf ($a = H/2$, waarbij H de golfhoogte).

In de uitvoer van het operationele golfmodel zijn twee verschillende golfhoogtes beschikbaar, namelijk de significante golfhoogte van windgolven en de significante golfhoogte van swell. De significante golfhoogte van windgolven wordt gebruikt voor het bepalen van de orbitaalsnelheden, waardoor swell golven niet zijn opgenomen in de berekende orbitaalsnelheid. Dit is met name belangrijk voor de Noordzee, waar swell voor een belangrijk deel verantwoordelijk is voor de orbitaalsnelheden. In de Waddenzee worden orbitaalsnelheden echter gedomineerd door windgolven.

De amplitude van de orbitaalbeweging (U_{orb}) varieert per tijdstap. Als karakteristieke waarde voor de orbitaalbeweging in een bepaalde periode wordt de RMS (*Root Mean Square*) waarde van de amplitude bepaald. Deze waarde wordt op een regelmatig 100 m x 100 m rooster van het interessegebied geïnterpoleerd.

3 Resultaten

3.1 Droogvalduur

De droogvalduur zoals die bepaald is uit de modelresultaten is weergegeven in Figuur 3.1.

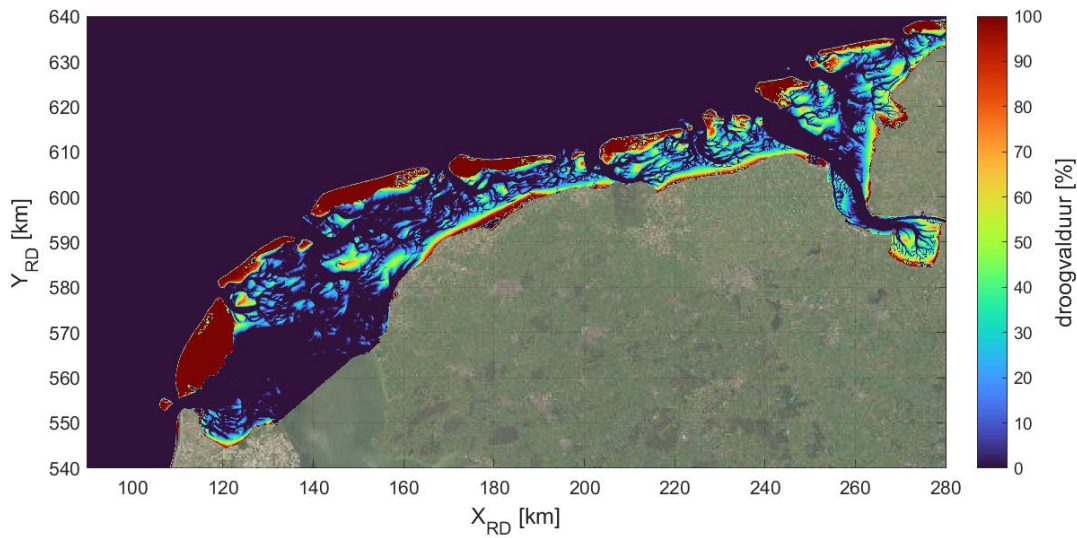
In een eerdere versie van de ecotopenkaart voor de Waddenzee is de droogvalduur bepaald met de InterTides tool van ingenieursbureau EcoCurves (Rijkswaterstaat CIV, 2020). De droogvalduur leidt tot een onderverdeling in laag litoraal, midden litoraal, hoog litoraal en supralitoraal volgens de klassegrenzen in Tabel 3.1. De droogvalduur zoals bepaald met de InterTides tool is te zien in Figuur 3.2. Het verschil tussen de de droogvalduur uit DWSM modelresultaten en InterTides resultaten is te zien in Figuur 3.3.

Tabel 3.1 Klassegrenzen voor droogvalduur.

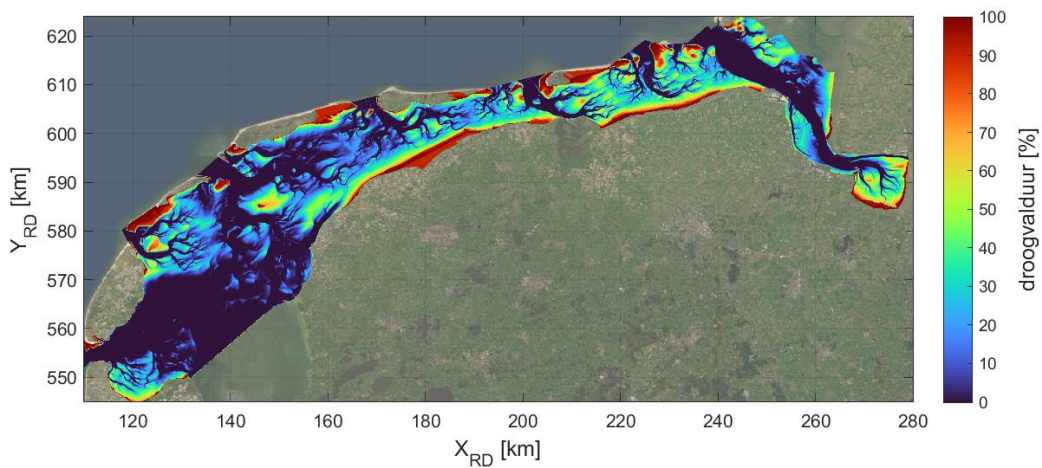
Klassegrenzen (% droogvalduur)	Omschrijving
0 - 4	sublitoraal
4 – 25	laag litoraal
25 – 75	midden litoraal
75 – 85	hoog litoraal
85 – 100	supralitoraal

Op een aantal lokale verschillen na is de droogvalduur uit DWSM modelresultaten op veel plekken korter dan in InterTides resultaten. Dit wordt grotendeels veroorzaakt doordat (numerieke) modellen moeite hebben om laagwaterstanden in intergetijdengebieden te reproduceren. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat de kleinste geulen en prielen niet in de modelbodem zijn opgenomen, omdat die kleiner zijn dan de resolutie van het rekenrooster. De afwatering van intergetijdengebieden verloopt daardoor te langzaam, met als gevolg dat laagwaterstanden niet laag genoeg zijn. Dit is geïllustreerd aan de hand van een vergelijking tussen berekende en gemeten laagwaterstanden bij Harlingen en Holwerd (Figuur 3.4). Het meetstation bij Harlingen ligt in een relatief diep deel van de Waddenzee. De laagwaterstanden worden hier goed gereproduceerd door het model. Het meetstation bij Holwerd ligt aan het einde van een smalle geul. Omdat die geul niet goed is opgenomen in het rekenrooster met 100 m horizontale resolutie worden laagwaterstanden door het model overschat. Er zijn geen andere permanente meetstations voor waterstanden aan het einde van smalle geulen of in intergetijdengebieden, waardoor meer validatiedata ontbreekt. Verwacht wordt dat het model de laagwaterstanden in intergetijdengebieden aanzienlijk overschat. Hierdoor is de droogvalduur (als percentage van de tijd) op basis van modelresultaten korter dan in werkelijkheid verwacht mag worden.

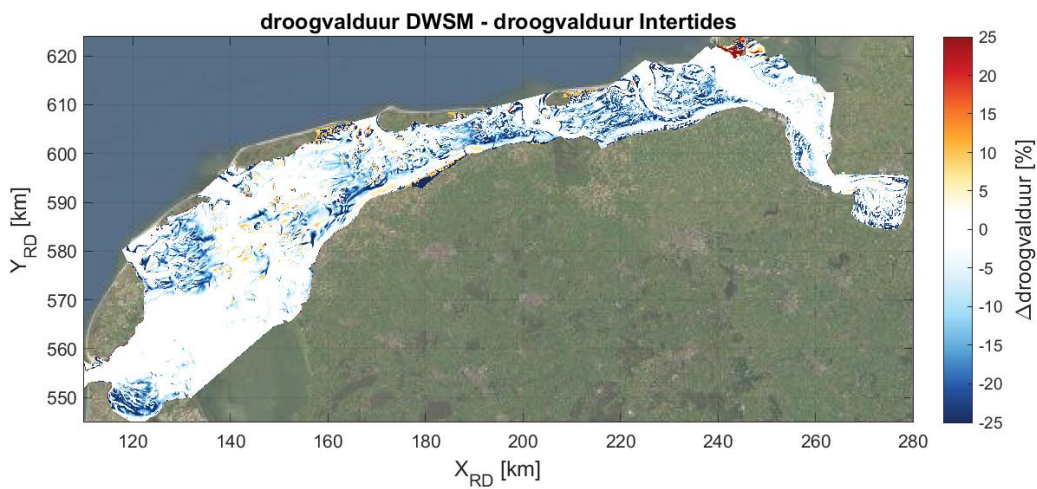
Andere verschillen tussen de droogvalduur uit DWSM modelresultaten en InterTides resultaten ontstaan doordat InterTides geen rekening houdt met de lokale bodemligging en lokale variaties in de waterstand (bijv. als gevolg van opwaaiing/afwaaiing of het afstromen van wadplaten). InterTides interpoleert de waterstanden tussen de bekkens, terwijl de getijgolf zich in werkelijkheid langs de Noordzeekust voortplant en bekkens voornamelijk door de zeegaten vol- en leegstromen (Nauw et al., 2017). Omdat er heel weinig validatiedata beschikbaar is voor waterstanden in ondiepe (intergetijden)gebieden is de meerwaarde van DWSM ten opzichte van InterTides echter moeilijk te kwantificeren.



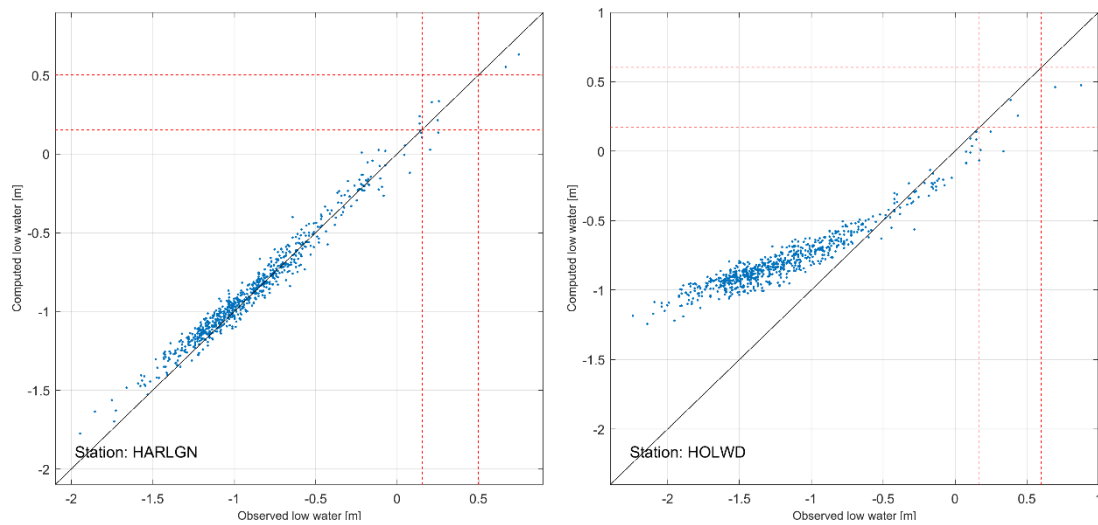
Figuur 3.1 Percentage van de simulatietijd dat een roostercel droog is.



Figuur 3.2 Droogvalduur (als percentage van de tijd) zoals die voor een eerdere versie van de ecotopenkaart voor de Waddenzee is bepaald met de InterTides tool.



Figuur 3.3 Verschil tussen de droogvalduur uit DWSM modelresultaten en uit InterTides resultaten. Positieve waarden betekenen een hogere droogvalduur (als percentage van de tijd) op basis van DWSM modelresultaten

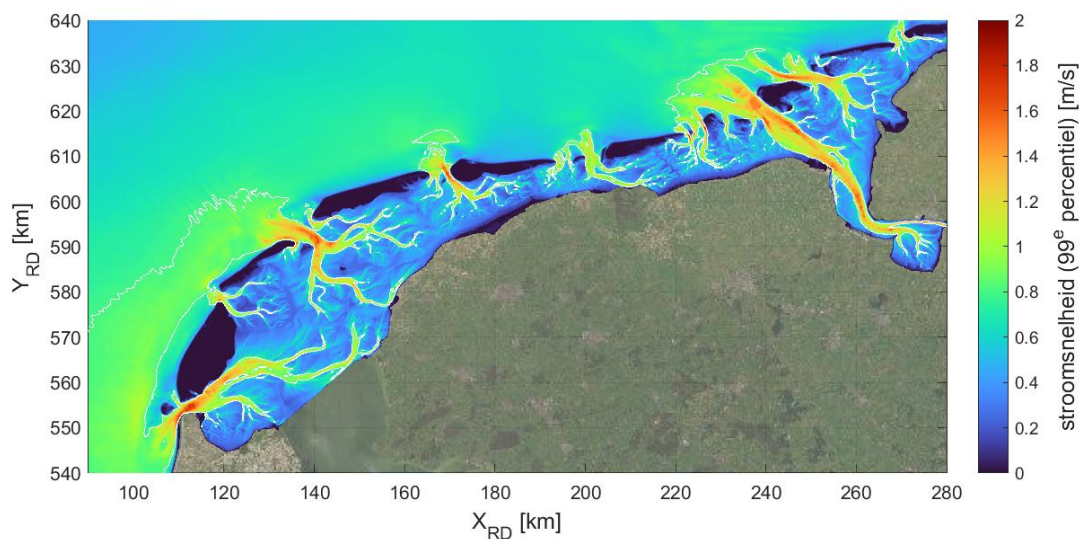


Figuur 3.4 Reproductie van laagwaterstanden bij Harlingen (links) en bij Holwerd (rechts) in een modelsimulatie met DWSM (100 m horizontale resolutie) voor 2017.

3.2 Stroomsnelheid

De 99^e percentielwaarde voor de stroomsnelheid is weergegeven in Figuur 3.5. In een eerdere versie van de ecotopenkaart voor de Waddenzee is 0,8 m/s contour gebruikt als overgangswaarde tussen het laagdynamisch en het hoogdynamisch sublitoraal (Rijkswaterstaat CIV, 2020). Daarom is de 0,8 m/s contour ingetekend in Figuur 3.5.

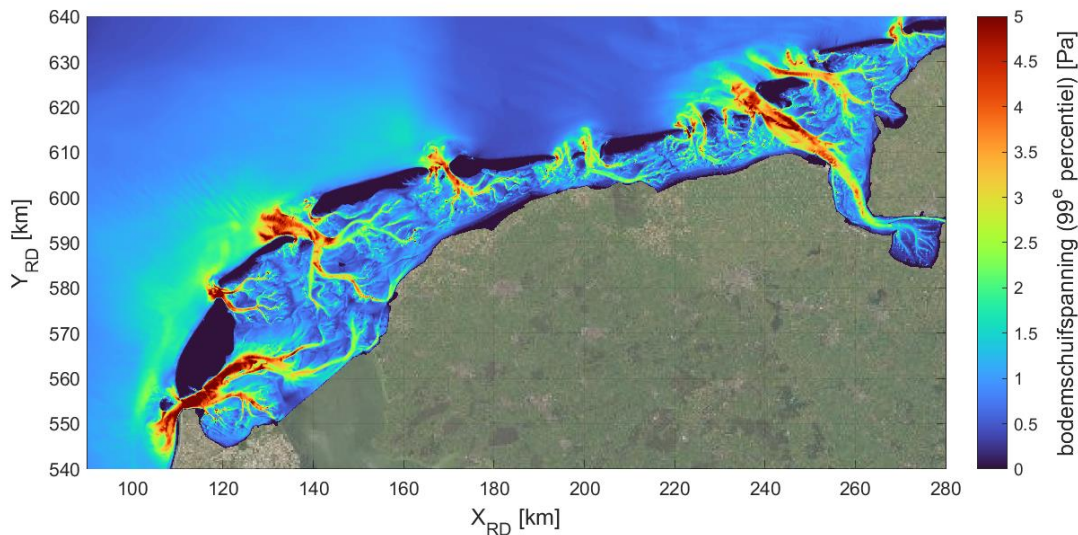
De overgangswaarde van 0,8 m/s wordt overschreden in geulen in de Waddenzee en in bepaalde delen langs de kust van de Waddeneilanden. In een groot deel van de kustzone blijft de snelheidskarakteristiek echter (net) onder de 0,8 m/s. Dat is anders in de data die is gebruikt in een eerdere versie van de ecotopenkaart, waar de stroomsnelheid groter is dan 0,8 m/s in de kustzone ten noordwesten van de Waddeneilanden Texel, Vlieland en Terschelling. De verschillen kunnen ontstaan door het gebruik van een andere modelschematisatie (met bijv. andere bodemruwheid) en door het simuleren van een andere periode.



Figuur 3.5 99^e percentielwaarde van de gemodelleerde stroomsnelheid, waarbij de 0,8 m/s contour met een witte lijn is ingetekend.

3.3 Bodemschuifspanning

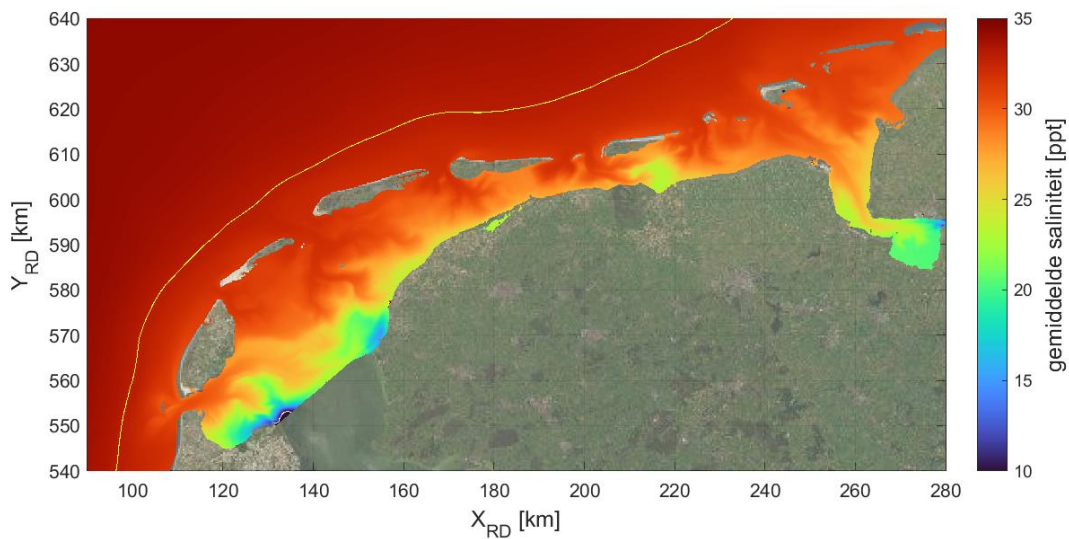
De 99^e percentielwaarde voor de bodemschuifspanning door stroming is weergegeven in Figuur 3.6. In Paragraaf 2.3.3 is besproken hoe de bodemschuifspanning volgt uit de dieptegemiddelde stroomsnelheid.



Figuur 3.6 99^e percentielwaarde van de bodemschuifspanning door stroming.

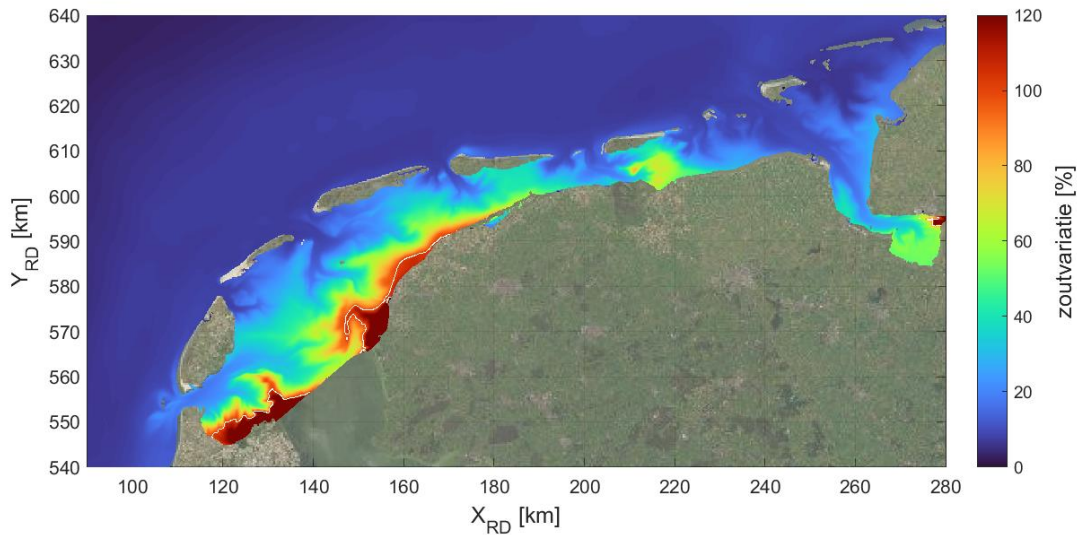
3.4 Saliniteit

De gemiddelde saliniteit bij hoogwater in 2017 is weergegeven in Figuur 3.7. In een eerdere versie van de ecotopenkaart voor de Waddenzee (Rijkswaterstaat CIV, 2020) zijn saliniteitswaarden van 10 ppt en 33 ppt gebruikt als klassegrenzen. Een gemiddelde saliniteit van 33 ppt wordt alleen op de Noordzee overschreden. Een gemiddelde saliniteit lager dan 10 ppt komt alleen rond de spuisluizen bij Den Oever voor (Figuur 3.7).



Figuur 3.7 Gemiddelde saliniteit bij hoogwater in 2017. De ingetekende lijnen zijn de 33 ppt (in geel) en 10 ppt (in wit, bij spuisluizen Den Oever) contouren.

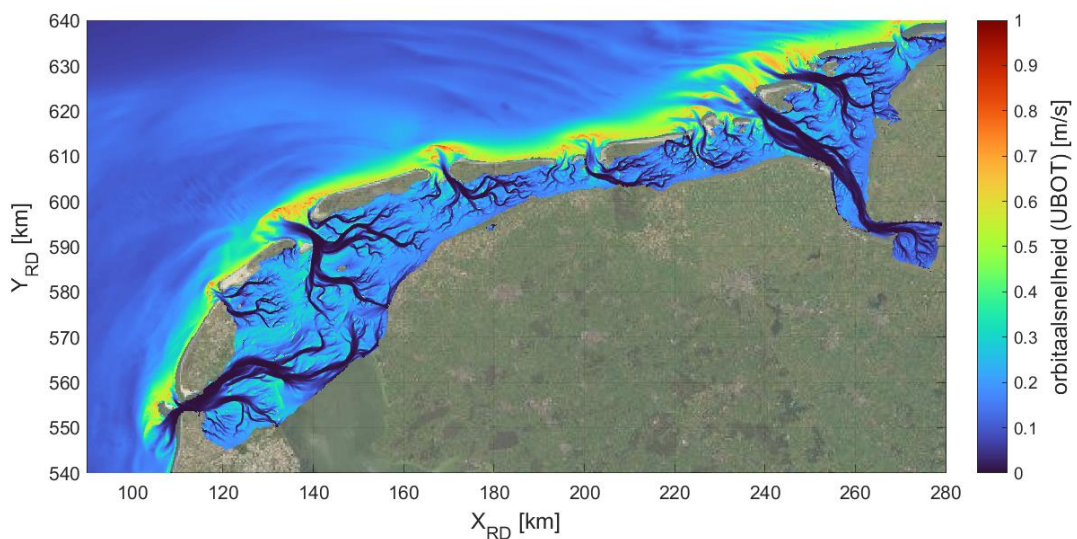
De variatie in saliniteit is weergegeven in Figuur 3.8. Deze parameter beschrijft veranderingen in de saliniteit op de tijdschaal van maanden tot en met een jaar. De variatie gedurende een getijcyclus is niet in deze parameter opgenomen, omdat per getijperiode alleen de saliniteit bij hoogwater wordt gebruikt. De variatie overschrijdt de klassegrens van 100% bij Den Oever, bij Kornwerderzand en langs de kust van Friesland en in de Eems rivier (Figuur 3.8).



Figuur 3.8 Variatie in saliniteit, bepaald als $[(4 \times \text{standaarddeviatie}) / \text{gemiddelde zoutgehalte}] \times 100\%$. De 100% contouren zijn met witte lijnen ingetekend.

3.5 Orbitaalsnelheid

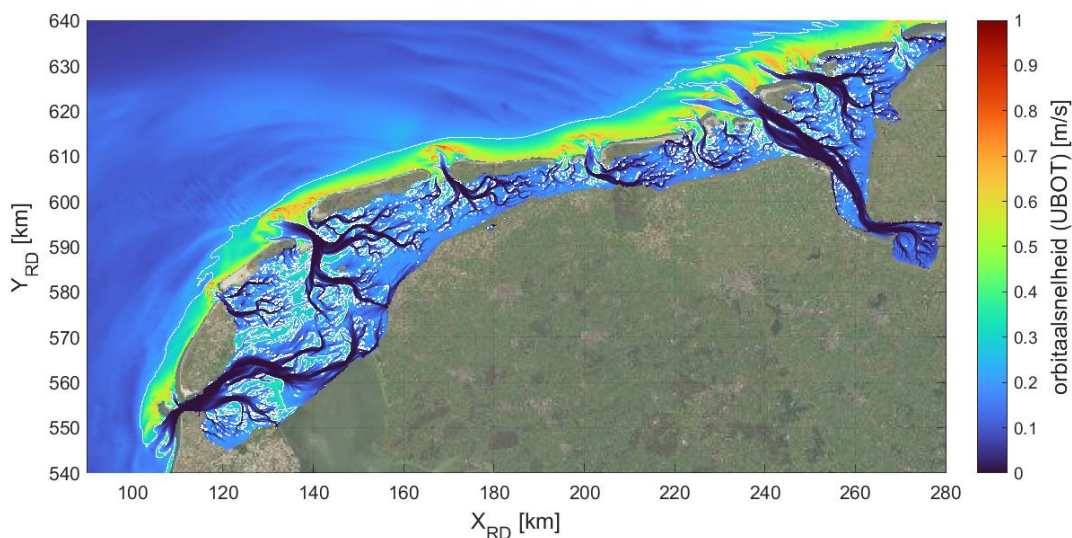
De karakteristieke waarde voor de orbitaalsnelheid bij de bodem is weergegeven in Figuur 3.9. De berekende orbitaalsnelheden op dieper water in de Noordzee zijn relatief laag, omdat swell niet is opgenomen in de karakteristieke waarde voor de orbitaalsnelheid. De orbitaalsnelheid is relatief hoog langs de kust van de Waddeneilanden. In de Waddenzee is de orbitaalsnelheid laag in geulen en relatief hoog op platen.



Figuur 3.9 RMS waarde van de amplitude van de orbitaalsnelheid bij de bodem.

In een eerdere versie van de ecotopenkaart (Rijkswaterstaat CIV, 2020) is een karakteristieke orbitaalsnelheid van 0,25 m/s gebruikt als overgangswaarde tussen laagdynamisch en hoogdynamisch sublitoraal. De 0,25 m/s contouren zijn ingetekend in Figuur 3.10. Met name in de westelijke Waddenzee wordt de orbitaalsnelheid van 0,25 m/s op veel plekken overschreden. In de oostelijke Waddenzee en in het Eems estuarium is de karakteristieke waarde voor de orbitaalsnelheid alleen lokaal hoger dan 0,25 m/s, met name op de platen die relatief dicht bij geulen liggen.

Voor de opdeling van het interessegebied in laagdynamisch en hoogdynamisch sublitoraal wordt hier nogmaals opgemerkt dat de bijdrage van swell aan de orbitaalsnelheden ontbreekt, waardoor de karakteristieke waarden voor de orbitaalsnelheid op de Noordzee lager uitvallen dan dat zij in werkelijkheid zijn.



Figuur 3.10 RMS waarde van de amplitude van de orbitaalsnelheid bij de bodem. De 0,25 m/s contouren zijn met witte lijnen ingetekend.

4 Afsluitende opmerkingen en aanbevelingen

Een reeks parameters die gebruikt gaan worden voor het opstellen van de ecotopenkaart voor de Waddenzee is afgeleid uit de resultaten van hydrodynamische modelsimulaties. Hiervoor zijn modelschematisaties gebruikt die in Beheer & Onderhoud zijn opgenomen (2D DCSM 100x100m resolutie en SWAN-Kuststrook) of die in de nabije toekomst waarschijnlijk in Beheer & Onderhoud opgenomen gaan worden (3D DWSM 200x200m resolutie). Van de 2D DCSM modelschematisatie is een uitsnede van het interessegebied gemaakt, maar dat is bij het reproduceren van de resultaten niet nodig.

Hieronder volgt een opsomming van de belangrijkste aanbevelingen voor het gebruik van de parameters en voor het afleiden van de parameters in de toekomst.

- Modelschematisaties die zijn opgenomen in Beheer & Onderhoud maken gebruik van gebiedsdata (bijv. bodemligging en dijkhoogtes) uit Baseline. Bij het opstellen van de ecotopenkaart wordt ook gebiedsdata gebruikt, maar daarvoor is men niet gebonden aan Baseline. Om te voorkomen dat er verschillen ontstaan tussen de bodemhoogte in modelschematisaties en de bodemhoogte die gebruikt wordt bij het opstellen van de ecotopenkaart is het belangrijk dat de Baseline informatie tijdig bijgewerkt wordt met actuele gebiedsdata.
- Met een horizontale roosterresolutie van 100 m x 100 m worden laagwaterstanden in ondiepe gebieden overschat. Dit komt omdat kleine geulen en prielen op deze resolutie

niet in de modelbodem zijn opgenomen, waardoor de afwatering tijdens eb niet snel genoeg verloopt. Met een hogere horizontale resolutie worden laagwaterstanden nauwkeuriger gereproduceerd, maar dat leidt tegelijkertijd tot langere rekentijden. Een roosterverfijning van een factor 2 (d.w.z. van 100 m x 100m naar 50 m x 50 m) verhoogt de rekestijd met ongeveer een factor 8. Door die rekestijd is het op dit moment niet haalbaar om de roosterresolutie te verhogen. Een interpolatiemethode zoals InterTides heeft niet de beperking dat laagwaterstanden niet goed worden gereproduceerd, omdat de gemeten waterstanden als uitgangspunt worden gebruikt (Rappoldt et al., 2014).

- De meetstations in de Waddenzee waar waterstandsdata wordt ingewonnen liggen vrijwel allemaal in relatief diepe gebieden. Een uitbreiding van waterstandsmetingen met enkele stations op meer ondiepe locaties en in intergetijdengebieden zou erg waardevol zijn voor waterstanden en droogvalduren op de platen, en voor de kalibratie en validatie van numerieke modellen, zodat de reproductie van (laag)waterstanden door numerieke modellen verbeterd kan worden.
- De zoetwaterafvoeren en spuidebieten in de Waddenzee zijn belangrijk voor de ruimtelijke gradiënten in saliniteit. Gemeten tijdseries van de grootste debieten zijn gebruikt als randvoorwaarden in de modelsimulaties. Er zijn echter nog meer (kleine) spuilocaties in het modeldomein. Als die ook in het model worden opgenomen zal de reproductie van saliniteit verder verbeterd worden. Om extra spuilocaties in het model op te nemen zijn tijdseries van de debieten nodig.
- De karakteristieke orbitaalsnelheden zijn bepaald met een nabewerking op resultaten van een operationeel golfmodel. Als de orbitaalsnelheden onderdeel worden van de uitvoer van het golfmodel wordt de nabewerking overbodig. Een bijkomend voordeel is dat dan ook de orbitaalsnelheden door swell in de karakteristieke orbitaalsnelheden meegenomen kunnen worden.

De ruimtelijke data die met dit memo worden opgeleverd zullen in opdracht van Rijkswaterstaat-CIV als abiotische parameters worden gebruikt voor het opstellen van de ecotopenkaart. De beschrijving van de methode in dit memo kan gebruikt worden om de resultaten in de toekomst te reproduceren.

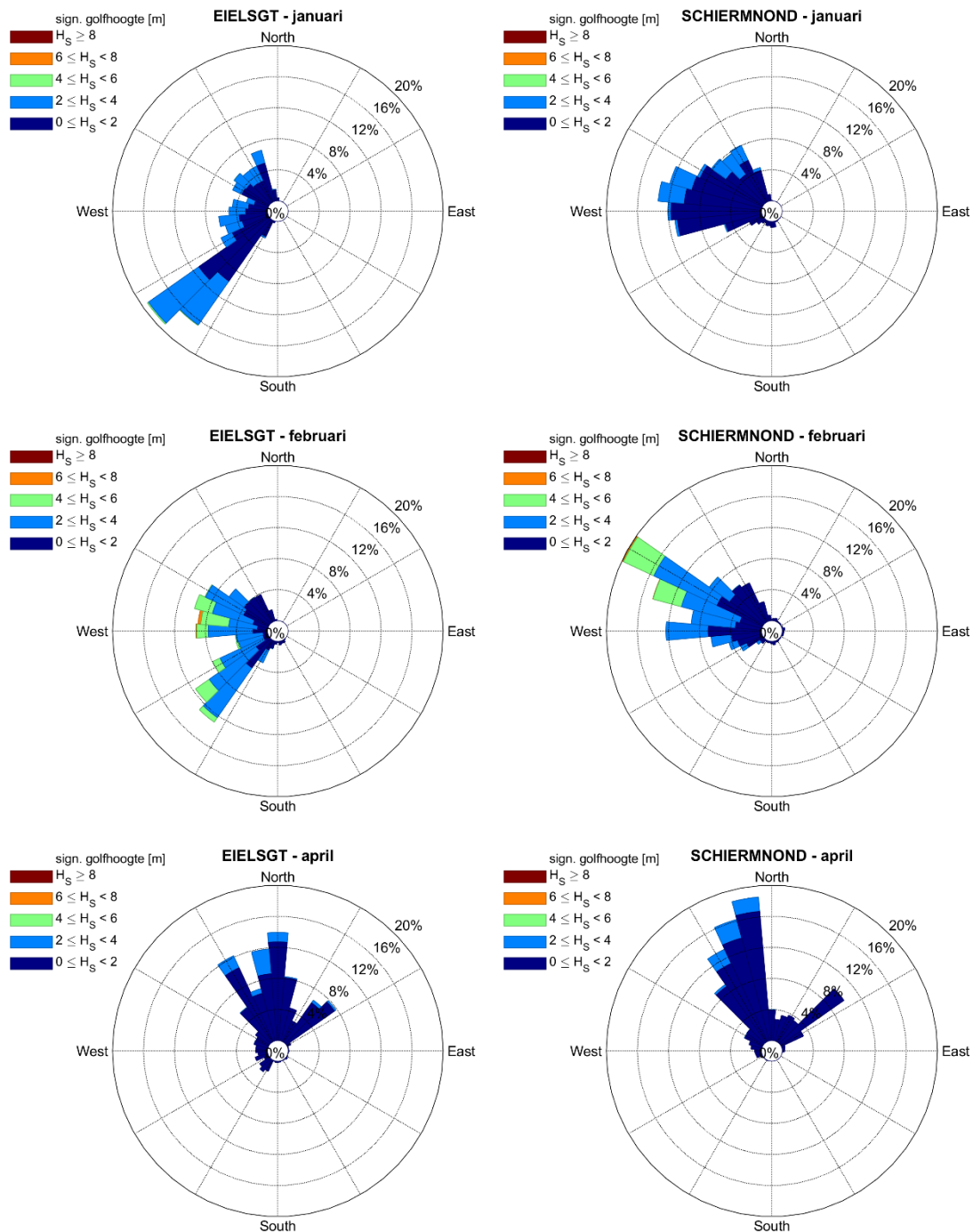
Referenties

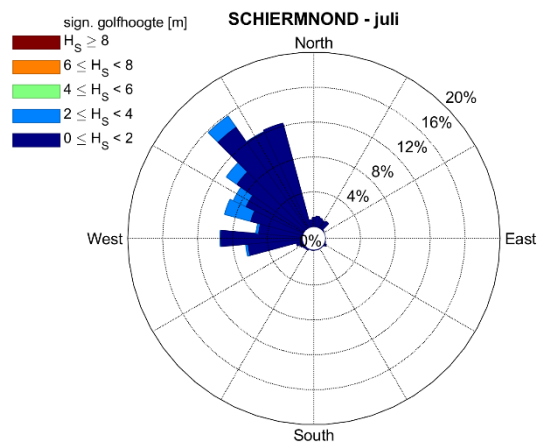
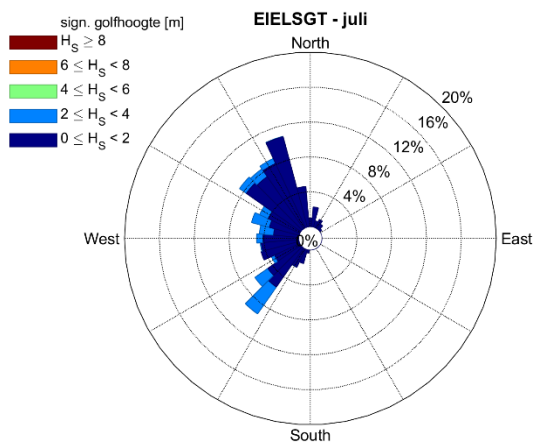
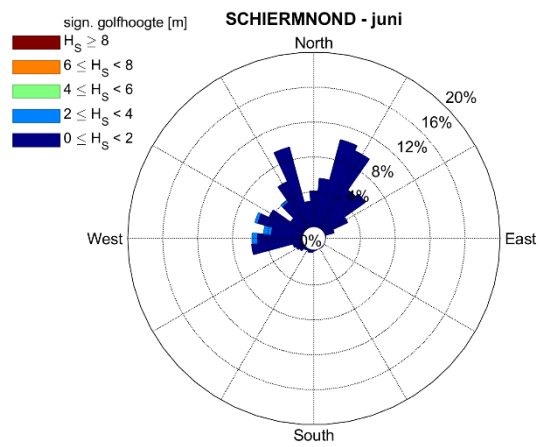
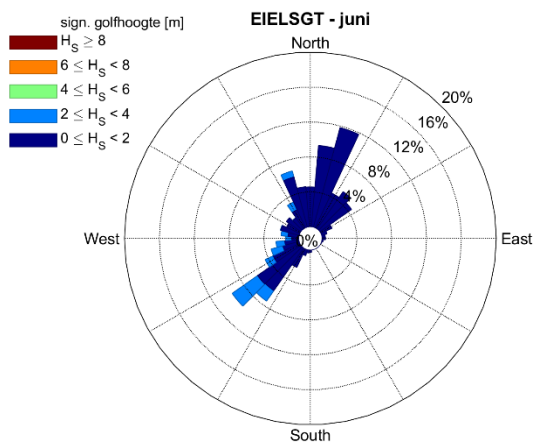
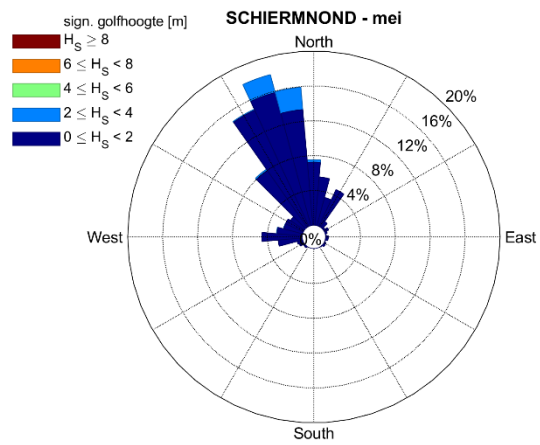
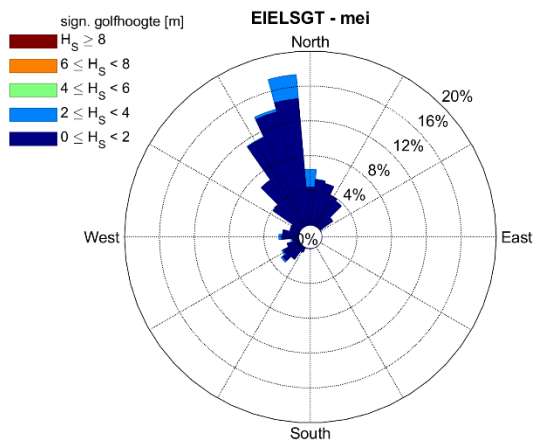
- Fenton, J. (1988). The numerical solution of steady water wave problems. *Computers & Geosciences*, 14(3), 357-368.
- Holthuijsen, L. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Nauw, J., Philippart, C., Duran-Matute, M., & Gerkema, T. (2017). Estimates of exposure times in the Wadden Sea: A comparison of methods. *Journal of Sea Research*, 127.
- Rappoldt, C., Roosenschoon, O., & van Kraalingen, D. (2014). *InterTides; maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data*. EcoCurves rapport 19, EcoCurves BV, Haren. Updated document, April 2020.
- Rijkswaterstaat CIV. (2020). *Toelichting op de zoute ecotopenkaart Waddenzee 2017*. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening.
- Van Weerdenburg, R., & Zijl, F. (2019). *Development of a Delft3D-FM model of the Dutch Waddensea - Model setup and validation of DWSM*. Deltares concept rapport.
- Zijl, F., & Groenenboom, J. (2020). *Development of a sixth-generation model for the NW European Shelf (DCSM-FM 100m) - Model setup, calibration and validation*. Rapport 11205259-004-ZKS-0001, Deltares, Nederland.
- Zijl, F., Veenstra, J., & Groenenboom, J. (2018). *The 3D Dutch Continental Shelf Model - Flexible Mesh (3D DCSM-FM) - Setup and validation*. Rapport 1220339-000-ZKS-0042, Deltares, Nederland.

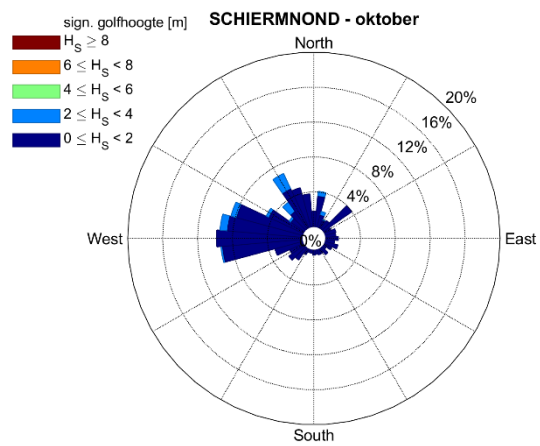
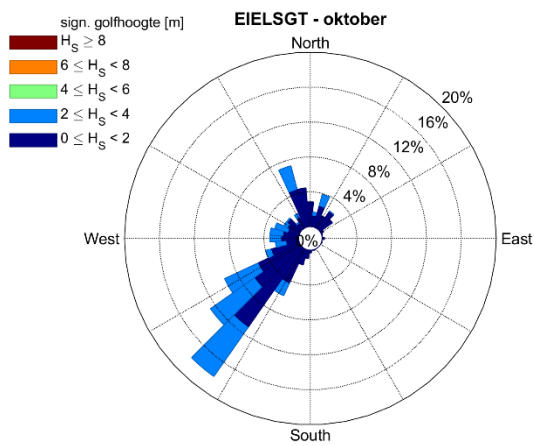
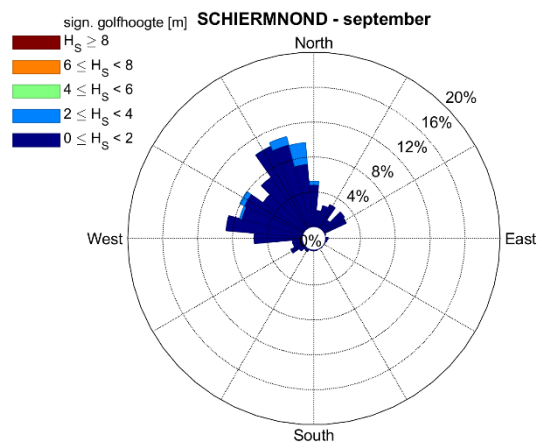
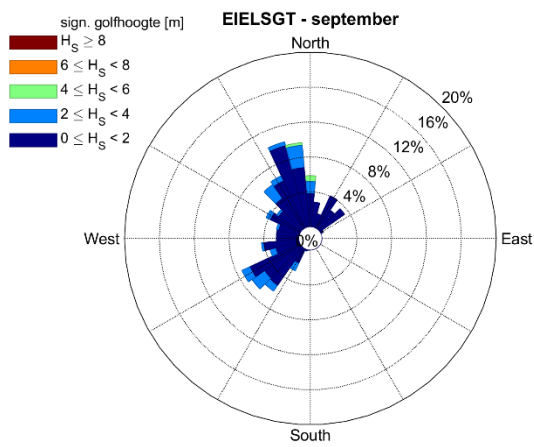
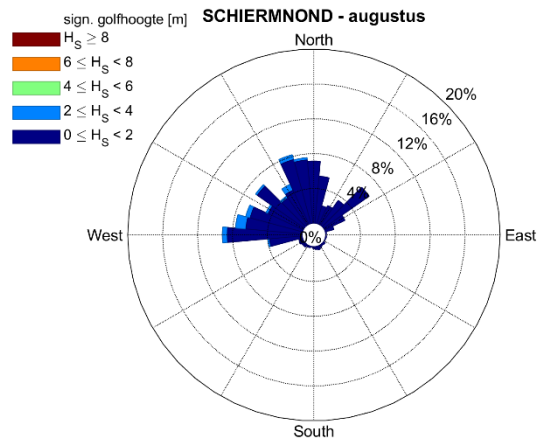
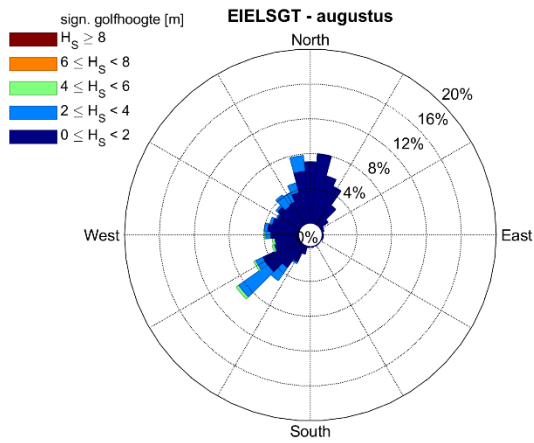
A Bijlage

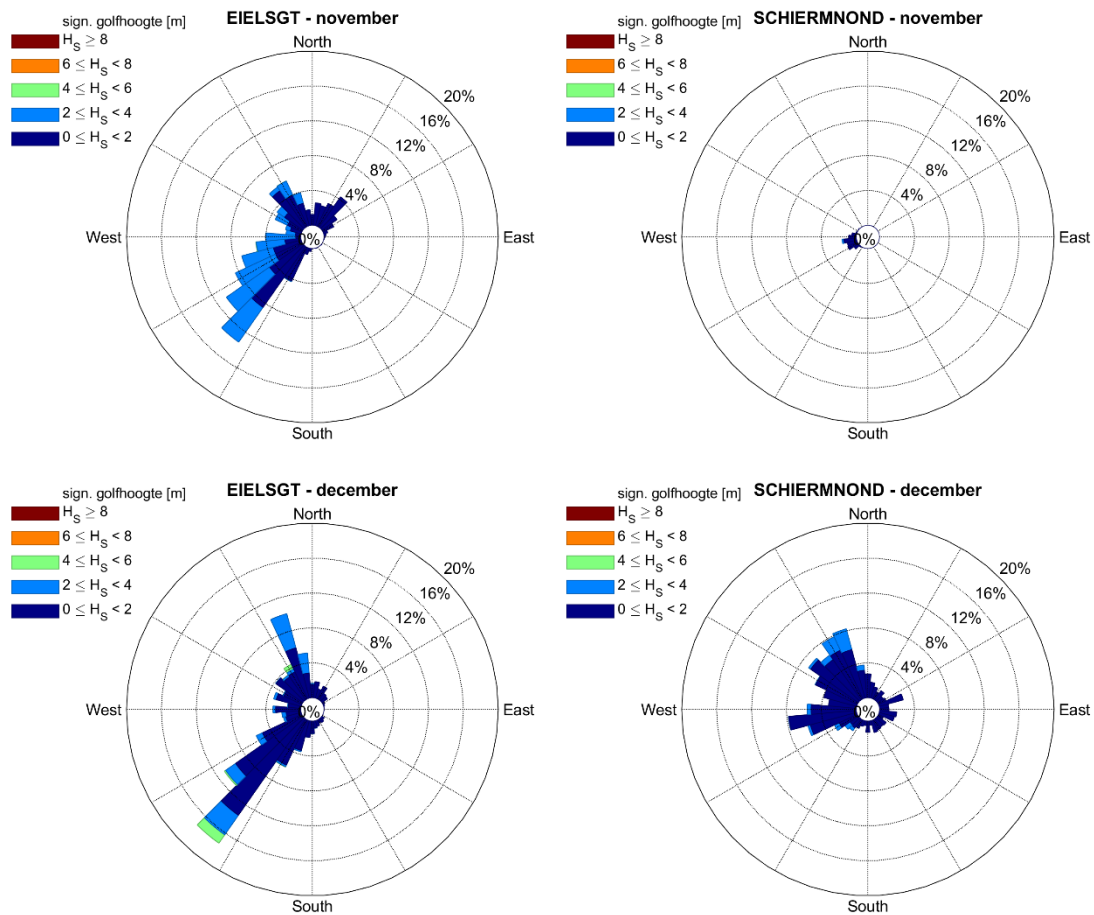
A.1 Bijlage 1: Golfcondities in andere maanden dan de meest representatieve maand

Op basis van de golfcondities bij meetstations Eierlandse Gat en Schiermonnikoog Noord is de maand maart 2020 gekozen als representatieve periode voor de gemiddelde golfcondities in 2020. Ter vergelijking zijn golfrozen met de golfcondities in de andere maanden in 2020 in deze bijlage opgenomen.









Figuur A.1 Golfrozen van gemeten golfcondities bij meetstation Eierlandse Gat (links) en Schiermonnikoog Noord (rechts) per maand in 2020. De maand maart 2020 is gekozen als de meest representatieve periode voor de golfcondities in 2020, daarom zijn figuren voor de maand maart opgenomen in Hoofdstuk 2.