

H4576

Faserapport

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat


Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ

Correctiewaarden Zeeland

Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden

Rapport

April 2006

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterlooschundig laboratorium/WL
BD	67030
WL	H4576-3A
EXPL	WL Delft Hydraulics



C 150495

Oprachtgever:

DG Rijkswaterstaat

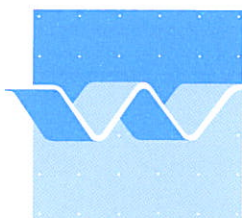
Correctiewaarden Zeeland

Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden

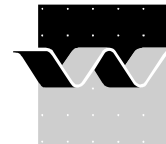
Jacco Groeneweg en Neelke Doorn

Rapport

April 2006



wL | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER:	DG Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ					
TITEL:	Correctiewaarden Zeeland Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden					
SAMENVATTING:						
<p>Doelstelling van het gehele project is het bepalen van correctiefactoren voor het gebruik van de eind jaren '90 voor Zeeland bepaalde rekenresultaten voor ontwerpdoeleinden enerzijds en ten behoeve van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (toetsing) anderzijds. De werkzaamheden hebben betrekking op de monding en het binnengebied van de Westerschelde en de Oosterschelde.</p> <p>Fase 3A van de studie 'Correctiewaarden Zeeland' is gerapporteerd in dit faserapport. In deze fase zijn voor 24 representatieve condities nieuwe SWAN berekeningen uitgevoerd. Hiervoor is de in Fase 2 bepaalde bodem gebruikt. De berekeningen zijn uitgevoerd op een kromlijinig rooster. De aanpassingen sluiten meer aan bij toetsing.</p> <p>De oorspronkelijke doelstelling om op basis van nieuwe rekenresultaten de rekenresultaten uit de jaren '90 via correcties geschikt te maken voor toetsing is niet haalbaar gebleken met de huidige aansturing (bodem en rooster) van de berekeningen. De verschillen in bodem en rooster, t.o.v. de bodem en het rooster die destijds gebruikt zijn voor de berekeningen voor de Rand2001 database, zijn met name in de estuaria van de Oosterschelde en Westerschelde dermate groot gebleken dat het afleiden en toepassen van betrouwbare correctiewaarden niet haalbaar is gebleken. Het toepassen van andere offshore randvoorwaarden, conform de berekeningen voor de Hollandse kust, heeft daarop geen effect gehad.</p> <p>In tegenstelling tot de waarden in de estuaria worden de significante golfhoogte en enkele golfperiodematen voor de duinen (op diep-water locaties) en de verbindende waterkeringen (Brouwersdam, Oosterscheldekering en Veersegetdam), verkregen met de nieuwe berekeningen, voldoende betrouwbaar geacht om te gebruiken voor toetsingsdoeleinden.</p>						
REFERENTIES:						
Offerteaanvraag RKZ 1528 (kenmerk RIKZ/2004/06516, d.d. 20-12-2004) Offerte MCI-8435/H4576/JG (d.d. 13-1-2005) / MCI-9101/H4576/JG (d.d. 27-1-2005) Opdrachtverlening RKZ-1528 (kenmerk RIKZ/2005/05098, d.d. 3-2-2005) Meer-/minderwerkofferte MCI-10821/H4576/JG (d.d. 12 mei 2005) Wijzigingsovereenkomst RKZ-1528A (kenmerk RIKZ/2005/05622, d.d. 17-6-2005) Wijzigingsovereenkomst RKZ-1528B (kenmerk RIKZ/2005/05894, d.d. 25-8-2005) Wijzigingsovereenkomst RKZ-1528C (kenmerk RIKZ/2006/05065, d.d. 1-2-2006)						
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW		GOEDKEURING
1	J. Groeneweg en N. Doorn	7-3-2006	concept	J. Dekker		W.M.K. Tilmans
2	J. Groeneweg en N. Doorn	11-4-2006	definitief	M.R.A. van Gent		W.M.K. Tilmans
PROJECTNUMMER:						
H4576						
TREFWOORDEN:						
golfmodellering, meting, hindcast, ontwerpcondities, hydraulische randvoorwaarden						
AANTAL BLADZIJDEN:						
33						
VERTROUWELIJK:						
<input type="checkbox"/> JA, tot <input checked="" type="checkbox"/> NEE						
STATUS:						
<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF						

Inhoud

1	Inleiding	1—1
1.1	Probleemomschrijving	1—1
1.2	Oorspronkelijke doelstelling en fasering	1—2
1.3	Procesbeschrijving	1—2
1.4	Aangepaste doelstelling	1—3
1.5	Uitvoering Fase 3A	1—3
1.6	Leeswijzer	1—4
2	Modelopzet	2—1
2.1	Inleiding	2—1
2.2	Beschouwde condities en naamgeving	2—1
2.3	Rekenrooster en bodem	2—2
2.4	Windvelden	2—4
2.5	Golfrandvoorwaarden	2—4
2.5.1	Geëxtrapolerde gemeten golfparameters op meetlocaties	2—5
2.5.2	Bepaling van raaien tegen de windrichting in	2—6
2.5.3	Toepassen randvoorwaardemethodiek	2—9
2.6	Transmissie Oosterscheldekering	2—10
2.7	Uitvoer en uitvoerlocaties	2—11
2.8	Fysische en numerieke instellingen	2—12
3	SWAN berekeningen	3—1
3.1	Inleiding	3—1
3.2	Resultaten voor de harde keringen	3—1
3.2.1	Vergelijking randvoorwaarden	3—1

3.2.2	Golfcondities in monding en estuaria	3—3
3.2.3	Natte en droge uitvoerlocaties	3—4
3.2.4	Resultaten op uitvoerlocaties in estuaria.....	3—4
3.3	Resultaten voor de verbindende waterkeringen.....	3—5
3.4	Resultaten voor duinenkust.....	3—6
4	Oorzaken verschillen resultaten in Oosterschelde en Westerschelde.....	4—1
4.1	Inleiding.....	4—1
4.2	Rooster en bodeminvloeden.....	4—3
4.2.1	Rooster.....	4—3
4.2.2	Bodem.....	4—5
4.3	Randvoorwaarden	4—7
4.3.1	Beschouwde condities	4—8
4.3.2	Resultaten	4—8
4.4	Conclusies.....	4—9
5	Samenvatting.....	5—1
Literatuur		
A	Diepwaterstatistiek	A—1
B	Correctiefuncties voor toetsing.....	B—1
B.1	Inleiding.....	B—1
B.2	Bepaling correctiefuncties	B—1
C	Figuren.....	C—1

I Inleiding

I.1 Probleemomschrijving

Volgens de Wet op de Waterkering moet de Minister van Verkeer en Waterstaat in 2006 de hydraulische randvoorwaarden voor de primaire waterkeringen opnieuw vaststellen. Het gaat hierbij om maatgevende waterstanden en golfcondities waarop de primaire waterkeringen getoetst moeten worden.

De voorbereidingen voor de Hydraulische Randvoorwaarden versie 2006 (verder aangeduid als HR2006) zijn in volle gang. Waar voor de gesloten Hollandse Kust nieuwe berekeningen met het spectraal golfmodel SWAN worden uitgevoerd (zie Haskoning/WL, 2005), zullen voor Zeeland nieuwe toetswaarden in HR2006 worden opgenomen die deels zijn gebaseerd op in het verleden uitgevoerde berekeningen en deels op nieuwe berekeningen. De in het verleden uitgevoerde berekeningen zijn primair uitgevoerd ter bepaling van ontwerpwaarden voor projectbureau Zeeweringen. Deze waarden zijn gebaseerd op robuuste uitgangspunten. De toetswaarden die in HR2006 worden opgenomen gaan echter uit van gemiddelde waarden. Om deze reden zijn de oude rekenresultaten niet zonder meer geschikt voor HR2006. De oude rekenresultaten zijn opgeslagen in de database KustDB2006 (de opvolger van de Rand2001 database).

Het RIKZ heeft overlegd met DG Water over het al dan niet in HR2006 opnemen van met SWAN bepaalde golfbelastingen voor Zeeland. De algemene gedachte was dat resultaten uit SWAN berekeningen niet nauwkeurig genoeg zouden zijn voor de toetsing van bestaande waterkeringen of bekledingen, maar wel voor het ontwerp van nieuwe waterkeringen of bekledingen. Inmiddels zijn er meetresultaten beschikbaar en aan de hand hiervan is een hindcaststudie uitgevoerd (Haskoning, 2003), aangevuld met een evaluatie door RIKZ (2003). Hieruit bleek dat, met gebruik van correctiewaarden, het toch zinvol kan zijn om SWAN toe te passen voor Zeeland. Dit betreft de monding en het binnengebied van de Westerschelde en de Oosterschelde.

RIKZ heeft WL | Delft Hydraulics opdracht gegeven correctiewaarden (functies op basis van generieke fysische eigenschappen) te bepalen voor de golfhoogte en een viertal golfperiodematen voor de monding en het binnengebied van de Westerschelde en Oosterschelde. Hierbij worden de verschillen tussen de gebruikte methodiek voor de oude resultaten en de voor toetsing gehanteerde uitgangspunten in beschouwing genomen. Tevens worden op basis van een reeds uitgevoerde hindcaststudie voor de Westerschelde (Haskoning, 2003; RIKZ, 2003) correctiewaarden voor de golfparameters onder ontwerpcondities bepaald.

De huidige studie wordt uitgevoerd ten behoeve van een tweetal RIKZ projecten, te weten HR2006, waarin de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (toetsingswaarden) worden bepaald, en Dijkbekleding, hetgeen een hydraulisch adviesproject betreft ten behoeve van Projectbureau Zeeweringen (ontwerpwaarden).

1.2 Oorspronkelijke doelstelling en fasering

De oorspronkelijke doelstelling van dit project was het bepalen van correctiewaarden voor het gebruik van de oude rekenresultaten uit de jaren '90 voor ontwerpdoeleinden enerzijds en ten behoeve van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (toetsing) anderzijds. De werkzaamheden zijn opgesplitst in vier fasen met bijbehorend tijdpad:

- Fase 1: Bepaling correctiewaarden voor ontwerp (februari – juli 2005)
- Fase 2: Samenstellen bodems (februari – mei 2005)
- Fase 3: Bepaling correctiewaarden voor toetsing (maart – september 2005)
- Fase 4: Integratie rapportage (september 2005)

1.3 Procesbeschrijving

In de wet op de waterkeringen is vastgelegd dat alle primaire zeekeringen eens per vijf jaar getoetst moeten worden op veiligheid. De toetswaarden voor golfhoogte, golfperioden en waterstand zijn weergegeven in de Hydraulische Randvoorwaarden (HR). Voor een toetsing wordt uitgegaan van een representatieve belasting die op kan treden in de periode waarover getoetst wordt. Dit betekent dat voor de toetsing in principe gerekend wordt met een verwachtingswaarde van de belasting corresponderend met het vereiste veiligheidsniveau. Voor HR2006 worden resultaten van golfberekeningen gebruikt waarbij gerekend wordt met een verwachtingswaarde van de bodem. De uiteindelijke toetswaarden worden met Hydra-K probabilistisch afgeleid.

Voor de gesloten Hollandse kust tussen Hoek van Holland en Den Helder zijn door Royal Haskoning en WL | Delft Hydraulics nieuwe golfberekeningen uitgevoerd met de meest actuele versie van SWAN die bij aanvang van de studie beschikbaar was (versie 40.41AB). Met het probabilistische model Hydra-K zullen toetswaarden worden afgeleid voor diverse faalmechanismen. De uitgevoerde berekeningen voor HR2006 voor de Hollandse kust zijn op diep water aangestuurd door een statistiek die uitgaat van de verwachtingswaarde van de golfhoogte en golfperiode bij een bepaalde windsnelheid. De bodem die is gebruikt is toegesneden op toetsing, waarbij wordt uitgegaan van een verwachtingswaarde over een toetsingsperiode van 5 jaar in plaats van de meest recent gemeten bodem. In het vervolg noemen we deze bodem 'toetsbodem'.

Aanvankelijk is besloten voor Zeeland geen nieuwe berekeningen ten behoeve van toetsing uit te voeren, maar de HR2006 te baseren op de al eerder uitgevoerde ontwerpberekeningen. Daartoe zouden correctiewaarden bepaald moeten worden door originele rekenresultaten te vergelijken met resultaten verkregen in Fase 3.

In Fase 3 zijn berekeningen uitgevoerd op een kromlijng rooster. Daarentegen zijn de berekeningen voor de oude berekeningen uitgevoerd op rechthoekige, veelal fijnere, geneste roosters. Tevens is er een significant verschil in diepte van de gebruikte bodems. In een gevoeligheidsonderzoek (resultaten hiervan zijn opgenomen in dit rapport) zijn de resultaten van de oude ontwerpberekeningen met die resulterend uit de recente berekeningen vergeleken. Dit laat een grote systematische afwijking en een grote spreiding zien. Omdat bodem en rooster erg verschillend bleken, konden vraagtekens bij de betrouwbaarheid worden gezet. Om deze reden is van het oorspronkelijke doel, om op basis van vergelijking

van oude ontwerp- en nieuwe toetsberekeningen correctiewaarden voor toetsing af te leiden, afgestapt.

I.4 Aangepaste doelstelling

De aangepaste doelstelling van Fase 3 is om een beperkte hoeveelheid slim gekozen berekeningen uit te voeren om hydraulische randvoorwaarden voor de Zeeuwse duinen en de verbindende keringen Oosterscheldekering, Brouwersdam en Veersegetdam te bepalen ten behoeve van toetsing. De berekeningen zijn uitgevoerd op het kromlijnige rooster en de in Fase 2 afgeleide bodem, waar bij de betrouwbaarheid van de resultaten in de estuaria vraagtekens zijn gezet (zie vorige paragraaf). De resultaten worden in de monding en op dieper water wel voldoende betrouwbaar geacht, omdat de variaties in golfcondities als gevolg van bodemvariaties daar minder groot zijn. Uit het oogpunt van consistentie worden dezelfde instellingen toegepast als voor de berekeningen voor de Hollandse Kust (Haskoning/WL, 2005). Dit betreft zowel fysische modelinstellingen als de methodiek ter bepaling van de offshore golfrandvoorwaarden.

Hiermee is een nieuwe fase gedefinieerd:

Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden (februari – april 2006)

Evenals voor de berekeningen voor de Hollandse kust dienen de rekenresultaten gecorrigeerd te worden voor afwijkingen in SWAN. Deze correctie valt buiten de scope van deze studie.

Voorliggend rapport beschrijft de werkwijze, resultaten en conclusies van Fase 3A. In deze fase zijn tevens nieuwe golfcondities bepaald in uitvoerlocaties voor de harde keringen in de Oosterschelde en Westerschelde. Ondanks dat deze resultaten niet betrouwbaar worden geacht, worden deze resultaten wel aan RIKZ opgeleverd.

I.5 Uitvoering Fase 3A

In Fase 3A van de studie zijn de 24 SWAN berekeningen uit Fase 3 opnieuw uitgevoerd. De fysische instellingen zijn nu niet meer dezelfde als gebruikt voor de oude ontwerpberekeningen, welke ook in Fase 3 werden gehanteerd, maar zijn gelijk gekozen aan de instellingen als gebruikt voor de toetsberekeningen voor de Hollandse Kust (zie Haskoning/WL, 2005). Ook de in dat rapport beschreven methode ter bepaling van de offshore randvoorwaarden met de bijbehorende meest recente diepwaterstatistiek is gebruikt.

Integrale golfparameters, 1D en 2D spectra worden bepaald in de volgende uitvoerpunten:

- voor de harde keringen in het binnengebied van de Westerschelde en Oosterschelde (uitvoerpunten in KustDB2006 database);
- op ‘diep water’ en ter hoogte van de strandpalen voor de duinenkust in de monding van de Westerschelde en de Oosterschelde (Zeeuws-Vlaanderen, Walcheren en Schouwen);
- voor de verbindende keringen: Oosterscheldekering, Brouwersdam en Veersegetdam;
- op meetlocaties op de Noordzee, in de monding en in het estuarium van de Westerschelde.

I.6 Leeswijzer

De opzet van de SWAN berekeningen is beschreven in Hoofdstuk 2. De resultaten van deze berekeningen staan vermeld in Hoofdstuk 3. Het bepalen van correctiewaarden behoort niet meer tot de doelstelling van deze fase. De methode om correctiefuncties te bepalen en de wijze waarop deze, afgezien van de vraagtekens bij de kwaliteit van de berekeningen, zijn beoogd te worden toegepast, staat beschreven in Appendix B.

2 Modelopzet

2.1 Inleiding

In de database KustDB2006 zijn voor de 1/4000^{ste} windsnelheid (norm bij Oosterschelde en Westerschelde) 14 windrichtingen beschouwd (30°N, 60°N, ... , 360°N; 285°N, 315°N) voor de oude ontwerpberekeningen. Daarnaast zijn er nog 6 windklassen, leidend tot in totaal 72 combinaties van windsnelheid en windrichting. Merk op dat niet in iedere windklasse alle windrichtingen worden beschouwd. De opgelegde windsnelheid is in het binnengebied van de estuaria 1 m/s lager dan in het buitengebied. De scheiding tussen binnen- en buitengebied wordt gevormd door de Oosterscheldekering en de lijn Vlissingen-Breskens. Voor de Oosterschelde zijn SWAN simulaties uitgevoerd met uniforme waterstanden van 0 m, 2 m en 4 m. Voor de Westerschelde zijn waterstanden 2 m, 4 m en 6 m beschouwd. De vier verschillende waterstanden gecombineerd met 72 combinaties van windsnelheid en windrichting levert 288 condities. De resultaten van de SWAN berekeningen zijn opgeslagen in de KustDB2006 (voorheen Rand2001 database).

Voor de huidige studie zijn niet alle 288 condities beschouwd. We hebben ons beperkt tot een aantal representatieve combinaties die van belang zijn voor de vigerende faalmechanismen. Daartoe beschouwen we windsnelheden van minimaal 25 m/s. Daarnaast worden zowel hoge als lage waterstanden beschouwd omdat deze maatgevend zijn voor de faalmechanismen golfoverslag respectievelijk steenbekleding.

Dit hoofdstuk bespreekt de diverse invoergegevens die nodig zijn voor de SWAN-berekeningen in deze studie. De volgende invoergegevens zijn nodig:

- beschouwde condities en naamgeving (Sectie 2.2);
- rekenrooster en bodem (Sectie 2.3);
- windveld (Sectie 2.4);
- golfrandvoorwaarden (Sectie 2.5);
- transmissie door Oosterscheldekering (Sectie 2.6);
- uitvoerpunten (Sectie 2.7);
- fysische en numerieke instellingen (2.8).

De bovenstaande invoergegevens worden in de genoemde paragrafen behandeld. De windvelden zijn dezelfde als voor de oude ontwerpberekeningen. De uitvoerpunten in de estuaria zijn ook gelijk. Daar zijn uitvoerpunten voor de verbindende waterkeringen en voor de duinenkust aan toegevoegd.

2.2 Beschouwde condities en naamgeving

Windrichtingen die leiden tot maatgevende condities zijn voor de meeste locaties westelijk georiënteerd. Omdat de oriëntatie van de beide estuaria nog enigszins verschilt, beschouwen we windrichtingen van 240°N, 270°N en 315°N. Voor veel locaties zijn deze windrichtingen min of meer evenwijdig aan de oriëntatie van het estuarium. Voor deze condities zullen

golven veelal langs de keringen lopen in plaats van loodrecht invallen op de keringen. Daarom is ook de windrichting van 180°N beschouwd. Voor vier windrichtingen zijn windsnelheden behorend bij terugkeertijden van 4000 en 10000 jaar beschouwd: De 8 combinaties staan vermeld in Tabel 2.1 en zijn gebruikt voor de SWAN berekeningen in de Oosterschelde (Alkyon, 1998) en Westerschelde (Alkyon, 1997), waarvan de resultaten thans zijn opgenomen in de database KustDB2006.

windrichting [°N]	windsnelheid (1/4000jr) [m/s]	windsnelheid (1/10000jr) [m/s]
180	24	29
240	32	37
270	34	39
315	29	34

Tabel 2.1: Beschouwde combinaties van windrichting en windsnelheid

Tezamen met de drie beschouwde waterstanden 2 m, 4 m en 6 m levert dit $8 \times 3 = 24$ condities op.

Voor de naamgeving van de SWAN-berekeningen is de volgende conventie gehanteerd:

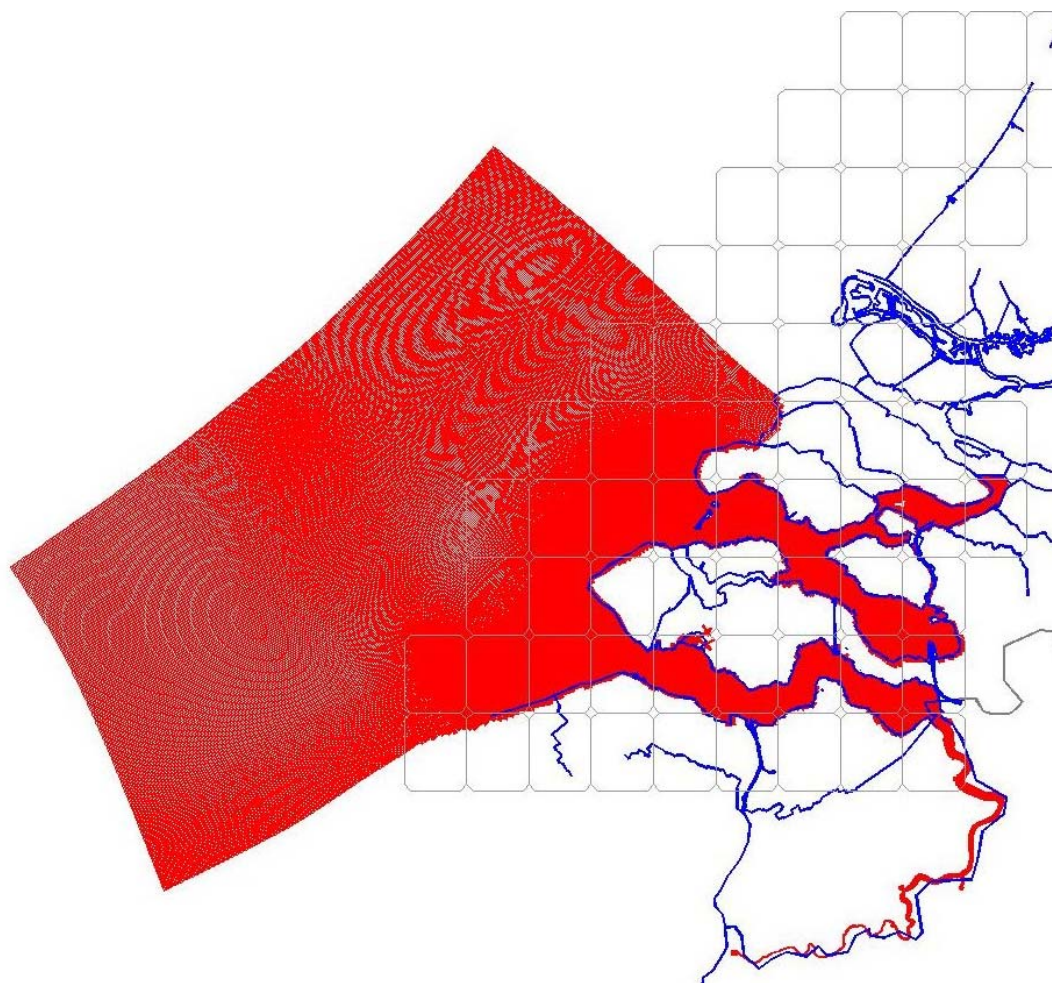
[CaseName] K[windsnelheid]D[windrichting]L[waterstand]

Bijv. K32D240L040 betreft een SWAN-berekening met een windsnelheid van 32 m/s, een windrichting van 240°N en een waterstand van 4 m. Merk op dat in de conventie de waterstand in dm is aangegeven.

2.3 Rekenrooster en bodem

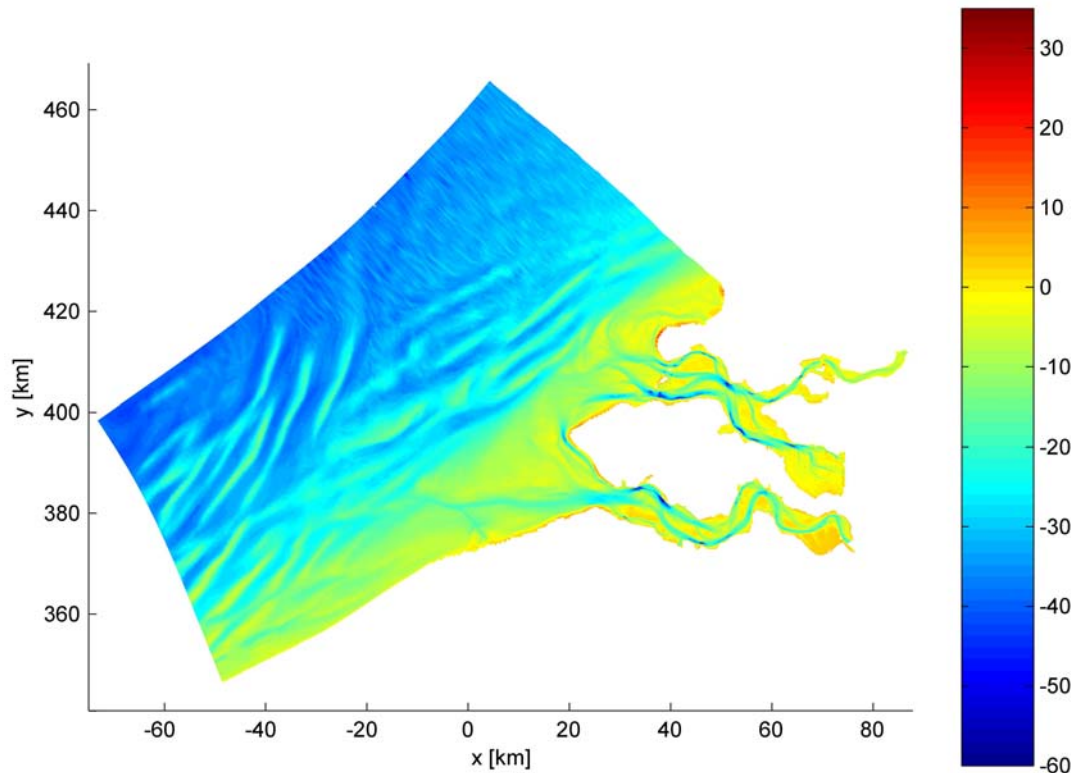
RIKZ heeft het te gebruiken kromlijnjige rekenrooster ‘kustzuid-fijn.grd’ aangeleverd. Dit rooster bevat 840 cellen in Noord-Zuid richting en 1180 cellen in West-Oost richting. In totaal zijn er 993.221 roosterpunten waarvan 399.334 niet-actieve roosterpunten en 593.887 actieve roosterpunten. Het rooster is weergegeven in Figuur 2.1 en loopt deels over land.

Naast de ruimtelijke discretisatie is ook een discretisatie van het golfspectrum noodzakelijk. Hiervoor zijn de instellingen overgenomen uit het calibratierapport van Alkyon (2003). Het 2D spectrum is verdeeld in 36 richtingen met een resolutie van 10 graden, en 42 frequentiebins tussen 0.03 Hz en 1.5 Hz. De verhouding tussen een frequentiebin en zijn voorganger is hierbij gelijk aan de defaultwaarde van 1.1.



Figuur 2.1: Rooster voor SWAN berekeningen.

De gebruikte bodem is toegesneden op toetsing, waarbij wordt uitgegaan van een verwachtingswaarde in plaats van de meest recent gemeten bodem. De in de SWAN berekeningen gebruikte bodem is bepaald in Fase 2 van de huidige studie. Voor details verwijzen we naar Faserapport 2. In Figuur 2.2 is de bodem weergegeven die wordt gebruikt voor alle 24 berekeningen.



Figuur 2.2: Bodem voor SWAN berekeningen (RD coördinaten). Diepte is gegeven t.o.v. N.A.P.

2.4 Windvelden

De opgelegde windvelden zijn in principe gelijk aan die in Alkyon (1997, 1998). In deze studies zijn de estuaria in 2 delen geknipt, waarbij de windsnelheid in het buitengebied is weergegeven in Tabel 2.1. De windsnelheid in het binnengebied is met 1 m/s verlaagd teneinde land-zee effecten enigszins te verdisconteren. De grens van binnen- en buitengebied ligt voor de Westerschelde op de Noord-Zuid lijn door Vlissingen, voor de Oosterschelde over de Oosterscheldekering. Dit laatste is niet analoog met Alkyon (1998). Nader onderzoek heeft uitgewezen dat in 1998 de knip halverwege de Oosterschelde is gelegd. In de huidige studie gebruiken we voor de Oosterschelde aldus een iets gewijzigd maar meer consistent windveld.

De in Alkyon (1997, 1998) gebruikte rekengebieden voor de Oosterschelde en Westerschelde zijn kleiner dan het rekengebied in deze studie (Figuur 2.1). De windvelden zijn uitgebreid via constante extrapolatie zodanig dat het gehele rekendomein wordt overlapt. De opsplitsing van het windveld in een buitengebied en binnengebied van de beide estuaria is hierin verdisconteerd.

2.5 Golf Randvoorwaarden

Op de offshore rand en de noord- en zuidrand van het domein moeten randvoorwaarden worden opgelegd voorzover het randen zijn waar golfenergie het domein in komt. De golf randvoorwaarden zijn afgeleid volgens de methodiek zoals beschreven in Haskoning/WL (2005). Voor een uitgebreide beschrijving van de methode verwijzen we

naar dat rapport. De randvoorwaarden worden bepaald door meetdata bij EUR en SCW (locaties aangegeven in Figuur 2.3) terug te vertalen naar de rand, tegen de windrichting in. De methode tracht op meetlocaties de golfperiode $T_{m-1,0}$ zo goed mogelijk weer te geven. De golfspectra op de noord- en zuidrand worden vervolgens met 1D berekeningen bepaald.

Teneinde het nadelige effect van de golfgroeilimiet in SWAN tegen te gaan is de methodiek met verdiepte bodem, zoals beschreven in Haskoning/WL (2005), ook hier toegepast. Per meetlocatie worden twee SWAN-1D berekeningen uitgevoerd, de eerste met een verdiepte uniforme bodem en de tweede met een schuin oplopende bodem offshore van de randlocaties tot de werkelijke diepte van meetlocatie. Dit resulteert in 2D spectra op de randlocaties behorend bij de beschouwde meetlocaties. De spectra op deze randlocaties en de spectra op de noord- en zuidrand worden in één randvoorwaardenfile aan SWAN gevoed. Op tussenliggende roosterpunten interpoleert SWAN het opgelegde spectrum.

Binnen dit project worden vier windrichtingen beschouwd (180°N, 240°N, 270°N en 315°N). Voor zuiden wind worden geen randvoorwaarden opgelegd, omdat deze geen effect hebben op het golfklimaat in het interessegebied. Voor drie van de vier, i.e. 240°N, 270°N en 315°N, zijn randvoorwaarden gegenereerd. In Sectie 2.5.3 zal blijken dat het slechts zinvol is om voor windrichtingen 270°N en 315°N randvoorwaarden op te leggen.

2.5.1 Geëxtrapoleerde gemeten golfparameters op meetlocaties

Teneinde de randvoorwaarden te kunnen bepalen heeft RIKZ (geëxtrapoleerde) gemeten integrale golfparameters in EUR en SCW aangeleverd. Deze extrapolatie heeft plaats gevonden met behulp van diepwaterstatistiek. De gegevens voor EUR zijn tevens gebruikt in Haskoning/WL (2005). De gegevens voor SCW zijn in het kader van het huidige project aan WL toegeleverd. Voor een discreet aantal combinaties van windsnelheid¹ en windrichting zijn de integrale golfparameters per locatie aangeleverd (zie Appendix A). Omdat diepwaterstatistiek is gebruikt zijn de gegevens onafhankelijk van de waterstand. Met een stil-water diepte van ongeveer 16 m is SCW geen diep-water station en kunnen vraagtekens gezet worden bij de aanname van diep water in de extrapolatie. Wellicht had in plaats van SCW beter gebruik gemaakt kunnen worden van de offshore stations voor de Belgische kust, zoals Westhinder of Akkaert. Deze locaties vallen binnen het beschouwde rekendomein.

De windsnelheden en windrichtingen komen niet overeen met de in deze studie beschouwde windrichtingen en windsnelheden. Om de geëxtrapoleerde gemeten waarden voor de grootheden H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_{pm} te bepalen voor de in Tabel 2.1 genoemde hydraulische condities, is gebruik gemaakt van lineaire interpolatie tussen de geleverde geëxtrapoleerde gemeten waarden. Dit levert de resultaten vermeld in Tabel 2.2.

¹ De windsnelheden voor EUR zijn aangepast aan de waarden vermeld in Haskoning/WL (2005), alwaar ruimtelijke verdeling van het windveld en opschaling via Charnock in rekening zijn gebracht. Voor SCW zijn dezelfde windsnelheden als in EUR aangenomen.

Locatie	Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]	$T_{m-1,0}$ [s]	H_{m0} [m]	T_{pm} [s]
EUR	240	32	9.11	6.34	10.34
EUR	240	37	9.92	7.34	11.34
EUR	270	34	9.27	6.79	10.51
EUR	270	39	9.99	7.73	11.41
EUR	315	29	10.02	6.76	11.18
EUR	315	34	11.02	7.90	12.37
SCW	240	32	7.98	4.07	9.37
SCW	240	37	8.68	4.69	10.30
SCW	270	34	9.04	4.76	10.39
SCW	270	39	9.74	5.34	11.26
SCW	315	29	9.52	4.95	10.95
SCW	315	34	10.35	5.63	12.00

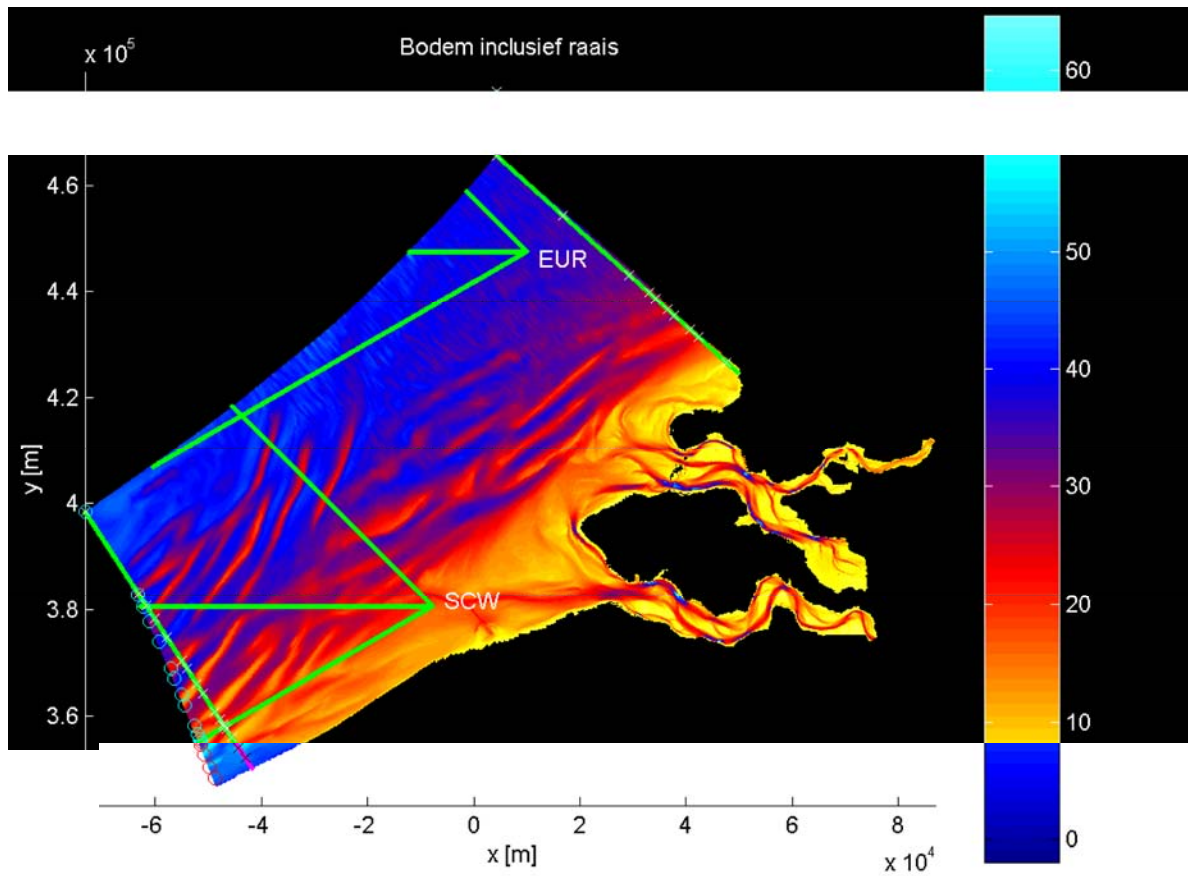
Tabel 2.2 Golfcondities verkregen uit diepwatervatistiek (aangeleverd door RIKZ)

2.5.2 Bepaling van raaien tegen de windrichting in

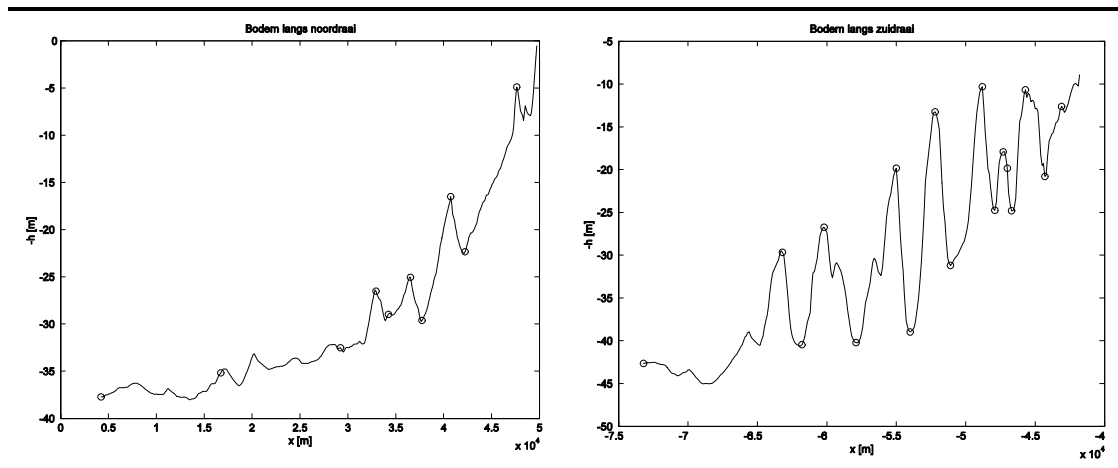
In het kort komt de methode ter bepaling van de randvoorwaarden neer op het bepalen van een 2D spectrum op een randlocatie met behulp van SWAN-1D. Uitgaande van een meetlocatie wordt een raai tegen de windrichting in gekozen. Op het snijpunt van de raai met de domeinrand wordt een 2D spectrum afgeleid.

In totaal beschouwen we drie windrichtingen (voor 180°N worden geen randvoorwaarden afgeleid) voor de twee meetlocaties. De 6 resulterende raaien inclusief de raaien langs de noord- en zuidrand van het domein zijn weergegeven in Figuur 2.3. De bodemligging langs de noord- en zuidraai is gegeven in Figuur 2.4. Op de noordrand zijn 10 locaties aangegeven waar spectra worden gegenereerd, en op de zuidrand 17. Merk op dat het rekenrooster op de zuidrand vrij gekromd is. Daardoor zit er een naar de kust toe groter wordend verschil tussen de domeinrand en de zuidraai. Met het grote verschil kan SWAN niet goed om gaan. Daarom worden de op de raai afgeleide spectra op de domeinrand opgelegd in punten waarvoor de afstand tussen raai punt en domeinrand het kortst is.

Omdat de afstand tussen noordrand en de naastgelegen raai dusdanig klein is, worden de randvoorwaarden simpelweg gedefinieerd in de 10 raai punten. SWAN legt immers, mits de afstand tussen locatie en rand rekenrooster niet te groot is, zelf de randvoorwaarde op de dichtstbijzijnde locatie op de rand van het rekenrooster.



Figuur 2.3 Bodemhoogte (t.o.v. N.A.P.) inclusief raaien onder hoek van 240°N, 270°N en 315°N en de raaien langs de noord- en zuidrand.



Figuur 2.4 Noordrand (links) en zuidrand (rechts): bodem (lijn) en locaties (cirkels) waarop in 2D berekeningen de randvoorwaarden worden opgelegd.

Merk op dat binnen het randvoorwaarden-generatie proces alleen op de noord- en zuidraai berekeningen worden uitgevoerd met de werkelijke bodem. Binnen de groeikromme-aanpak gaan we uit van een uniforme bodem op het gedeelte tussen de rand van het rekendomein en de offshore meetlocatie (valide aanname voor offshore locaties waar relatieve bodemvariaties klein zijn). Het werkelijke bodemverloop kan een indruk geven van mogelijke afwijkingen. De bodemligging langs de raaien die van de meetlocaties teruglopen

naar de rand van het rekenrooster zijn alleen interessant om een indruk te krijgen van het bodemverloop. Deze zijn getoond in Figuur 2.5.

De diepte rondom EUR is minimaal 35 m. De raaien naar SCW gaan duidelijk over de banken en bereiken een diepte van 15-20 m nabij SCW.

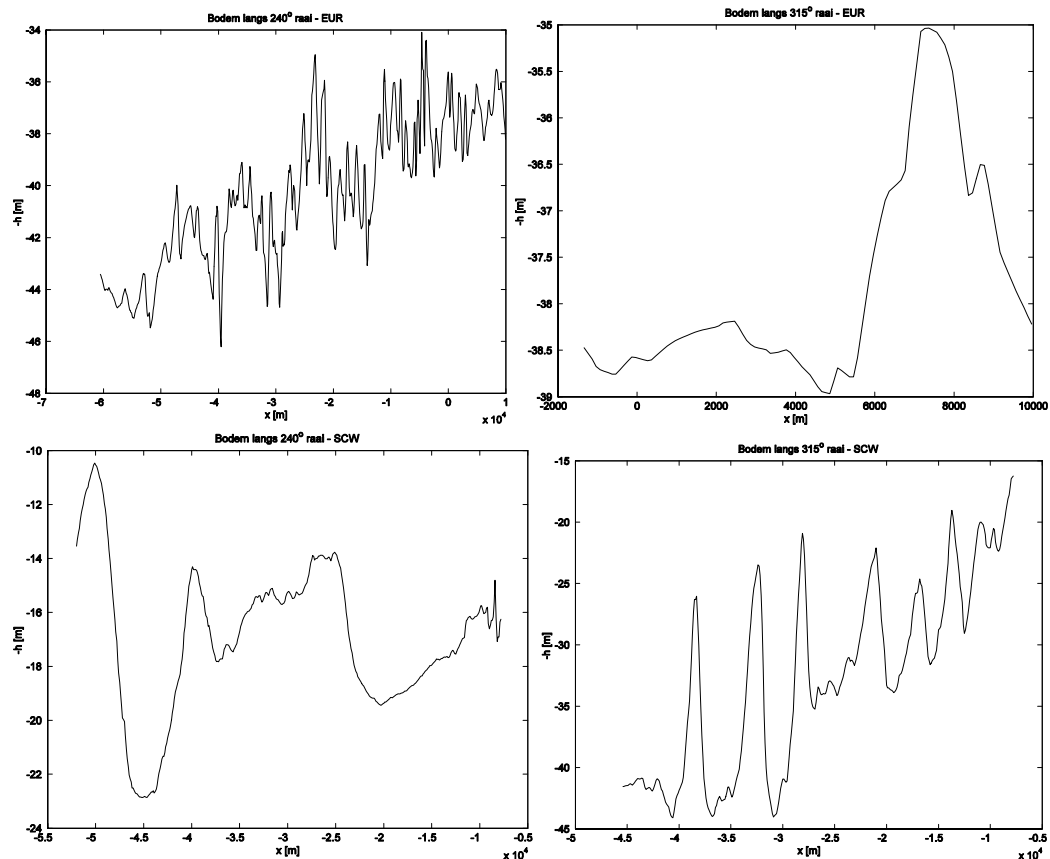
De roosterafstand op de raaien bedraagt 100 m. Enige gegevens over de raaien van meetlocatie naar rekenrand staan in Tabel 2.3. Het beginpunt van de raai is de locatie op de rand. Gegevens over de noordraai en zuidraai staan vermeld in Tabel 2.4.

	$(x,y)_{\text{begin}}$	$(x,y)_{\text{eind}}$	Lengte [km]
EUR 240 ⁰	(-60537, 406898)	$(x,y)_{\text{EUR}} = (9963, 447601)$	81.4
EUR 270 ⁰	(-12137, 447601)	$(x,y)_{\text{EUR}} = (9963, 447601)$	22.1
EUR 315 ⁰	(-1437, 459001)	$(x,y)_{\text{EUR}} = (9963, 447601)$	16.1
SCW 240 ⁰	(-51997, 355126)	$(x,y)_{\text{SCW}} = (-7797, 380645)$	51.0
SCW 270 ⁰	(-62797, 380645)	$(x,y)_{\text{SCW}} = (-7797, 380645)$	55.0
SCW 315 ⁰	(-45497, 418345)	$(x,y)_{\text{SCW}} = (-7797, 380645)$	53.3

Tabel 2.3 Gegevens over de 6 inwendige raaien

	$(x,y)_{\text{begin}}$ [m]	$(x,y)_{\text{eind}}$ [m]	Lengte [km]	Hoek (Naut.)	Hoek (Cart.)
Noordraai	(4230,465700)	(49730,424732)	45.5	312	-42
Zuidraai	(-73200,398400)	(-41800,350048)	31.4	327	-57

Tabel 2.4 Gegevens over de noordraai en zuidraai



Figuur 2.5 Bodem langs raaien tussen meetlocatie van randlocatie voor EUR (boven) en SCW (onder) bij windrichtingen van 240°N (links) en 315°N (rechts).

2.5.3 Toepassen randvoorwaardemethodiek

De randvoorwaardenmethode zoals beschreven in Haskoning/WL (2005), inclusief de verdieping over de raai offshore van het randpunt, is toegepast met behulp van de diepwaterstatistiek gegeven in Sectie 2.5.1 en de raaien zoals gedefinieerd in Sectie 2.5.2.

In Tabel 2.5 staan de resultaten vermeld uit de groeikromme-berekeningen voor enkele golfparameters. De afkorting 'stat' staat voor de gegeven diepwaterstatistiek, 'meetlc' voor de berekende parameters op de meetlocatie en 'randlc' voor de berekende parameters op de randlocatie. Met F_{bc} wordt het verschil tussen benodigde strijklengte en afstand tussen meetlocatie en randlocatie aangeduid. Een negatieve waarde geeft aan dat ongeacht het spectrum dat op de rand wordt opgelegd de periode $T_{m-1,0}$ in de meetlocatie wordt overschat.

Conditie	F_{bc} [km]	$T_{m-1,0}$ [s]			H_{m0} [m]			T_{pm} [s]		
		stat	meetlc	randlc	stat	meetlc	randlc	stat	meetlc	randlc
K32D240L020eur	-20.6	9.11	-	0	6.34	-	0	10.34	-	0
K32D240L040eur	-21.1	9.11	-	0	6.34	-	0	10.34	-	0
K32D240L060eur	-21.8	9.11	-	0	6.34	-	0	10.34	-	0
K37D240L020eur	-18.3	9.92	-	0	7.34	-	0	11.34	-	0
K37D240L040eur	-18.7	9.92	-	0	7.34	-	0	11.34	-	0
K37D240L060eur	-19.2	9.92	-	0	7.34	-	0	11.34	-	0
K34D270L020eur	36.0	9.27	9.27	8.17	6.79	8.38	6.87	10.51	9.87	8.16
K34D270L040eur	35.4	9.27	9.27	8.16	6.79	8.41	6.85	10.51	9.87	8.16
K34D270L060eur	34.7	9.27	9.27	8.14	6.79	8.43	6.82	10.51	9.87	8.16
K39D270L020eur	36.8	9.99	9.99	8.79	7.73	9.96	8.18	11.41	9.87	8.98
K39D270L040eur	36.3	9.99	9.99	8.79	7.73	10.01	8.18	11.41	9.87	8.98
K39D270L060eur	36.0	9.99	9.99	8.78	7.73	10.06	8.19	11.41	9.87	8.98
K29D315L020eur	92.0	10.02	10.02	9.65	6.76	8.61	8.12	11.18	10.86	9.87
K29D315L040eur	91.3	10.02	10.03	9.65	6.76	8.66	8.16	11.18	10.86	9.87
K29D315L060eur	89.8	10.02	10.02	9.63	6.76	8.72	8.21	11.18	10.86	9.87
K34D315L020eur	94.2	11.02	11.02	10.6	7.90	10.65	10.02	12.37	11.95	10.86
K34D315L040eur	93.1	11.02	11.02	10.57	7.90	10.71	10.08	12.37	11.95	10.86
K34D315L060eur	92.8	11.02	11.02	10.59	7.90	10.83	10.17	12.37	11.95	10.86
K32D240L020scw	-9.7	7.98	-	0	4.07	-	0	9.37	-	0
K32D240L040scw	-9.7	7.98	-	0	4.07	-	0	9.37	-	0
K32D240L060scw	-9.7	7.98	-	0	4.07	-	0	9.37	-	0
K37D240L020scw	-7.8	8.68	-	0	4.69	-	0	10.30	-	0
K37D240L040scw	-7.8	8.68	-	0	4.69	-	0	10.30	-	0
K37D240L060scw	-7.8	8.68	-	0	4.69	-	0	10.30	-	0
K34D270L020scw	4.1	9.04	8.63	4.30	4.76	6.20	2.31	10.39	8.98	4.18
K34D270L040scw	4.1	9.04	8.87	4.32	4.76	6.74	2.32	10.39	8.98	4.60
K34D270L060scw	4.1	9.04	9.02	4.33	4.76	7.18	2.33	10.39	8.98	4.60
K39D270L020scw	21.8	9.74	8.96	7.34	5.34	6.48	5.77	11.26	9.87	7.42
K39D270L040scw	21.8	9.74	9.37	7.35	5.34	7.12	5.88	11.26	9.87	7.42
K39D270L060scw	21.8	9.74	9.70	7.37	5.34	7.75	5.96	11.26	10.86	7.42
K29D315L020scw	48.6	9.52	9.04	7.91	4.95	6.01	5.59	10.95	9.87	8.16
K29D315L040scw	48.6	9.52	9.31	7.91	4.95	6.57	5.66	10.95	9.87	8.16
K29D315L060scw	48.6	9.52	9.51	7.91	4.95	7.00	5.72	10.95	9.87	8.16
K34D315L020scw	118.6	10.35	9.45	10.18	5.63	6.32	7.11	12.00	10.86	10.86
K34D315L040scw	118.6	10.35	9.89	10.11	5.63	6.98	7.48	12.00	10.86	10.86
K34D315L060scw	118.6	10.35	10.31	10.08	5.63	7.60	7.62	12.00	11.95	10.86

Tabel 2.5 Resultaten groeikromme-berekeningen.

Voor de windrichting van 240°N merken we op dat de benodigde strijklengte voor alle condities en voor beide locaties korter is dan de afstand tussen rand- en meetlocatie. Het opleggen van een randvoorwaarde zou leiden tot een gemiddelde golfperiode die groter is dan de gewenste golfperiode. Om deze reden worden voor deze windrichting geen randspectra opgelegd.

In EUR wordt de target $T_{m-1,0}$ exact gehaald, omdat het op deze locatie dermate diep is dat een additionele berekening met een schuin oplopende bodem niet hoeft worden toegepast. Dit geldt echter niet voor SCW. Met een SWAN-1D som wordt allereerst op een verdiepte bodem de strijklengte bepaald waarbij de gewenste periode $T_{m-1,0}$ wordt bereikt, alvorens met een schuin oplopende bodem het op te leggen spectrum wordt bepaald. De extra berekening zorgt voor een bescheiden afwijking in gewenste ('stat') en berekende ('meetlc') golfperiode $T_{m-1,0}$. De golfhoogte wordt 20%-30% overschat op beide locaties. Dit wordt veroorzaakt door de aanname van stationariteit. In de berekeningen wordt de in werkelijkheid aanwezige timelag tussen het maximum in golfhoogte en maximum in golfperiode niet meegenomen. Dit is ook opgetreden in de bepaling van randvoorwaarden voor de Hollandse kust (Haskoning/WL, 2005).

Uiteindelijk worden per hydraulische conditie (Tabel 2.1) de 2D spectra in 1 randvoorwaardenfile gezet. Dit levert dus uiteindelijk 12 files op (twee windrichtingen (270°N en 315°N) x 2 windsnelheden x 3 waterstanden). Voor 180°N en 240°N worden geen randvoorwaarden opgelegd.

Voor 315°N liggen de randlocaties op de offshore rand. Op de zuidwest punt van het rooster wordt het spectrum op de randlocatie behorend bij SCW gelegd, op de noordwest punt die behorend bij de randlocatie in EUR. Op de noordrand wordt op 10 locaties het spectrum in de randlocatie van EUR gebruikt, na vermenigvuldiging met de plaatsafhankelijke energiefactor. Deze aanpak is analoog aan die voor de Hollandse kust (zie p. 21/22 van Haskoning/WL, 2005). Op de zuidrand wordt op 17 locaties het spectrum in de randlocatie van SCW gebruikt, na vermenigvuldiging met de plaatsafhankelijke energiefactor.

Voor 270°N ligt het randpunt behorend bij SCW op de zuidrand. Op de 17 locaties op de zuidrand wordt het spectrum in de randlocatie van SCW opgelegd na vermenigvuldiging met de plaatsafhankelijke energiefactor. Op de offshore rand ligt alleen de randlocatie behorend bij EUR. Op de noordwest punt van het rooster wordt ook het spectrum van dit randpunt opgelegd. Op de noordrand wordt geen spectrum opgelegd. SWAN interpoleert op tussenliggende roosterpunten de 2D spectra.

2.6 Transmissie Oosterscheldekering

In een recentelijk afgeronde studie heeft Alkyon (2005) frequentie- en waterstandsafhankelijke transmissiecoëfficiënten bepaald voor de Oosterscheldekering. Deze frequentie-afhankelijke transmissie is hard in de SWAN code geprogrammeerd.

De transmissiecoëfficiënt K_T is gedefinieerd als het quotiënt van de golfhoogte aan de benedenwindse zijde van de kering en de golfhoogte aan de bovenwindse zijde. In Tabel 2.6 staan de waarden voor K_T voor het laag-frequente deel ($f < f_{laag}=0.2$ Hz) en het hoog-frequente deel ($f > f_{hoog}=0.3$ Hz) deel van het spectrum. Alle lange golven worden dus

doorgelaten. Voor frequenties tussen f_{laag} en f_{hoog} wordt de transmissiecoëfficiënt lineair geïnterpoleerd. Voor waterstanden groter dan 3 m gaat de kering dicht en geldt $K_T = 0$.

K_T voor $f < f_{laag}$	K_T voor $f > f_{hoog}$		
	$h = 0$ m	$h = 2$ m	$h = 3$ m
1	0.3	0.2	0.1

Tabel 2.6 Waterstandsafhankelijke frequentie-afhankelijke transmissiecoëfficiënten voor de Oosterscheldekering (Alkyon, 2005)

Deze transmissiecoëfficiënten verschillen van de waarden die gebruikt zijn in de oude ontwerpberoeeningen (zie Alkyon, 1998). Voor een waterstand van 0 m werd een frequentie-onafhankelijke transmissiecoëfficiënt $K_T = 0.6$ gebruikt. Voor 2m werd $K_T = 0.3$ gebruikt. Omdat de meeste energie voor de kering een periode heeft die groter is dan 5 s, wordt met de nieuwe waarden voor K_T het grootste gedeelte van de golfenergie ongestoord doorgelaten, immers $K_T = 1$ voor $f < f_{laag}$. De nieuwe transmissiecoëfficiënten zullen dus leiden tot grotere golfhoogten en lagere perioden.

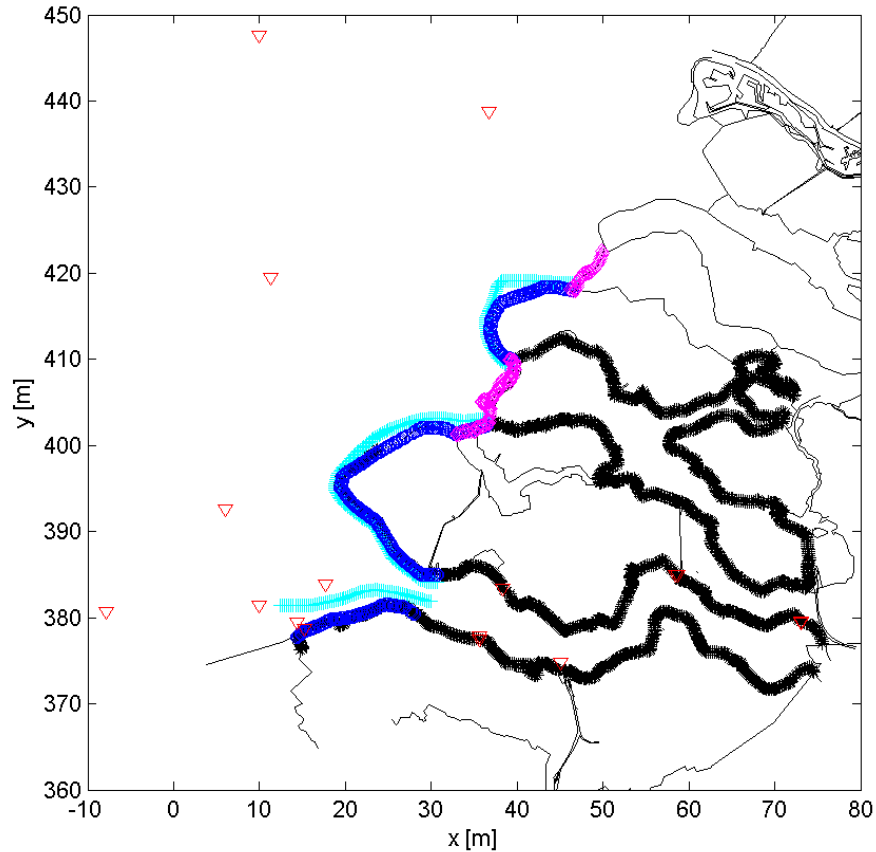
2.7 Uitvoer en uitvoerlocaties

In alle uitvoerpunten in de Zeeuwse delta, in de monding en het binnengebied van de Oosterschelde en Westerschelde wordt uitvoer gegenereerd. Het betreft uitvoerpunten voor de harde keringen, verbindende waterkeringen en voor de duinenkust. Deze uitvoerpunten zijn aangeleverd door RIKZ in de puntenfiles gegeven in Tabel 2.7. Grafisch zijn de uitvoerpunten weergegeven in Figuur 2.6.

puntenfile	locatie
rand2001_os_xyz	harde keringen Oosterschelde en Voordelta
rand2001_ws_xyz	harde keringen Westerschelde en de monding
rand2001_HK_xyz	verbindende waterkeringen
OSK_xyz	ter hoogte van schuiven Oosterscheldekering
ZVLN_diep_xyz	offshore locaties duinenkust Zeeuws-Vlaanderen
ZVLN_rsp_xyz	strandpaal locaties duinenkust Zeeuws-Vlaanderen
WLCH_diep_xyz	offshore locaties duinenkust Walcheren
WLCH_rsp_xyz	strandpaal locaties duinenkust Walcheren
SCHW_diep_xyz	offshore locaties duinenkust Schouwen-Duiveland
SCHW_rsp_xyz	strandpaal locaties duinenkust Schouwen-Duiveland
test_xyz	meetlocaties op Noordzee en in Westerschelde

Tabel 2.7 Puntenfiles met uitvoerlocaties

De significante golfhoogte H_{m0} en de golfperioden $T_{m-1,0}$, T_{pb} , T_{pbeq} en T_{pm} worden bepaald voor de in Tabel 2.1 genoemde condities. Omdat de piekperiodematen T_{pb} , T_{pbeq} en T_{pm} niet tot de standaarduitvoer van SWAN behoren, vindt nabewerking van de 1D spectra plaats om deze periodematen te bepalen.



Figuur 2.6 Uitvoerpunten voor de harde keringen (zwart *), duinen op diep water (cyan +) en ter hoogte van de rijksstrandpalen (blauw o), verbindende keringen (margenta ◇) en meetlocaties (rood ▽).

2.8 Fysische en numerieke instellingen

De volgende bron- en puttermen zijn meegenomen in de SWAN-berekeningen (Holthuijsen et al., 2004) op analoge wijze als voor de berekeningen voor de Hollandse kust in het kader van HR2006 (Haskoning/WL, 2005):

- wind;
- whitecapping;
- quadruplets;
- dieptegeïnduceerde breking;
- bodemwrijving.

Reflectie en opzet ten gevolge van golven zijn niet meegenomen. Triads (niet-lineaire bijna resonante golf-golf interactie) zijn eveneens niet meegenomen. In diverse studies (bijv.

WL&Alkyon, 2002) is aangetoond dat de triad formulering in SWAN kan leiden tot significante onderschatting van de gemiddelde golfperiode in de kustzone.

Voor de fysische instellingen zijn de default instellingen van versie 40.41AB gekozen, afgezien van de waarde voor de bodemwrijvingscoëfficiënt en de instelling voor de whitecapping formulering. Voor beide zijn de instellingen zoals gebuikt in de berekeningen voor de Hollandse kust (Haskoning/WL, 2005) aangehouden. Dit houdt in dat bodemwrijving via de Jonswap formulering wordt gemodelleerd. De aanbevolen waarde voor de bodemwrijvingscoëfficiënt voor swell condities, i.e. $0.038 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, is gebruikt (Holthuijsen et al., 2004). De whitecapping formulering van Komen et al. (1984) is in deze studie niet met de defaultinstelling toegepast. In de bronterm is de afhankelijkheid van het golfgetal default lineair, maar in deze studie wordt deze kwadratisch verondersteld. Dit leidt tot sterkere dissipatie van hoog-frequente energie, waardoor over het algemeen grotere golfperiodes worden verkregen (zie bijv. Rogers et al., 2002).

Voor het convergentie criterium zijn de aanbevelingen overgenomen uit Alkyon (2003) en wordt het 1%-criterium aangehouden. Dit betreft:

- Voor minimaal 99% van de natte punten is de afwijking tussen de laatste en op-één-na-laatste iteratie voor significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode t.o.v. de significante golfhoogte respectievelijk gemiddelde golfperiode gemiddeld over alle natte punten maximaal 1%, of;
- Voor minimaal 99% van de natte punten is de relatieve afwijking tussen de laatste en op-één-na-laatste iteratie voor significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode maximaal 1%;
- het maximale aantal iteraties is ingesteld op 30 iteraties.

De instellingen voor wat betreft de nauwkeurigheidseisen en het maximale aantal iteraties zijn hoger dan de standaardinstellingen in SWAN.

3 SWAN berekeningen

3.1 Inleiding

De berekeningen voor alle hydraulische conditie zijn uitgevoerd met SWAN versie 40.41AB op het Hydrax-cluster van WL | Delft Hydraulics. Op dit cluster zijn ook de berekeningen uitgevoerd voor de Hollandse kust (Haskoning/WL, 2005). Ten tijde van de berekeningen bestond het cluster uit 32 nodes, elk met een kloksnelheid van 3.6GHz en voorzien van 4GB intern geheugen. Voor dit project hadden we de beschikking over 8 nodes.

Alle berekeningen hebben in minder dan 30 iteraties, hetgeen als maximum was gesteld, aan het convergentie criterium (zie Sectie 2.8) voldaan. De rekestijden per berekening lopen uiteen van 70 tot 90 minuten en worden bepaald door het aantal iteraties dat moet worden uitgevoerd om aan het convergentiecriterium te voldoen.

In deze sectie worden de resultaten van de 24 SWAN berekeningen besproken. Daarbij wordt allereerst gekeken naar de integrale golfparameters in de uitvoerlocaties voor de harde keringen (Sectie 3.2). Daarnaast worden de resultaten voor de verbindende waterkeringen en voor de duinenkust kort belicht in Sectie 3.3 respectievelijk 3.4.

3.2 Resultaten voor de harde keringen

De resultaten van de berekeningen zijn opgeslagen in de directorystructuur zoals deze ook voor de Hollandse kust berekeningen (Haskoning/WL, 2005) is aangehouden. Dat wil zeggen dat directories Table, Spec1d, Spec2d en Block zijn aangemaakt met daarin per hydraulische conditie de integrale parameters (tab en tb2 files), 1D spectra (sp1 files), 2D spectra (sp2 files) en ruimtelijke verdelingen van integrale grootheden (blk files).

3.2.1 Vergelijking randvoorwaarden

Op de twee meetlocaties EUR en SCW is ook uitvoer gegenereerd teneinde de 2D rekenresultaten te kunnen vergelijken met de diepwaterstatistiek, die is gebruikt om de randvoorwaarden af te leiden. In Tabel 3.1 en 3.2 zijn voor EUR respectievelijk SCW de via diepwaterstatistiek verkregen en met SWAN berekende integrale golfparameters $T_{m-1,0}$, H_{m0} en T_{pm} weergegeven. Eveneens is het relatieve verschil aangegeven, waarbij een negatieve waarde staat voor een onderschatting door SWAN t.o.v. de diepwaterstatistiek.

Case	$T_{m-1,0}$			H_{m0}			T_{pm}		
	diepw	SWAN	error	diepw	SWAN	error	diepw	SWAN	error
K32D240L020	9.11	9.59	0.053	6.34	7.86	0.24	10.34	10.58	0.023
K32D240L040	9.11	9.63	0.057	6.34	7.97	0.26	10.34	10.61	0.026
K32D240L060	9.11	9.69	0.064	6.34	8.09	0.28	10.34	10.65	0.030
K37D240L020	9.91	10.25	0.034	7.34	9.24	0.26	11.34	11.48	0.012
K37D240L040	9.91	10.26	0.035	7.34	9.31	0.27	11.34	11.48	0.012
K37D240L060	9.91	10.28	0.037	7.34	9.42	0.28	11.34	11.50	0.014
K34D270L020	9.27	9.49	0.024	6.79	8.48	0.25	10.51	10.36	-0.014
K34D270L040	9.27	9.42	0.016	6.79	8.41	0.24	10.51	10.09	-0.040
K34D270L060	9.27	9.42	0.016	6.79	8.46	0.25	10.51	10.09	-0.040
K39D270L020	9.99	10.32	0.033	7.73	10.11	0.31	11.41	11.09	-0.028
K39D270L040	9.99	10.19	0.020	7.73	10.02	0.30	11.41	11.04	-0.032
K39D270L060	9.99	10.20	0.021	7.73	10.07	0.30	11.41	11.04	-0.032
K29D315L020	10.02	9.97	-0.005	6.76	8.44	0.25	11.18	10.65	-0.047
K29D315L040	10.02	9.97	-0.005	6.76	8.50	0.26	11.18	10.65	-0.047
K29D315L060	10.02	9.96	-0.006	6.76	8.55	0.26	11.18	10.64	-0.048
K34D315L020	11.02	11.03	0.001	7.90	10.37	0.31	12.37	12.06	-0.025
K34D315L040	11.02	11.01	-0.001	7.90	10.51	0.33	12.37	12.05	-0.026
K34D315L060	11.02	11.01	-0.001	7.90	10.63	0.35	12.37	12.04	-0.027

Tabel 3.1 Berekenende en via diepwaterstatistiek verkregen integrale golfparameters bij EUR, alsmede de relatieve fout tussen beide. Negatieve fout staat voor een onderschatting van SWAN.

Case	$T_{m-1,0}$			H_{m0}			T_{pm}		
	diepw	SWAN	error	diepw	SWAN	error	diepw	SWAN	error
K32D240L020	7.98	7.95	-0.004	4.07	4.98	0.22	9.37	8.79	-0.062
K32D240L040	7.98	8.02	0.005	4.07	5.36	0.32	9.37	8.79	-0.062
K32D240L060	7.98	8.10	0.015	4.07	5.67	0.39	9.37	8.82	-0.059
K37D240L020	8.68	8.50	-0.021	4.69	5.37	0.14	10.30	9.57	-0.071
K37D240L040	8.68	8.56	-0.014	4.69	5.90	0.26	10.30	9.55	-0.073
K37D240L060	8.68	8.64	-0.005	4.69	6.33	0.35	10.30	9.56	-0.072
K34D270L020	9.04	9.08	0.004	4.76	5.49	0.15	10.39	10.36	-0.003
K34D270L040	9.04	9.00	-0.004	4.76	6.01	0.26	10.39	9.80	-0.057
K34D270L060	9.04	9.00	-0.004	4.76	6.45	0.36	10.39	9.79	-0.058
K39D270L020	9.74	9.71	-0.003	5.70	5.65	-0.01	11.26	10.74	-0.046
K39D270L040	9.74	9.76	0.002	6.36	6.37	0.00	11.26	10.74	-0.046
K39D270L060	9.74	9.87	0.013	5.34	6.99	0.31	11.26	11.09	-0.015
K29D315L020	9.52	9.86	0.036	4.95	5.68	0.15	10.94	11.05	0.010
K29D315L040	9.52	9.97	0.047	4.95	6.32	0.28	10.94	11.08	0.013
K29D315L060	9.52	10.14	0.065	4.95	6.94	0.40	10.94	11.12	0.016
K34D315L020	10.35	10.73	0.037	5.63	5.85	0.04	11.99	12.27	0.023
K34D315L040	10.35	11.03	0.066	5.63	6.59	0.17	11.99	12.61	0.052
K34D315L060	10.35	11.28	0.090	5.63	7.29	0.29	11.99	12.67	0.057

Tabel 3.2 Berekenende en via diepwaterstatistiek verkregen integrale golfparameters bij SCW, alsmede de relatieve fout tussen beide.

Meetlocatie EUR wordt niet door een bankenstelsel afgeschermd. De randvoorwaarden methode zou moeten leiden tot een correct voorspelde gemiddelde periode $T_{m-1,0}$. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn voor de windrichtingen van 270°N en 315°N. Voor 240°N wordt geen randvoorwaarde opgelegd omdat de afstand van de randlocatie, gelegen op de zuidrand, tot de meetlocatie te groot is voor de gegeven windsnelheden. Zelfs het opleggen van geen randvoorwaarde zorgt hier immers al voor een overschatting van de golfperiode $T_{m-1,0}$ bij EUR. De overschatting is echter maximaal 6.4%.

SCW ligt in het bankenstelsel. De sterk variërende bodem maakt de randvoorwaarden methode, die uitgaat van een voor een offshore locatie reële aanname van uniforme bodem, minder betrouwbaar. Daarnaast is ‘diepwaterstatistiek’ toegepast op de ondiepe locatie

SCW, hetgeen de betrouwbaarheid van de geëxtrapoleerde metingen ook niet ten goede komt. Voor de windrichtingen van 240°N en 270°N blijft het verschil tussen (geëxtrapoleerde) gemeten en berekende golfperiode $T_{m-1,0}$ beperkt tot 2%. Voor 315°N loopt het op tot 9%.

De overschatting van de golfhoogte bij EUR is significant en varieert van 24% tot 35%. Er wordt immers in de methode alleen gestuurd op de gemiddelde periode. Meetlocatie SCW ondervindt de invloed van de banken waardoor met name voor de lage waterstanden extra energiedissipatie plaatsvindt. Hierdoor zijn de verschillen met de metingen kleiner. Verder kustwaarts zou het verschil alleen nog maar kleiner worden. Kortom, de grote verschillen in significante golfhoogte offshore verdwijnen grotendeels in de ondiepe kustgebieden.

De piekperiodemaat T_{pm} wordt beter benaderd dan de significante golfhoogte. Bij EUR is de afwijking hooguit 5% en bij SCW hooguit 7%.

Al met al wordt de gemiddelde golfperiode goed benaderd op de uitvoerlocaties. Dit betekent dat de afgeleide randvoorwaarden voor alle condities bruikbaar zijn.

3.2.2 Golfcondities in monding en estuaria

Dat het golfveld sterk wordt gedomineerd door het bankenstelsel voor de kust laat Figuur F-1 zien. Voor de case K34D315L060 is de ruimtelijke verdelingen van de significante golfhoogte H_{m0} en de gemiddelde periode $T_{m-1,0}$ weergegeven. De significante golfhoogte neemt sterk af op 15 km voor de kust als gevolg van energiedissipatie op de aanwezige banken. De golfperiode neemt ook zichtbaar af, maar pas wat dichterbij de kust. In de Oosterschelde is dit voor hogere waterstanden het gevolg van de dichte kering. In de Westerschelde is de doordringing van de lange golven beperkt tot de monding en treedt in het binnengebied voornamelijk lokale golfgroei op.

Voor een drietal condities zijn in Figuren F-2, F-3 en F-4 de ruimtelijke verdelingen in de estuaria en mondingsgebieden weergegeven van de integrale golfparameters H_{m0} en $T_{m-1,0}$. Dit betreft de condities:

- K34D315L060 (windsnelheid uit noordwestelijke richting met een herhalingstijd van 10000 jaar bij extreme waterstand)
- K34D270L040 (windsnelheid uit westelijke richting met een herhalingstijd van 4000 jaar bij hoge waterstand)
- K24D180L020 (windsnelheid uit zuidelijke richting met een herhalingstijd van 4000 jaar bij lage waterstand)

Voor de westelijk georiënteerde richtingen is duidelijk waarneembaar dat het golfhoogteverloop de bodemprofielen volgt. In de geulen is de golfhoogte het grootst. Op de platen treedt dissipatie op. De golfperiode is minder gevoelig voor de platen, met name omdat drie-golf wisselwerkingen niet zijn verdisconteerd in de berekeningen. Daarnaast zijn de geulen herkenbaar aan de lagere periode. De lange golven refracteren sterker uit de geul, waardoor de periode in de geul afneemt.

Voor de zuidelijke windrichting en lage waterstand zijn er in de Westerschelde zelfs grote gebieden die droogvallen (Land van Saeftinge, Hoge Bollen). Voor deze situatie neemt de golfhoogte en periode toe vanaf de zuidkant van de estuaria en zijn de golven aan de noordkant het hoogst, als gevolg van windgroei. Al met al vertonen de ruimtelijke verdelingen een realistisch beeld.

3.2.3 Natte en droge uitvoerlocaties

Van groot belang zijn de integrale golfparameters in de uitvoerlocaties voor de keringen. Naast de vraag of de waarden realistisch zijn, rijst de vraag of er überhaupt golfcondities zijn gegenereerd in de uitvoerlocaties. Door het gebruik van een andere bodem en rooster is niet gegarandeerd dat droogval plaatsvindt op dezelfde locaties als voor de oude ontwerpberoeeningen.

Voor de case K34D270L040 zijn in Figuur F-5 alle uitvoerpunten geplot tezamen met het bodemprofiel. In de plot zonder diepte is (met rood) aangegeven welke locaties in de SWAN berekening droogvallen. In de estuaria is het aantal droge uitvoerpunten zeer beperkt. Echter voor de slikken en schorren van Saeftinghe zijn er veel punten die droogvallen.

Daarnaast toont Figuur F-5 dat er voor de zuidwest kust van Walcheren veel punten droogvallen. Dit is in eerste instantie opmerkelijk omdat deze locaties in de oorspronkelijke ontwerpberoeeningen voor deze waterstanden niet droog vielen en de bodem, ondanks invoeging van de Jarkusraaien, slechts marginaal veranderd is. In Fase 2 van deze studie is immers al onderzocht dat de veranderingen van de diepte hier klein zijn.

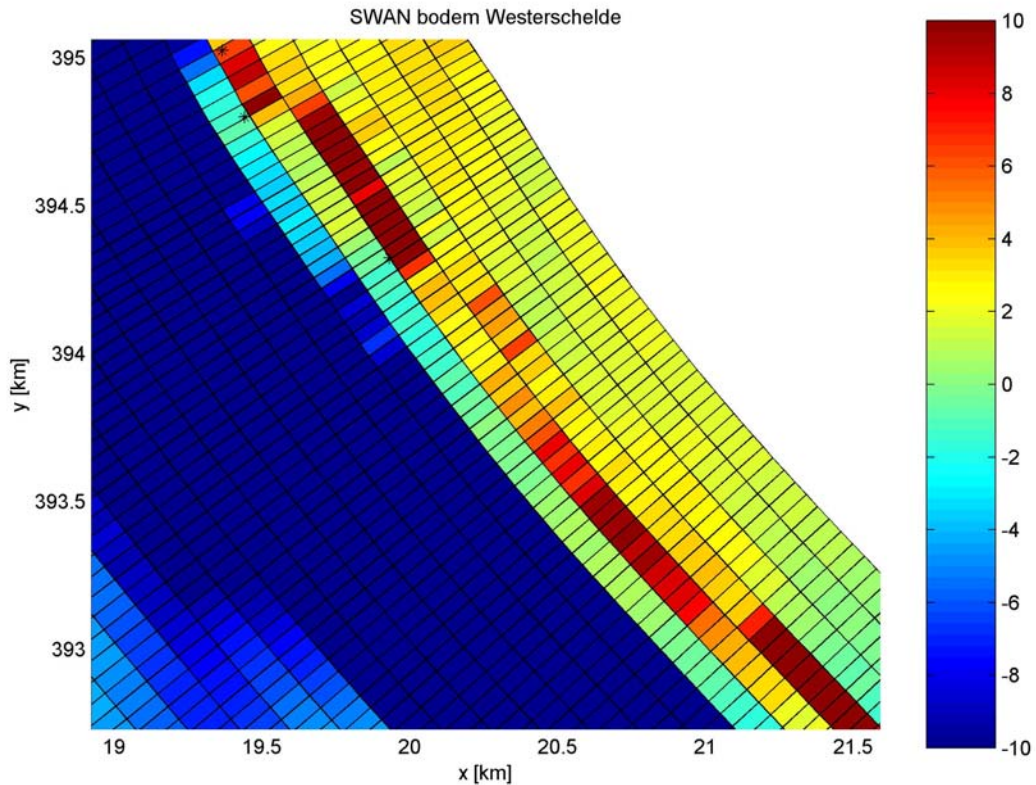
Teneinde de oorzaak van de onverwachte droogval te vinden is de bodem in meer detail bestudeerd en dan met name de bodem die in SWAN is ingelezen. In Figuur 3.1 is de bodem op het kromlijnige rooster geplot voor een deel van de zuidwest kust van Walcheren, tussen Westkapelle en Zoutelande. De figuur laat zien dat de resolutie loodrecht op de kust ongeveer 125 m is.

Door de grote roosterafstand is de kuststrook vanaf de geul tot voorbij de duinen (ruim 500 m) over 5 roosterzellen verdeeld, hetgeen zeer grof is voor een gebied waar de bathymetrie sterk varieert. Op sommige delen gaat de bodemhoogte van ruim 10 m in de ene cel naar 0 m in de volgende cel. De uitvoerpunten liggen veelal tegen een rode cel aan of zelfs daar in, waardoor de hoogte veelal 5 m of hoger wordt. Dit blijkt niet alleen het geval bij de uiteindelijke bodem die we voor de berekeningen gebruiken, maar ook bij de jaarbodems (gebruikt in Fase 2). Binnen de applicatie MARIA worden de bodems (dikwijls met fijne 20 m resolutie) geconverteerd naar het SWAN rooster, dat grof is in de monding in het ondiepe kustdeel. Droogval wordt dus veroorzaakt door de grove resolutie van het rooster. Ook waar geen droogval plaatsvindt zou een dergelijke resolutie bij sterke bodemvariaties leiden tot volstrekt onbetrouwbare resultaten. Hierop wordt teruggekomen in Hoofdstuk 4.

3.2.4 Resultaten op uitvoerlocaties in estuaria

In Fase 3 is geconstateerd dat naast een systematische overschatting van de golfhoogte en onderschatting van de golfperiodematen in de uitvoerlocaties in de estuaria van de

Oosterschelde en Westerschelde t.o.v. de waarden uit de oorspronkelijk ontwerpberoeeningen sprake is van een grote spreiding. Een grote spreiding is met name waargenomen voor de milde condities. Een analyse van deze verschillen wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 4.



Figuur 3.1 SWAN bodem op kromlijng rooster voor de zuidwest kust van Walcheren tussen Westkapelle en Zoutelande.

3.3 Resultaten voor de verbindende waterkeringen

Voor de verbindende waterkeringen Brouwersdam, Oosterscheldekering en Veerseгатdam zijn voor alle condities de integrale golfparameters, 1D spectra en 2D spectra opgeslagen in tab en tb2 files respectievelijk sp1 files respectievelijk sp2 files. De data worden op CD-ROM opgeleverd. De aangehouden structuur is als volgt en komt overeen met de structuur zoals aangehouden voor de berekeningen voor de Hollandse kust:

```
.\Table\[casenaam]\[casenaam]_rand2001_HK_xyz.tab (en tb2)  
.\Spec1d\[casenaam]\[casenaam]_rand2001_HK_xyz.sp1  
.\Spec2d\[casenaam]\[casenaam]_rand2001_HK_xyz.sp2
```

De uitvoerdata voor de drie verbindende waterkeringen zijn dus tezamen genomen in één file. Daarnaast zijn de uitvoerdata in de uitvoerlocaties ter hoogte van de schuiven van de Oosterscheldekering apart opgenomen in de files:

```
.\Table\[casenaam]\[casenaam]_osk_xyz.tab (en tb2)  
.\Spec1d\[casenaam]\[casenaam]_osk_xyz.sp1  
.\Spec2d\[casenaam]\[casenaam]_osk_xyz.sp2
```

In Figuur F-6 zijn alle locaties aangegeven waar uitvoer is gegenereerd voor de verbindende waterkeringen en ter hoogte van de schuiven van de Oosterscheldekering.

3.4 Resultaten voor duinenkust

Voor de kusten van Walcheren, Schouwen en Zeeuws-Vlaanderen zijn voor alle condities de integrale golfparameters, 1D spectra en 2D spectra opgeslagen in tab en tb2 files respectievelijk sp1 files respectievelijk sp2 files. Ook deze data worden op CD-ROM opgeleverd. De aangehouden structuur is als volgt:

```
.\\Table\[casenaam]\[casenaam]_[dijkring]_[loc]_xyz.tab (en tb2)  
.\\Spec1d\[casenaam]\[casenaam]_[dijkring]_[loc]_xyz.sp1  
.\\Spec2d\[casenaam]\[casenaam]_[dijkring]_[loc]_xyz.sp2
```

waarbij [dijkring] staat voor ZVLN (Zeeuws_Vlaanderen), WLCH (Walcheren) of SCHW (Schouwen). Daarnaast geeft [loc] aan of het diepe locaties (diep) zijn of dat de locaties ter hoogte van de strandpalen liggen (rsp).

In Figuur F-7 zijn alle locaties aangegeven waar uitvoer is gegenereerd. De droogval die plaatsvindt in de uitvoerlocaties voor de harde keringen aan de zuidwest kust van Walcheren, zien we ook terug in de locaties ter plekke van de strandpalen. Met name voor de kust van Walcheren vallen veel punten (ongeveer 50%) bij een maximale waterstand van 6 m droog. Voor Schouwen en Zeeuws-Vlaanderen ligt dit percentage op 30% respectievelijk 10%. Vanwege de droogval en het grove rooster achten wij de resultaten voor de strandpaal locaties niet betrouwbaar. Deze resultaten worden wel opgeleverd, maar wij bevelen aan deze niet te gebruiken.

4 Oorzaken verschillen resultaten in Oosterschelde en Westerschelde

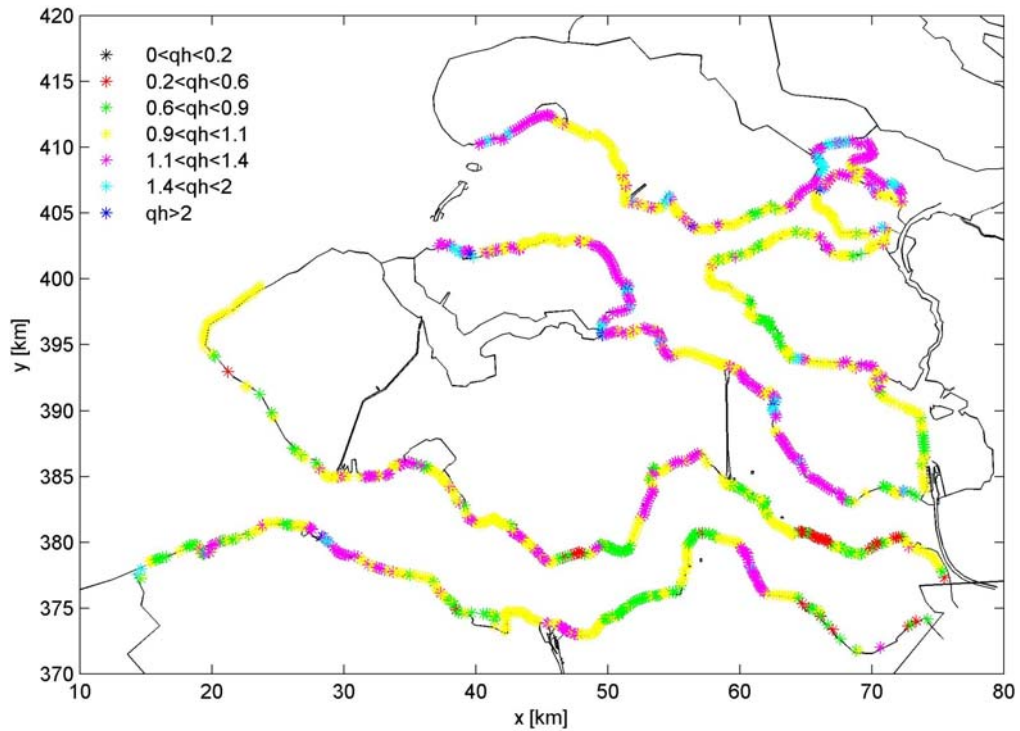
4.1 Inleiding

In Fase 3 van de huidige studie zijn voor 24 condities berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn de voorlopers van de in deze fase (Fase 3A) uitgevoerde berekeningen. Zoals vermeld in Sectie 1.3 van het huidige faserapport waren in Fase 3 de fysische instellingen gelijk aan die voor de ontwerpberekeningen. Dit houdt in dat t.o.v. die berekeningen de berekeningen in Fase 3 alleen verschillen in aansturing op het gebied van:

- Bodem
- Rooster
- Offshore golfrandvoorwaarden
- Transmissie door de Oosterscheldekering

Voor de case K34D270L040 is in Figuur 4.1 de ruimtelijke verdeling van het quotiënt van de golfhoogten in 2006 (uit Fase 3) en 2001 gegeven, $qh = H_{m0,2006} / H_{m0,2001}$. In de Westerschelde is het aantal locaties waar overschatting plaats heeft vergelijkbaar met die waar onderschatting plaats heeft. Voor de Oosterschelde, waarbij de kering voor deze case is gesloten, worden duidelijk hogere golfhoogten verkregen t.o.v. 2001. Met name bij de kering is het relatieve verschil groot. Het gaat hier vanwege de gesloten kering echter om kleine golfhoogten.

Voor alle 24 condities zijn op alle uitvoerlocaties in de Westerschelde en Oosterschelde o.a. de integrale golfparameters H_{m0} en $T_{m-1,0}$ bepaald en vergelijkbaar gemaakt met de integrale parameters in de oude berekeningen. In Figuur F-8 zijn de scatterplots gegeven waarin de resultaten van de oude ontwerpberekeningen worden vergeleken met de rekenresultaten uit Fase 3. Opvallend is de grote spreiding. Voor de Westerschelde is een onderschatting ten opzichte van 2001 waarneembaar voor alle periodematen en dan met name bij hogere waarden. Dit wordt onderbouwd in Tabel 4.1 waar voor de Westerschelde en Oosterschelde (open en gesloten) de absolute bias, standaardafwijking en rms fout zijn gegeven voor de verschillende integrale parameters, alsmede het gemiddelde van de quotiënten tussen de parameters voor 2006 en 2001. Deze laatste parameter geeft informatie over de relatieve afwijkingen.



Figuur 4.1 Ruimtelijke verdeling van het quotiënt (qh) van de golfhoogten berekend in 2006 en 2001 voor de case K34D270L040.

	Westerschelde		Oosterschelde (open kering)		Oosterschelde (gesloten kering)	
	H_{m0}	T_{m-10}	H_{m0}	T_{m-10}	H_{m0}	T_{m-10}
bias	-0.003	-0.410	0.061	-0.197	0.107	-0.147
stdev	0.23	0.611	0.193	0.417	0.189	0.451
rmse	0.23	0.735	0.202	0.461	0.217	0.474
mean(2006/2001)	1.051	0.913	1.155	0.946	1.193	0.979

Tabel 4.1 Betrouwbaarheidsparameters in Westerschelde en Oosterschelde (open en gesloten kering)

De kleine absolute bias voor de golfhoogte doet vermoeden dat slechts een zeer beperkte correctie noodzakelijk is. Het beschouwen van de relatieve fout (gemiddeld 5%, 15% en 19% in de Westerschelde respectievelijk Oosterschelde met open en gesloten kering) laat zien dat dit vermoeden onjuist is. Omdat de grootste afwijkingen voor de kleine golfhoogten optreden, is de gemiddelde relatieve fout groot terwijl deze absoluut gezien beperkt blijft.

Een afwijking voor met name kleine golfhoogten doet vermoeden dat er verschillen in de bodem, zoals gebruikt in 2001 en 2006, zitten. Dit komt dan met name in ondiepe delen tot uiting. Indien de diepte op een bepaalde locatie door bijvoorbeeld een verschuiving van de geul niet 0 m+N.A.P., maar 0.5 m +N.A.P. diep is, zal met een additionele waterstand van 2m de maximale golfhoogte niet 1.0 m (0.5 maal de totale waterdiepte) maar 1.25 m zijn.

Dit is een relatief verschil van 25%. Verschillen in bodemdiepte van 0.5 m zijn niet onrealistisch, zoals later in dit hoofdstuk duidelijk wordt.

Uit bovenstaande blijkt dat condities met lage waterstanden en/of condities die leiden tot lokaal kleine golfhoogten, sterk bijdragen aan de gemiddelde relatieve afwijking. Opgemerkt dient te worden dat deze condities echter niet bepalend zijn voor de maatgevende situaties.

De verschillen in aansturing hebben betrekking op verschil in uitgangspunten. Voor ontwerp wordt uitgegaan van een worst-case scenario met een window van ongeveer 75 jaar, terwijl voor toetsing verwachtingswaarden over een periode van 5 jaar een rol spelen. Dit betekent dat over het algemeen de toetsbodem minder diep zou moeten zijn dan de ontwerpbodem. Het feit dat in de recente berekeningen golfhoogten op uitvoerlocaties worden verkregen die gemiddeld significant hoger zijn, lijkt hiermee in tegenspraak. In Sectie 4.2 worden de roosterdichtheid en de bodem zoals gebruikt in de eerdere studie (Alkyon, 1997, 1998) en de huidige studie vergeleken. Tevens is het verschil in gebruikte randvoorwaarden onderzocht (Sectie 4.3).

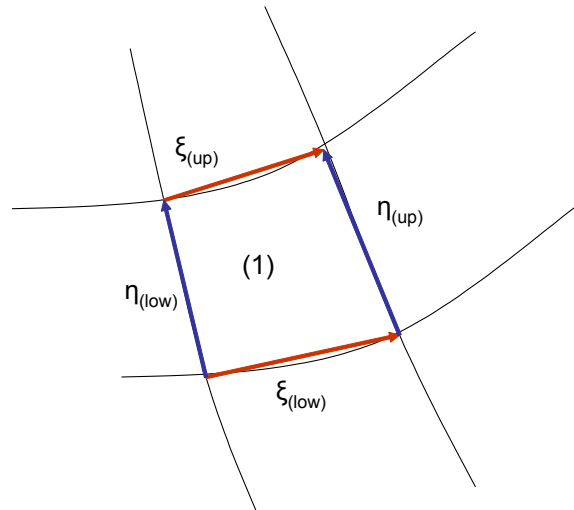
4.2 Rooster en bodeminvloeden

4.2.1 Rooster

In de berekeningen door Alkyon (1997, 1998) zijn rechthoekige roosters gebruikt, waarbij de resolutie varieerde van 500 m, via 100 m naar 20 m. De detailroosters zijn in de estuaria gebruikt voor de dijken. Dat wil zeggen dat alle dijkvakken geheel worden omvat door een verzameling detailroosters met een resolutie van 20 m bij 20 m. Als kenmerkende resolutie voor het rekenrooster nabij de harde keringen nemen we dus 20 m als uitgangspunt.

Voor de nieuwe berekeningen is een kromlijinig rooster gebruikt waarbij de roosterlijnen de geometrie van de estuaria volgen (Figuur 2.1). De Cartesische coördinaten x en y zijn daarbij vervangen door de kromlijnige roostercoördinaten ξ en η . In Figuur F-9 is een geografische weergave gegeven van de roosterafstand van het kromlijinig rooster in ξ - en η -richting. Voor roostercel (1) in Figuur 4.2 is de roosterafstand in laterale (t.o.v. dijken) ξ -richting gelijk genomen aan het gemiddelde van de twee aan boven- en onderzijde van de cel. Idem voor de richting loodrecht op de dijken η .

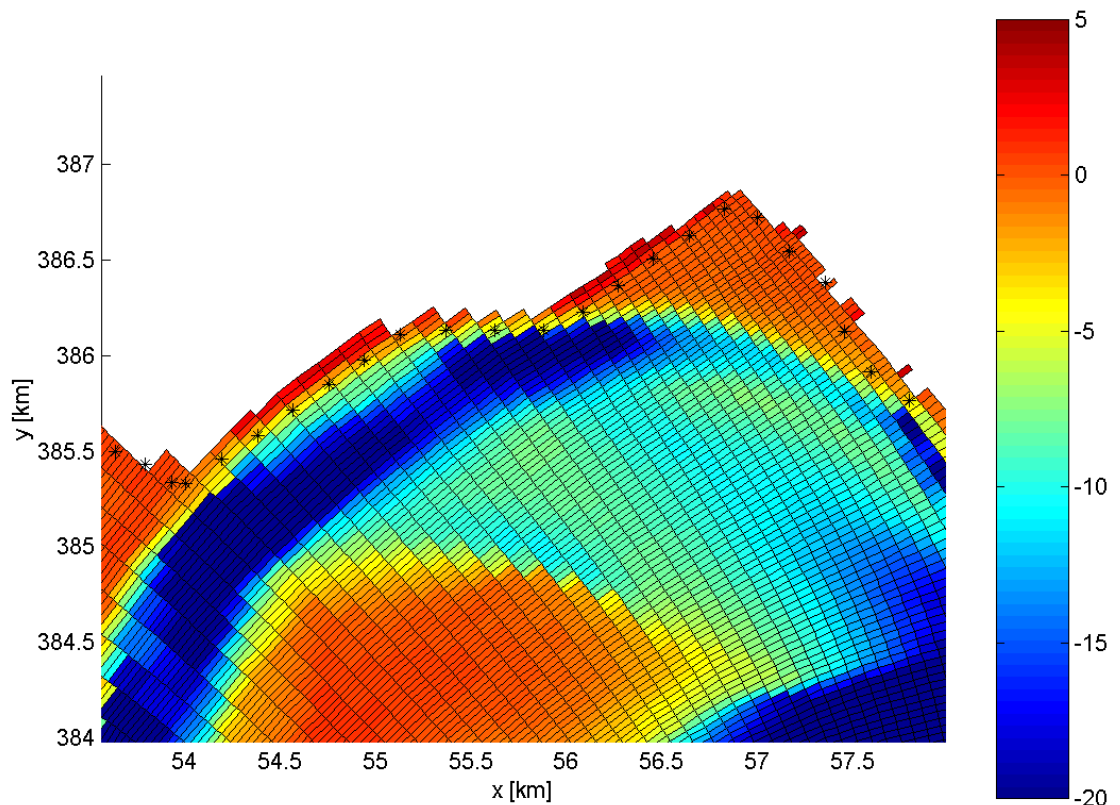
Op de Noordzee en in een groot deel van de mondingen van de beide estuaria is de resolutie grof, hetgeen geoorloofd is door de beperkte variatie in bodemgeometrie en resulterende golfparameters. In de estuaria ligt het anders. Met name in de Westerschelde is de resolutie evenwijdig aan de dijken veelal 100 m of meer. In een aantal geulen loopt deze zelfs op tot 200 m.



Figuur 4.2: Schematische weergave kromlijinig rooster

De grootste variaties in bodemhoogte zitten echter in de richting loodrecht op de dijken en loodrecht op de aanwezige geulen. In de onderste van de twee Figuren F-9 is te zien dat de resolutie daar varieert van 30 m tot 60 m. Over ondiepe platen loopt dit zelfs op tot 100 m. In onderstaande Figuur 4.3 is een voorbeeld van de op het rooster geïnterpoleerde bathymetrie nabij Hansweerth gegeven. Binnen een aantal roostercellen loopt de bodemhoogte op van N.A.P. – 20 m op tot 5 m + N.A.P. Een dergelijke sterke variatie van de bodem over betrekkelijk weinig roostercellen leidt tot onnauwkeurige voorspellingen door SWAN van het 2D energie spectrum. Met `*` zijn de locaties van de uitvoerpunten weergegeven. In dit voorbeeld liggen een groot aantal roosterpunten in het gebied met sterke bodemgradiënten, dat ook nog eens bedekt wordt door weinig roostercellen.

Ten opzichte van het Cartesisch rooster gebruikt door Alkyon (1997, 1998) is het rooster in de kritieke richting loodrecht op de kering gemiddeld een factor 2-3 vergrofd. Dit leidt in sommige gebieden (zie Figuur 4.3) tot onnauwkeurige voorspellingen van de golfparameters. Wanneer de steile geulwanden door een te beperkt aantal roosterpunten wordt beschreven zal een effect als refractie niet goed berekend worden. De golven draaien niet snel genoeg in de richting loodrecht op de kering en volgen zodoende een flauwere helling. Hierdoor wordt minder golfenergie gedissipeerd. Anderzijds treden interpolatiefouten op, waardoor de feitelijke bodem niet nauwkeurig wordt weergegeven op het ‘grove’ kromlijnige rooster. In Sectie 4.2.2 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 4.3 Diepte t.o.v. N.A.P. op het kromlijng rooster in deel van de Westerschelde nabij Hansweerth (* geeft locaties uitvoerpunten weer).

4.2.2 Bodem

De bodem voor de recente berekeningen is samengesteld op basis van toetsingsuitgangspunten en maakt gebruik van recent gemeten bodemfiles. Dit maakt dat de bodem voor de huidige en eerdere berekeningen verschillen. Voor de huidige studie is een bodem samengesteld op het kromlijng rooster. Deze bodem maakt gebruik van door RIKZ aangeleverde jaarbodems op delen van de Oosterschelde, Westerschelde, mondingsgebieden en de Noordzee. Vergelijking van de oude bodem op het oude Cartesische rooster en de nieuwe bodem op het nieuwe kromlijng rooster is niet zinvol, omdat daarmee het effect van rooster en bodem niet separaat worden beschouwd.

Om vergelijking in bodems mogelijk te maken zijn beide op hetzelfde 20 m bij 20 m rooster beschouwd. Op basis van de jaarbodems, die zijn aangeleverd op een Cartesisch rooster van 20 m bij 20 m, is de nieuwe bodem geconstrueerd voor de Oosterschelde en Westerschelde op dit fijne rooster. Deze bodem heeft dezelfde bodemdiepte als de nieuwe bodem die gebruikt is in de nieuwe berekeningen, maar is niet op het kromlijng maar op het rechthoekige, fijne 20 m bij 20 m geconstrueerd. Voor de Oosterschelde en de Westerschelde is het verschil in diepte van de nieuwe en oude bodem op het fijne rooster weergegeven in de onderste van de Figuur F-10 respectievelijk F-11. Bij een positieve waarde in deze figuren ligt de nieuwe bodem hoger door aanzanding; bij een negatieve waarde lager door erosie. In de Oosterschelde is de globale bodemverandering marginaal. In de Westerschelde

duiden de afwisselingen tussen erosie en aanzanding op verplaatsing van de geulensystemen. In de buurt van de dijken is de bodemverandering van beperktere grootte.

In meer detail is de diepte in de uitvoerpunten onderzocht. We beschikken nu over de oude bodem op het fijne rooster, de nieuwe bodem op het fijne rooster en de nieuwe bodem op het grovere, kromlijnige rooster. Allereerst beschouwen we de verschillen in diepte in alle uitvoerpunten. Daarbij beschouwen we het verschil in bodemhoogten tussen de oude en nieuwe bodem op het fijne rooster (verschillen in bodem) en tussen de nieuwe bodem op het fijne rooster en het kromlijnige rooster (geeft inzicht in interpolatiefouten). De som van beiden geeft het totale verschil tussen de nieuwe bodem op het kromlijnige rooster en de oude bodem op het fijne rooster. Om de effecten van bodem en rooster inzichtelijk te maken hebben we de verschillen geplot als functie van de indices van de uitvoerpunten in de beide estuaria. In Figuur F-12 is de ligging van de uitvoerpunten met hun indices geplot tezamen met de bathymetrie van de estuaria.

In Figuur F-13 zijn de genoemde bodemverschillen op de uitvoerlocaties in de Westerschelde weergegeven als functie van de indices. Daarbij zijn de noordkant en zuidkant apart beschouwd. Tussen sommige locaties lijkt een zeer geleidelijk verloop van de verschillen te zitten. Dit wordt echter veroorzaakt door het ontbreken van data uit één van de drie verzamelingen. We beschouwen vier deelgebieden met de volgende indices in meer detail:

- 220 – 300: uitvoerpunten langs geul, waarbij sterke dieptevariëaties optreden
- 350 – 410: uitvoerpunten in ondiep deel
- 670 – 700: uitvoerpunten in diep gedeelte langs geul
- 800 – 900: uitvoerpunten in ondiep water met enkele diepe delen

In Figuur F-14 tot en met F-17 zijn de verschillen in diepte voor deze deelgebieden weergegeven. Als referentie is ook de diepte op het fijne rooster van de oude bathymetrie weergegeven. In Tabel 4.2 is het gemiddelde en de standaardafwijking van deze verschillen over alle uitvoerpunten vermeld. De figuren en Tabel 4.2 laten het volgende zien:

- Over het algemeen zijn de temporele bodemvariëaties in de uitvoerpunten minder dan 1 m. Alleen bij sterke ruimtelijke variëaties, zoals nabij een geul, treden als gevolg van verplaatsing, aanzanding of erosie van een geul grotere veranderingen op. Deze grote variëaties kunnen oplopen tot 8 m, maar zijn zeer lokaal.
- De interpolatiefouten zijn ook groot daar waar de ruimtelijke dieptevariëaties groot zijn. Ten opzichte van de temporele bodemverschillen zijn de interpolatiefouten significant groter. Dit wordt onderbouwd in Tabel 4.2.
- Gemiddeld over de uitvoerpunten is de bodem t.o.v. 2001 iets gestegen;
- Door interpolatiefouten lijkt de bodem hoger dan deze in werkelijkheid (fijn rooster) is.

Voor de Oosterschelde zijn deze verschillen getoond in de Figuren F-18 (langs gehele noord- en zuidkant) en in de Figuren F-19 en F-20, waar in detail de diepte in de uitvoerlocaties is beschouwd met indices:

- 200 – 270: uitvoerpunten langs geul, waarbij sterke dieptevariëatie optreden
- 850 – 950: idem

Zoals in Figuur F-18 is te zien is het aantal uitvoerpunten waarvoor een vergelijking van de dieptewaarden is te maken aanzienlijk kleiner. Voor de Oosterschelde zien we het volgende:

- In tegenstelling tot de Westerschelde liggen de uitvoerpunten in de Oosterschelde gemiddeld iets dieper.
- De variaties in de temporele verschillen zijn echter groter, getuige de grotere waarde voor de standaardafwijking. Dit is in absolute zin ook het geval. Er treden bodemvariaties (in de tijd) op van meer dan 2m alwaar de bodemhoogte oorspronkelijk slechts N.A.P. – 3 m was.
- De interpolatiefouten in de Oosterschelde zijn niet groter dan de temporele verschillen in de bodem.

	Westerschelde		Oosterschelde	
	dep ₂₀₀₆ - dep ₂₀₀₁	dep _{curve} - dep _{Cart}	dep ₂₀₀₆ - dep ₂₀₀₁	dep _{curve} - dep _{Cart}
mean	0.078	0.236	-0.081	0.016
stdev	0.279	0.257	1.58	1.25

Tabel 4.2: Gemiddelde en standaardafwijking van de verschillen in dieptes over alle uitvoerlocaties in de Westerschelde en Oosterschelde

De temporele bodemvariaties in de uitvoerpunten in de Oosterschelde en Westerschelde zijn gemiddeld gezien van vergelijkbare orde. Dit lokale verschil is in tegenspraak met het globale beeld. Figuren F-1 en F-2 laten immers zien dat grote temporele verschillen in de Westerschelde significant vaker voorkomen dan in de Oosterschelde. De interpolatiefouten in de uitvoerpunten zijn in de Westerschelde significant groter dan de temporele diepteverschillen, waar ze in de Oosterschelde van vergelijkbare orde grootte zijn.

Aanvullend op een temporele verhoging van de bodem, leidt interpolatie op het kromlijnjig rooster gemiddeld tot een verhoging van de bodem in de uitvoerpunten. Hieruit mag echter niet de conclusie worden getrokken dat de golfhoogte in de nieuwe berekeningen automatisch lager zouden zijn. De golfparameters worden immers bepaald in een gebied rondom de uitvoerlocaties. Daar waar interpolatiefouten een bodemverhogend effect hebben op een geul, geldt het tegenovergestelde voor een ondiepe plaat. Over een diepere plaat zal minder golfenergie worden gedissipeerd.

4.3 Randvoorwaarden

Naast het gecombineerde effect van een andere bodem en rooster zou ook het opleggen van andere randvoorwaarden verschillen tussen huidige en eerdere rekenresultaten in uitvoerpunten kunnen veroorzaken. Om een eerlijke vergelijking te kunnen maken, zouden we ons moeten beperken tot uitvoerpunten in deelgebieden waar rooster- en bodemverschillen te verwaarlozen zijn. De verschillen tussen de in 2001 en 2006 gebruikte bodem en rooster zijn echter groot en verspreid over het gehele interessegebied van de monding en de estuaria (zie Sectie 4.2). Dit heeft tot gevolg dat er geen selectie van geschikte uitvoerpunten gevonden kan worden. Om toch iets over de invloed van randvoorwaarden te zeggen hebben we voor twee van de 24 beschouwde condities een nieuwe berekening met andere randvoorwaarden uitgevoerd. Voor de nieuwe berekeningen

zijn de randvoorwaarden gebruikt zoals deze voor de berekeningen van Fase 3 zijn afgeleid. Zowel de uitgangswaarden (op basis van diepwaterstatistiek) als de methodiek (toevoegen extra berekening met schuin oplopende bodem) zijn immers in de loop van het project aangepast. Dit verschaft ons twee sets randvoorwaarden. Het vergelijken van resultaten geeft dus niet direct het verschil tussen de resultaten in de nieuwe berekeningen en de oude ontwerpberekeningen, maar geeft wel de gevoeligheid voor het toepassen van andere randvoorwaarden op de golfcondities in de uitvoerpunten aan.

4.3.1 Beschouwde condities

De gevoeligheid voor de randvoorwaarden is nagegaan door voor de windrichtingen 270°N en 315°N de condities met de hoogste en laagste golfhoogte nogmaals door te rekenen met andere randvoorwaarden. Dit zijn de condities K34D315L060 en K34D270L060 (zie Tabel 3.1).

In Tabel 4.3 zijn de uitgangswaarden op locatie EUR en SCW voor de twee condities gegeven. Set 0 is de oorspronkelijke in Fase 3 gebruikte set, conform de aanpak voor de Hollandse kust (Haskoning/WL, 2005) maar met andere offshore condities en zonder het toepassen van een extra berekening over een hellende bodem. Set 1 betreft de aangepaste set, die is gebruikt voor de bepaling van de offshore golfrandvoorwaarden voor de uiteindelijke 2D berekeningen, zoals gerapporteerd in voorliggend rapport. Deze set randvoorwaarden is geheel conform de aanpak voor de Hollandse kust. Voor locatie EUR zijn de uitgangswaarden voor Set 1 duidelijk zwaarder dan voor Set 0. Voor de locatie SCW zijn de waarden in Set 1 marginaal kleiner. In Tabel 4.3 zijn ter vergelijking ook de waarden voor de piekperiode en de significante golfhoogte (i.e. waarde in EUR) opgenomen die tezamen het Jonswap spectrum definiëren dat als parametrisch randspectrum in de vroegere ontwerpberekeningen ten behoeve van de KustDB2006 database is opgelegd.

case	Randvw Set 0			Randvw Set 1			KustDB2006	
	$T_{m-1,0}$ [s]	H_{m0} [m]	T_{pm} [s]	$T_{m-1,0}$ [s]	H_{m0} [m]	T_{pm} [s]	H_{m0} [m]	T_p [s]
K34D270L060eur	8.93	4.77	9.83	9.27	6.79	10.51	8.3	13.1
K34D315L060eur	10.42	6.35	11.45	11.02	7.90	12.37	8.3	13.1
K34D270L060scw	9.16	4.86	10.54	9.04	4.76	10.39	-	-
K34D315L060scw	10.49	5.75	12.17	10.35	5.63	11.99	-	-

Tabel 4.3: Twee sets van uitgangswaarden in EUR en SCW ten behoeve van randvoorwaardebepaling voor verschillende condities. Ter vergelijking de waarden voor oude ontwerpberekeningen (in KustDB2006)

De berekeningen met beide sets randvoorwaarden zijn aangestuurd zoals in Sectie 2 is beschreven, d.w.z. de fysische instellingen zijn zoals toegepast in de berekeningen voor de Hollandse kust. Door de resultaten van Set 1 en Set 0 met elkaar te vergelijken is te bepalen wat het effect van zwaardere randvoorwaarden is op het uitvoerpunten in de monding en de estuaria van de Oosterschelde en Westerschelde.

4.3.2 Resultaten

In Figuur F-21 tot en met F-24 zijn de ruimtelijke verdelingen van de absolute verschillen van de significante golfhoogte H_{m0} en gemiddelde golfperiode T_{m01} weergegeven voor de

condities K34D270L060 en K34D315L060. De relatieve verschillen in beide golfparameters in de uitvoerlocaties voor de harde keringen zijn voor beide condities gegeven in Figuren F-25 en F-26.

Voor een windrichting van 315°N zijn de significante golfhoogte en gemiddelde periode T_{m01} rondom EUR duidelijk groter met de randvoorwaarden Set 1. Het verschil is van de orde 0.5 m (0.5 s voor de periode). Van dit verschil blijft in de monding slechts enkele centimeters (enkele honderdsten van een seconde voor de periode) over. In de estuaria is het verschil kleiner dan 1 cm (0.01 s voor de periode).

Daar waar voor een windrichting van 315°N de golfcondities in de monding en de estuaria voornamelijk worden bepaald door de opgelegde randvoorwaarden in EUR, heeft voor een windrichting van 270°N SCW een significante invloed. In Tabel 4.3 is te zien dat de randvoorwaarden Sets 1 en 0 vergelijkbare golfparameters geeft voor conditie K34D270L060 in SCW. Toch is opnieuw een sterke reductie van het verschil waar te nemen van offshore naar de kust toe. In de estuaria is het verschil gereduceerd tot orde 2 cm voor de golfhoogte en orde 0.03 s (met uitschieters naar 0.1 s voor de duinenkust in de monding van de Westerschelde) voor de periode. Deze verschillen zijn over het algemeen negatief als gevolg van de lagere waarden in Set 1 t.o.v. Set 0 bij SCW.

Uit de Figuren F-25 en F-26 blijkt dat de verschillen zeer klein zijn. Breken bepaalt de golfhoogte. De relatieve verschillen in de estuaria zijn kleiner dan 1%, met uitzondering van enkele locaties gelegen in schaduwgebieden voor de conditie K34D270L060. De golfhoogte blijkt daar echter niet groter te zijn dan 1 m. In de monding zijn de relatieve verschillen in significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode wel groter dan 1%. Op de kust van Zeeuws-Vlaanderen en de noordwest kant van Walcheren wordt de significante golfhoogte en gemiddelde periode hoger door de zwaardere randvoorwaarde voor windrichting 315°N. Door de aanwezigheid van het Oostgat aan de zuidwest kant van Walcheren wordt vermoedelijk door een combinatie van refractie en diepte-geïnduceerd breken meer laag-frequente golfenergie gedissipeerd in de berekeningen met de Set 1 randvoorwaarden. Dit zou de lagere golfhoogte en golfperiode kunnen verklaren.

Uit bovenstaande kan geconcludeerd worden dat zwaardere offshore golfrandvoorwaarden enigszins effect hebben op de golfcondities in de monding en nagenoeg geen effect hebben op de golfcondities in de estuaria van de Westerschelde en de Oosterschelde. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een groot deel van de golfenergie gedissipeerd wordt op de banken van de voordelta en in de monding van de estuaria (zie Figuur F-1).

4.4 Conclusies

Op basis van bovenstaande kunnen we de volgende conclusies trekken uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse:

- Ten opzichte van het rechthoekig rooster gebruikt door Alkyon (1997, 1998) is in de huidige studie het rooster in de kritieke richting loodrecht op de kering gemiddeld een factor 2-3 vergrofd. Dit leidt in gebieden met sterke bodemgradiënten tot onnauwkeurige voorspellingen van de golfparameters.

- Temporele bodemvariaties worden veroorzaakt door verplaatsing van geulen, aanzanding en erosie. Deze zijn vooral significant in de Westerschelde. Lokaal nabij de uitvoerpunten is de temporele variatie van de bodemhoogte in de Westerschelde vergelijkbaar met die in de Oosterschelde.
- In de Westerschelde zijn interpolatiefouten van de diepte in de uitvoerpunten significant groter dan de temporele verschillen in bodemhoogte. In de Oosterschelde zijn de temporele verschillen en interpolatiefouten van vergelijkbare grootte.
- Lokaal gezien ligt de recente bodem, gemiddeld over alle uitvoerpunten, iets hoger dan de bodem uit 2001. Interpolatiefouten hebben een bodemverhogend effect op een geul en een bodemverlagend effect op een ondiepe plaat.
- Gebruik van een grover kromlijng rooster in plaats van een fijn, rechthoekig rooster leidt enerzijds tot interpolatiefouten van de bodem en anderzijds tot onnauwkeurigheden in de SWAN berekeningen in gebieden met sterke ruimtelijke bodemvariaties. Het effect van het gebruik van het kromlijnige rooster op de golfparameters is voornamelijk in de Westerschelde groter dan het toepassen van de nieuwe bodem.
- Als gevolg van de aanwezigheid van het bankenstelsel voor de Zeeuwse kust heeft het toepassen van andere offshore golf randvoorwaarden nauwelijks effect op de golfparameters in de estuaria. Op de koppen van de eilanden leiden zwaardere randvoorwaarden tot enigszins grotere waarden voor de significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode.

De verandering in aansturing van de SWAN berekeningen met betrekking tot rooster en bodem zijn met name in de estuaria van de Oosterschelde en Westerschelde dermate groot gebleken dat het afleiden en toepassen van correctiewaarden voor toetsing niet zinvol geacht mag worden.

5 Samenvatting

Fase 3A van de studie ‘Correctiewaarden Zeeland’ is gerapporteerd in dit faserapport. De oorspronkelijke doelstelling om op basis van nieuwe rekenresultaten de oude ontwerpberoeeningen uit de database KustDB2006 via correcties geschikt te maken voor toetsing is niet haalbaar gebleken met de huidige aansturing van de berekeningen. De veranderingen in bodem en rooster, t.o.v. de bodem en het rooster die gebruikt zijn voor de ontwerpberoeeningen, zijn in de estuaria van de Oosterschelde en Westerschelde dermate groot gebleken dat vraagtekens bij de betrouwbaarheid van de rekenresultaten geplaatst kunnen worden. Het afleiden en toepassen van correctiewaarden voor toetsing mag daarom niet zinvol geacht worden. Het toepassen van andere offshore randvoorwaarden, conform de aanpak voor de Hollandse kust, heeft daarop geen effect gehad.

In plaats hiervan zijn in deze fase voor 24 representatieve condities nieuwe SWAN berekeningen uitgevoerd. Hiervoor is de in Fase 2 bepaalde bodem gebruikt. Daarnaast zijn randvoorwaarden afgeleid, waarbij een eventueel inspeleffect niet meer optreedt. De berekeningen zijn uitgevoerd op een kromlijinig rooster. De aanpassingen sluiten meer aan bij toetsing.

In tegenstelling tot de waarden in de estuaria worden de significante golfhoogte en enkele golfperiodematen voor de duinen (op diep-water locaties) en de verbindende waterkeringen (Brouwersdam, Oosterscheldekering en Veersegetdam) verkregen met de nieuwe berekeningen, voldoende betrouwbaar geacht om te gebruiken voor toetsingsdoeleinden. De variaties in golfcondities als gevolg van bodemvariaties zijn in de monding en op dieper water immers minder groot.

Literatuur

- Alkyon (1997): Golfberekeningen Westerschelde. Rapport Alkyon A174, Oktober 1997 (G.Ph. van Vledder en G.K.F.M. van Banning).
- Alkyon (1998): Golfberekeningen Oosterschelde. Rapport A246, Juli 1998 (G.Ph. van Vledder en G. Hartsuiker).
- Alkyon, 2003. Calibration of SWAN40.20 for field cases Petten, Sloterveer, and Westerschelde, Alkyon rapportnr. A1168.
- Alkyon (2005): Golftransmissie Oosterscheldekering. Rapport Alkyon A1348 (D.P. Hurdle, J. Adema).
- Haskoning (2003): Betrouwbaarheid in de Westerschelde. Rapport Royal Haskoning 9M5697/1246 (C. Gautier).
- Haskoning/WL (2005): SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust (Fase 1). Rapport Royal Haskoning / WL | Delft Hydraulics 9P8603.A0, November 2005 (M. van Ledden, J. Groeneweg, M. Westra, I. Wenneker, O.Scholl).
- Holthuijsen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., Haagsma, I.J.G., Kieftenburg, A.T.M.M., Kriezi, E.E., Zijlema, M., Van der Westhuysen, A.J., 2004. SWAN cycle III, version 40.41, User manual, Delft University of Technology, Delft.
- Komen, G.J., K. Hasselmann, S. Hasselmann, 1984. On the existence of a fully developed windsea spectrum. J. Phys. Oceanography, 14, 1271-1285.
- Rogers, W.E., P.A. Hwang and D.W. Wang, 2002. Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications. J. Phys. Oceanography, vol. 33, pp 366-389.
- RIKZ (2003): Evaluatie van ontwerpwaarden voor golfcondities in de Westerschelde. Rapport RIKZ/2003.044, December 2003 (J.J. Jacobse).

A Diepwaterstatistiek

Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfperiode Tm-1,0 [s]	Golfhoogte [m]	Golfperiode Tp [s]
30	13.545	5.494	1.972	6.17
30	17.878	7.81	3.84	8.692
30	22.215	9.442	5.658	10.513
30	26.363	10.773	7.071	12.069
30	30.331	11.931	8.304	13.457
30	34.314	13.019	9.481	14.785
210	14.378	6.124	2.451	6.877
210	18.692	6.93	3.402	7.763
210	23.21	7.701	4.588	8.637
210	27.727	8.51	5.684	9.581
210	32.143	9.317	6.723	10.545
210	36.553	10.129	7.751	11.532
240	14.897	6.155	2.609	6.887
240	18.996	7.012	3.548	7.836
240	23.408	7.714	4.558	8.659
240	27.921	8.446	5.513	9.535
240	32.427	9.179	6.428	10.427
240	36.923	9.906	7.323	11.325
270	15.103	6.323	2.700	7.082
270	19.097	7.091	3.671	7.793
270	23.408	7.725	4.671	8.575
270	27.921	8.39	5.61	9.401
270	32.522	9.061	6.51	10.241
270	37.108	9.72	7.373	11.072
300	13.858	6.601	2.988	7.418
300	18.59	7.682	4.155	8.464
300	23.21	8.503	5.12	9.38
300	27.824	9.321	6.043	10.319
300	32.333	10.108	6.922	11.243
300	36.738	10.865	7.768	12.144
330	13.441	6.461	2.604	7.275
330	17.98	7.741	3.88	8.589
330	22.514	8.959	5.429	9.958
330	27.046	10.073	6.736	11.257
330	31.477	11.094	7.914	12.477
330	35.902	12.065	9.039	13.657
360	13.336	7.000	2.949	7.847
360	17.878	8.447	4.625	9.41
360	22.215	9.666	5.987	10.815
360	26.656	10.812	7.233	12.176
360	30.904	11.839	8.353	13.421
360	35.157	12.817	9.432	14.625

Tabel A-1: Diepwaterstatistiek voor meetlocatie EUR (windsnelheden aangepast volgens Haskoning/WL, 2005), aangeleverd door RIKZ

Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfperiode Tm-1,0 [s]	Golfhoogte [m]	Golfperiode Tp [s]
30	13.545	4.578	1.126	5.261
30	17.878	7.751	3.256	8.959
30	22.215	9.308	4.43	10.808
30	26.363	10.473	5.31	12.255
30	30.331	11.443	6.057	13.486
30	34.314	12.329	6.755	14.626
210	14.378	4.472	1.180	4.937
210	18.692	5.281	1.646	5.83
210	23.21	6.182	2.425	7.001
210	27.727	6.961	3.212	8.108
210	32.143	7.657	3.841	9.077
210	36.553	8.309	4.412	9.979
240	14.897	5.013	1.504	5.555
240	18.996	5.767	1.99	6.39
240	23.408	6.616	2.784	7.581
240	27.921	7.367	3.516	8.561
240	32.427	8.045	4.129	9.452
240	36.923	8.674	4.684	10.284
270	15.103	5.782	1.929	6.412
270	19.097	6.541	2.664	7.371
270	23.408	7.381	3.399	8.353
270	27.921	8.141	4.026	9.27
270	32.522	8.838	4.595	10.129
270	37.108	9.479	5.121	10.93
300	13.858	6.280	2.252	6.965
300	18.59	7.24	3.149	8.091
300	23.21	8.053	3.836	9.067
300	27.824	8.803	4.45	9.984
300	32.333	9.489	5.01	10.836
300	36.738	10.124	5.533	11.633
330	13.441	6.551	2.352	7.286
330	17.98	7.657	3.312	8.675
330	22.514	8.748	4.23	10.025
330	27.046	9.693	5.001	11.216
330	31.477	10.53	5.686	12.284
330	35.902	11.305	6.329	13.285
360	13.336	7.060	2.676	8.006
360	17.878	8.223	3.747	9.395
360	22.215	9.309	4.602	10.709
360	26.656	10.275	5.364	11.908
360	30.904	11.111	6.034	12.964
360	35.157	11.888	6.666	13.957

Tabel A-2: Diepwaterstatistiek voor meetlocatie SCW (windsnelheden gelijk gekozen aan die in EUR),
 aangeleverd door RIKZ

B Correctiefuncties voor toetsing

B.1 Inleiding

De oorspronkelijke doelstelling om op basis van nieuwe rekenresultaten de resultaten van de oude ontwerpberekeningen via correcties geschikt te maken voor toetsing is niet haalbaar gebleken met de huidige aansturing van de berekeningen. De veranderingen in bodem en rooster, t.o.v. de bodem en het rooster die gebruikt zijn voor de oude ontwerpberekeningen, zijn dermate groot gebleken dat het afleiden en toepassen van correctiewaarden niet zinvol geacht mag worden.

In deze appendix is de methode, om correctiewaarden middels een functievoorschrift af te leiden, beschreven. Dit is overgenomen uit het Fase 3 conceptrapport. De coëfficiënten in de correctiefuncties voor de verschillende golfparameters zijn gebaseerd op de berekeningen die uitgevoerd zijn in Fase 3 en zijn niet opnieuw afgeleid naar aanleiding van de nieuwe berekeningen in Fase 3A. Dit viel buiten de scope van Fase 3A.

B.2 Bepaling correctiefuncties

Voor het bepalen van correctiefuncties per deelgebied worden alle condities beschouwd. Omdat zowel hoge als lage waterstanden, 1/4000 en 1/10000 jaar windsnelheden en verschillende windrichtingen zijn beschouwd, zullen betrouwbare correctiefuncties worden verkregen die met name het voor toetsing interessante gebied afdekken, d.w.z. 1/4000 jaar en 1/10000 jaar condities.

Evenals voor de correctiefuncties voor ontwerpwaarden (Fase 1) is het doel het vinden van correctiefuncties voor de golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pb} , T_{pbeq} en T_{pm} van de vorm

$$r_\gamma = c_\gamma \left(kd, s, F / \left(U_{10}^2 / g \right), r_d \right), \quad (\text{B.1})$$

aan de hand van vergelijking van metingen met berekeningen. Hierbij staat γ voor één van genoemde integrale golfparameters en is r_γ het quotiënt van de huidige (2006, Fase 3) en destijds (2001) berekende integrale parameter γ . De correctiefuncties gebruikt in Fase 1 leiden voor de huidige vergelijking tot constante correcties, d.w.z. onafhankelijk van de dimensieloze parameters voor diepte, steilheid en strijklengte. Voor de correctiefunctie in deze fase van de studie is voor een andere vorm gekozen. Om te komen tot een uitdrukking van de vorm (B.1) voor de verschillende golfparameters hebben we functies van de volgende vorm beschouwd:

$$c_\gamma \left(kd, s, \tilde{F}, H_{m0}/d \right) = c_0 e^{c_1(kd - p_{kd})} e^{c_2(s - p_s)} e^{c_3(\tilde{F} - p_F)} e^{c_4(H_{m0}/d - p_{rd})} \quad (\text{B.2})$$

Vanwege de grote spreiding in resultaten is ervoor gekozen de correctiefuncties te bepalen zodanig dat de rms fout wordt geminimaliseerd. De spreiding (standaarddeviatie) is zodoende niet in de minimalisatie procedure meegenomen. De coëfficiënten c_0 , c_1 , c_2 , c_3 en

c_4 en p_{kd} , p_s , p_F en p_{rd} worden zodanig gekozen dat de kleinste kwadraten fout tussen de correctiefunctie en het quotiënt tussen de 2006 en 2001 parameters zo klein mogelijk is. De parameters worden niet allemaal tegelijk bepaald. We veronderstellen allereerst onafhankelijkheid van de verschillende fysische parameters. Zodoende zijn allereerst paren van coëfficiënten (c_1 , p_{kd}), (c_2 , p_s), (c_3 , p_F) en (c_4 , p_{rd}) bepaald, zodanig dat de rms fouten over alle events minimaal zijn voor de volgende expressies:

$$\begin{aligned} & \frac{\gamma^{2006}}{\gamma^{2001}} \exp\left[c_1 \left(k^{2006} d \quad p_{kd}\right)\right] \\ & \frac{\gamma^{2006}}{\gamma^{2001}} \exp\left[c_2 \left(s^{2006} \quad p_s\right)\right] \\ & \frac{\gamma^{2006}}{\gamma^{2001}} \exp\left[c_3 \left(\tilde{F} \quad p_F\right)\right] \\ & \frac{\gamma^{2006}}{\gamma^{2001}} \exp\left[c_4 \left(H_{m0}^{2006} / d \quad p_{rd}\right)\right] \end{aligned} \tag{B.3}$$

Door deze aanpak is het individuele gedrag van de fysische parameters automatisch verdisconteerd. Voor de Westerschelde zijn de quotiënten met de bijbehorende kleinste kwadraten fits weergegeven in Figuren F-27 tot en met F-31 voor alle integrale golfparameters. Gegeven de bepaalde parameters c_1 , c_2 , c_3 en c_4 en p_{kd} , p_s , p_F en p_{rd} is c_0 bepaald door de rms fout van

$$\frac{\gamma^{2006}}{\gamma^{2001}} c_0 e^{c_1(k^{2006} d \quad p_{kd})} e^{c_2(s^{2006} \quad p_s)} e^{c_3(\tilde{F} \quad p_F)} e^{c_4(H_{m0}^{2006} / d \quad p_{rd})} \tag{B.4}$$

over alle events te minimaliseren. Dit is uitgevoerd voor de Westerschelde en de Oosterschelde. Voor de Oosterschelde is onderscheid gemaakt tussen de open en gesloten kering. De resulterende parameters staan vermeld in Tabellen B.1, B.2 en B.3.

Ter illustratie levert dit voor de significante golfhoogte in de Westerschelde de volgende correctiefunctie op:

$$c_{Hm0} = 0.98 e^{0.037(kd - 2.0)} e^{0.79(s - 0.057)} e^{0.089(\tilde{F} - 0.24)} e^{0.53(H_{m0}/d - 0.32)} \tag{B.5}$$

De coëfficiënt c_0 is kleiner dan 1 voor de golfhoogte in beide estuaria. Dit betekent echter niet dat de waarden uit de database verlaagd zullen worden. Zo zal een grote relatieve diepte en/of grote steilheid tot een vergroting van de golfhoogte leiden.

Het verschil in gevonden coëfficiënten voor de Oosterschelde (open en gesloten) en Westerschelde toont aan dat het onderscheid maken tussen de drie situaties terecht is.

	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	T_{pb}	T_{pbeq}	T_{pm}
c_0	0.98	1.35	1.24	1.35	1.31
c_1	0.037	0	-0.015	-0.025	-0.031
c_2	0.79	-0.44	-1.84	-2.02	-2.97
c_3	-0.089	0.044	0.054	0.028	0.052
c_4	-0.53	0.061	0.22	0.20	0.28
p_{kd}	2.0	100	-3.76	-2.70	-1.53
p_s	0.057	-0.17	0.022	0.011	0.032
p_F	0.24	2.51	1.83	4.48	2.42
p_{rd}	0.32	2.01	0.78	0.91	0.73

Tabel B.1 Coëfficiënten in correctiefunctie (B.2) voor significante golfhoogte en golfperiodematen voor de Westerschelde

	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	T_{pb}	T_{pbeq}	T_{pm}
c_0	0.71	1.24	1.22	1.29	1.30
c_1	0.043	0.009	-0.013	-0.015	-0.022
c_2	1.43	-0.29	-1.948	-3.18	-3.95
c_3	-0.024	0.060	0.10	0.096	0.11
c_4	-0.88	-0.19	0.14	0.15	0.24
p_{kd}	0.29	10.2	-3.17	-3.37	-1.83
p_s	0.018	-0.16	0.043	0.052	0.056
p_F	3.78	1.26	0.8	0.97	0.93
p_{rd}	0.39	-0.084	0.82	0.87	0.67

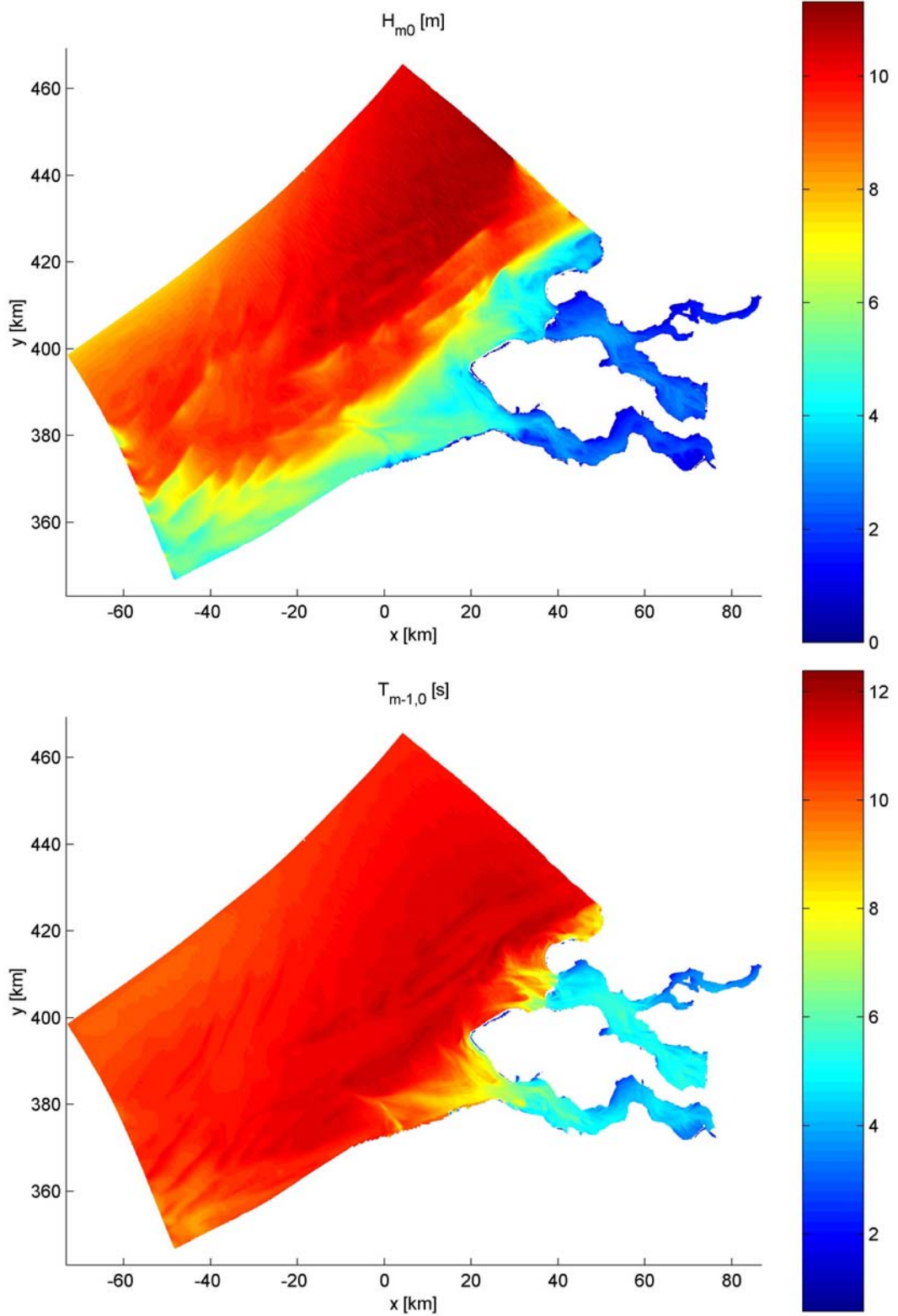
Tabel B.2 Coëfficiënten in correctiefunctie (B.2) voor significante golfhoogte en golfperiodematen voor de Oosterschelde waarbij de kering is geopend

	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	T_{pb}	T_{pbeq}	T_{pm}
c_0	0.62	1.10	1.11	1.15	1.16
c_1	0.049	0	-0.036	-0.029	-0.041
c_2	1.82	1.99	-0.95	-0.91	-1.88
c_3	-1.63	-0.20	0.37	0.32	0.52
c_4	-0.93	-0.005	0.50	0.41	0.57
p_{kd}	-0.33	100	1.15	0.69	0.97
p_s	0	0.097	0.023	0.018	0.043
p_F	0.12	-0.14	0.18	0.21	0.16
p_{rd}	0.40	-6.53	0.36	0.38	0.37

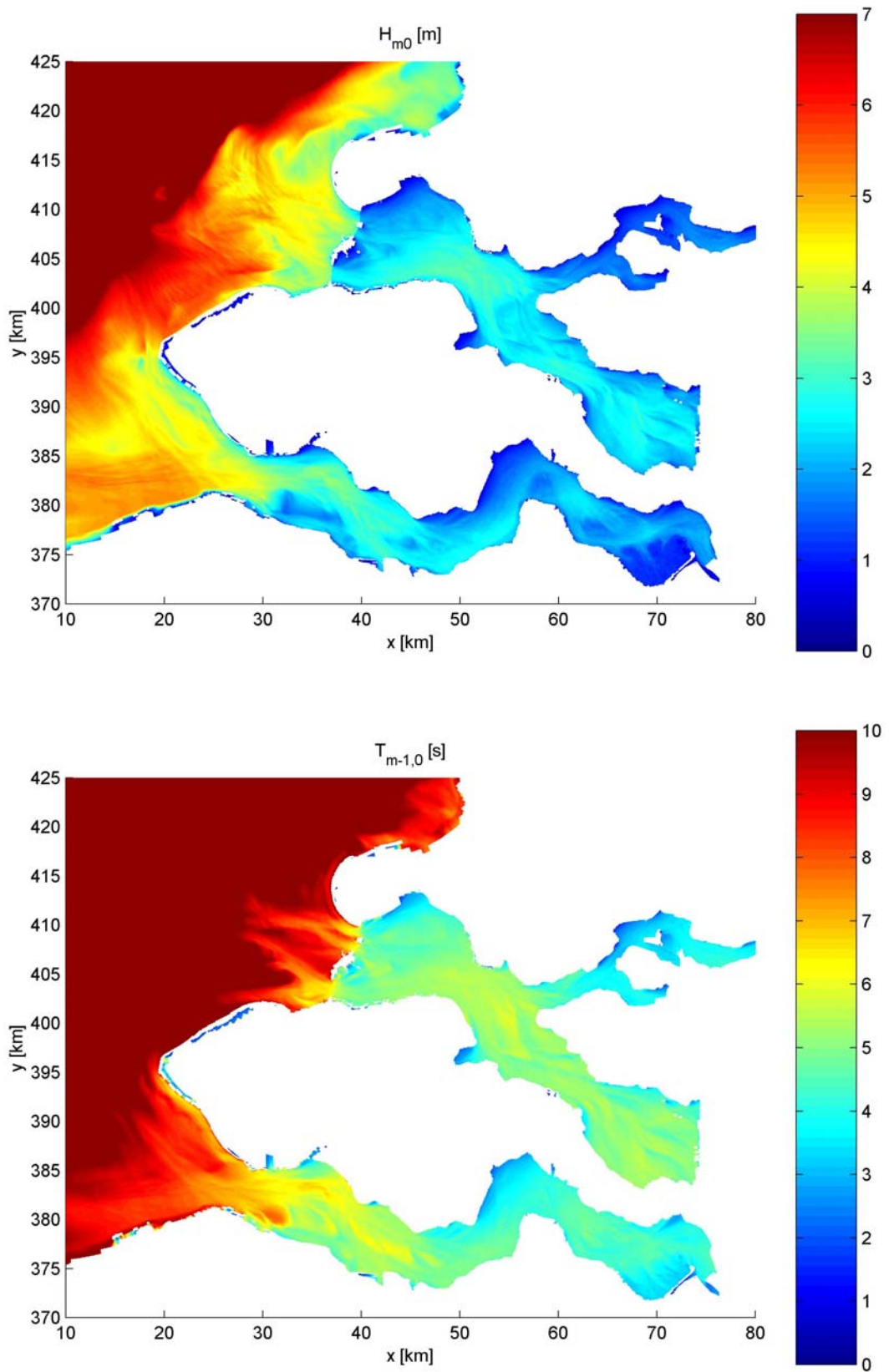
Tabel B.3 Coëfficiënten in correctiefunctie (B.2) voor significante golfhoogte en golfperiodematen voor de Oosterschelde waarbij de kering is gesloten

De oorspronkelijke Rand2001 database, welke is geïntegreerd in de database KustDB2006, geeft voor 288 condities de locaties van de uitvoerpunten en de daar berekende integrale golfparameters. Voor het bepalen van correctiewaarden middels toepassing van correctiefuncties hebben we naast de windsnelheid en golfparameters ook de lokale diepte en de strijklengte nodig. De lokale diepte is reeds bepaald in Fase 1 uit door RIKZ aangeleverde files `rikz2001_006_w2c_os.num` en `ws130504_w2c.num` voor de Oosterschelde respectievelijk Westerschelde locaties. De strijklengtes voor de verschillende windrichtingen op alle uitvoerlocaties zijn bepaald op dezelfde wijze als in Fase 1, d.w.z. er is geen rekening gehouden met refractie. In de Oosterschelde bevinden zich sprongen in de strijklengte door de aanwezigheid van de Oosterscheldekering. Indien deze is geopend liggen diverse locaties in het binnengebied van de Oosterschelde in het schaduwgebied van de eilanden waartussen de kering is gelegen.

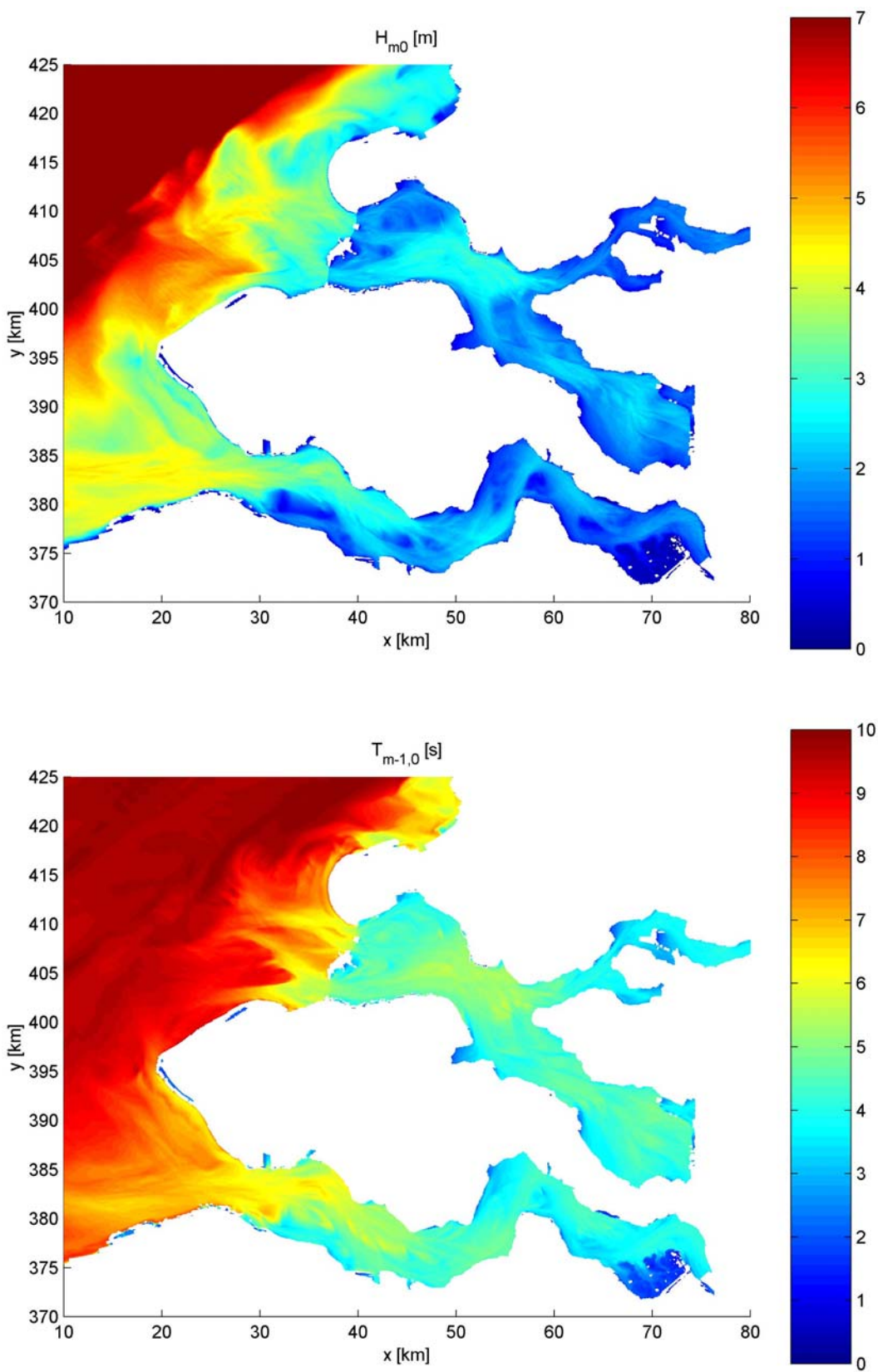
C Figuren



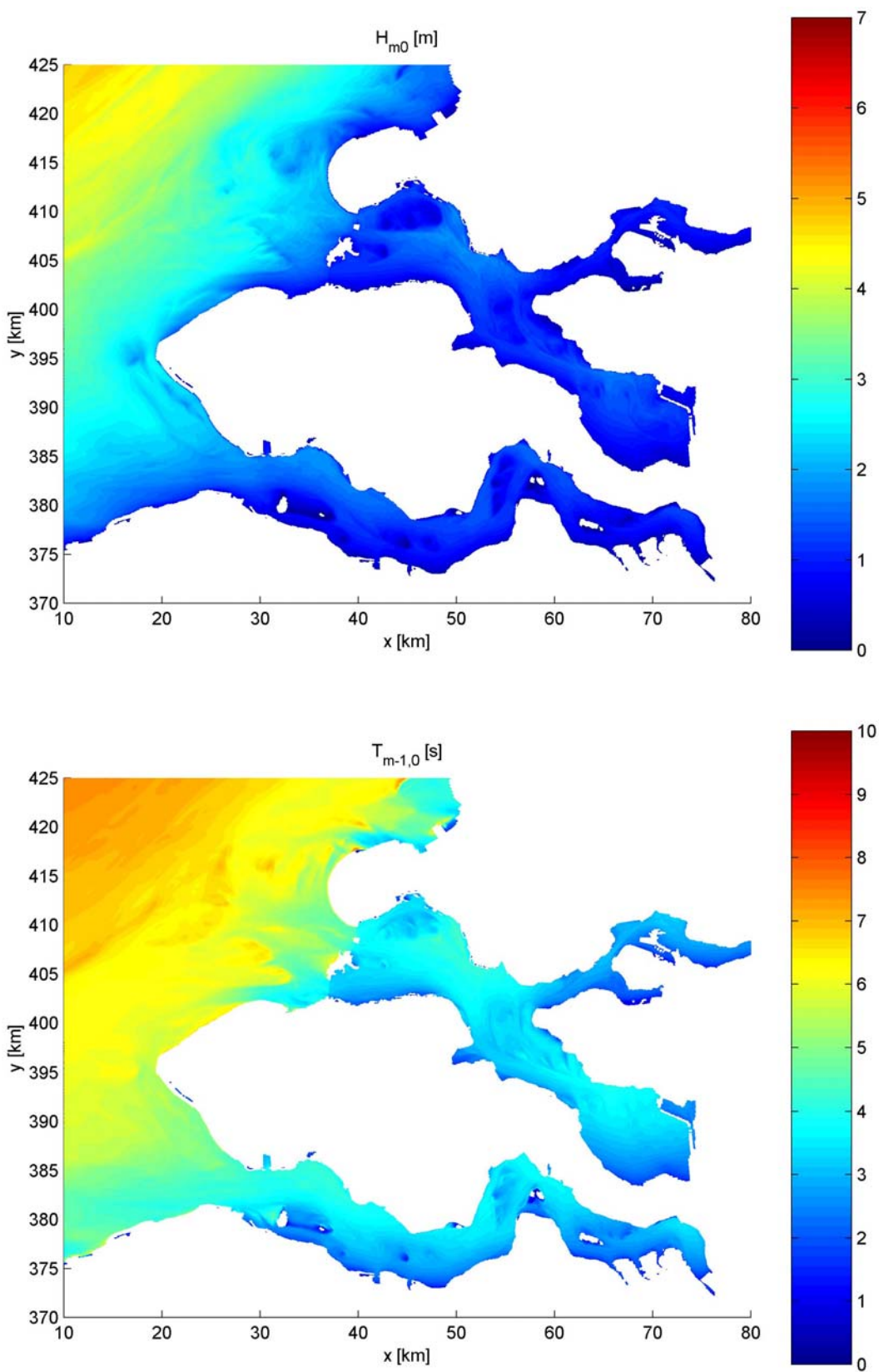
Figuur F-1 Ruimtelijke verdeling van significante golfhoopte H_{m0} en gemiddelde periode $T_{m-1,0}$ over gehele rekendomein voor de case K34D315L060



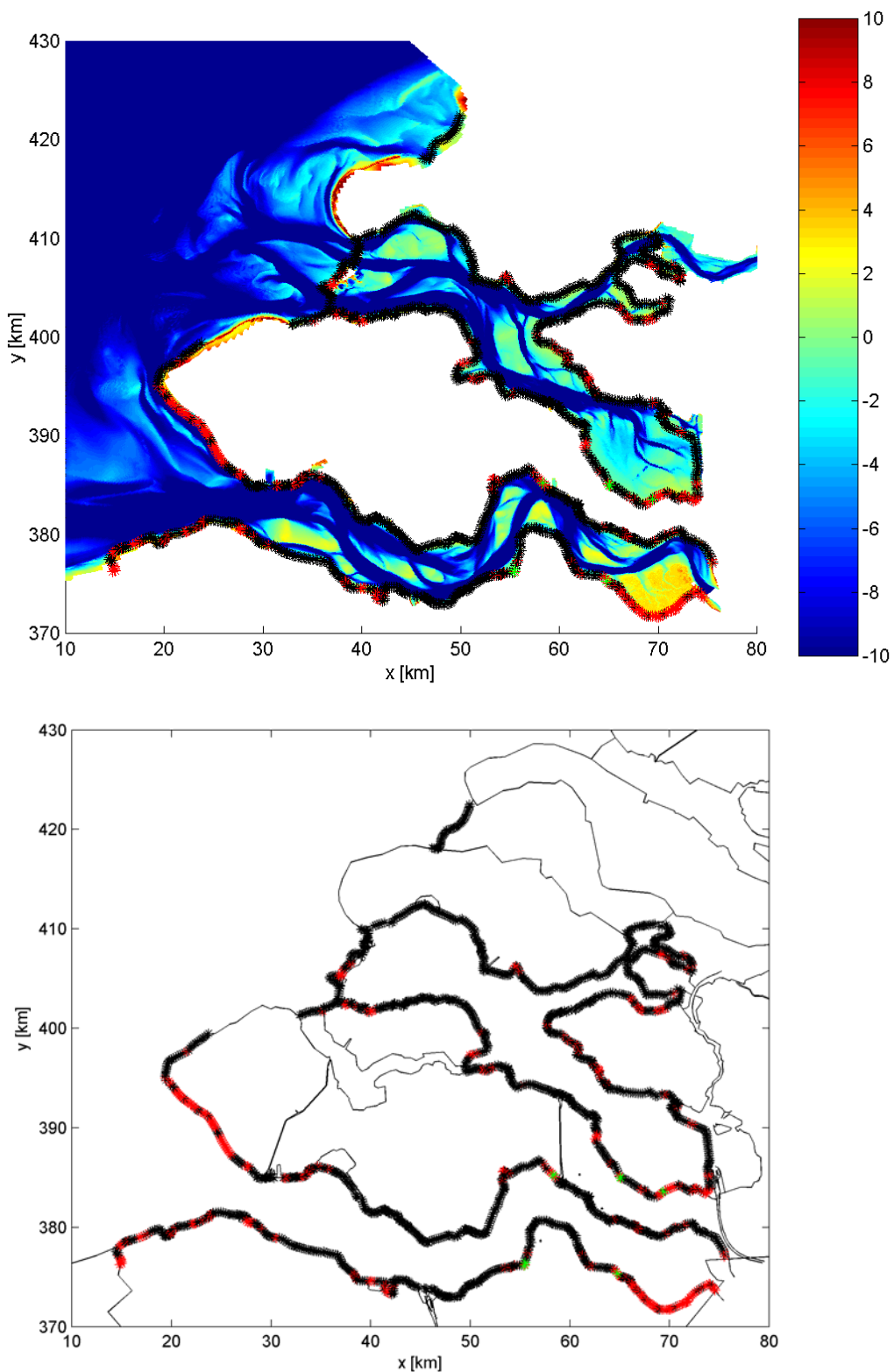
Figuur F-2 Ruimtelijke verdeling van significante golfhoogte H_{m0} en gemiddelde periode $T_{m-1,0}$ in de monding en de estuaria voor de case K34D315L060



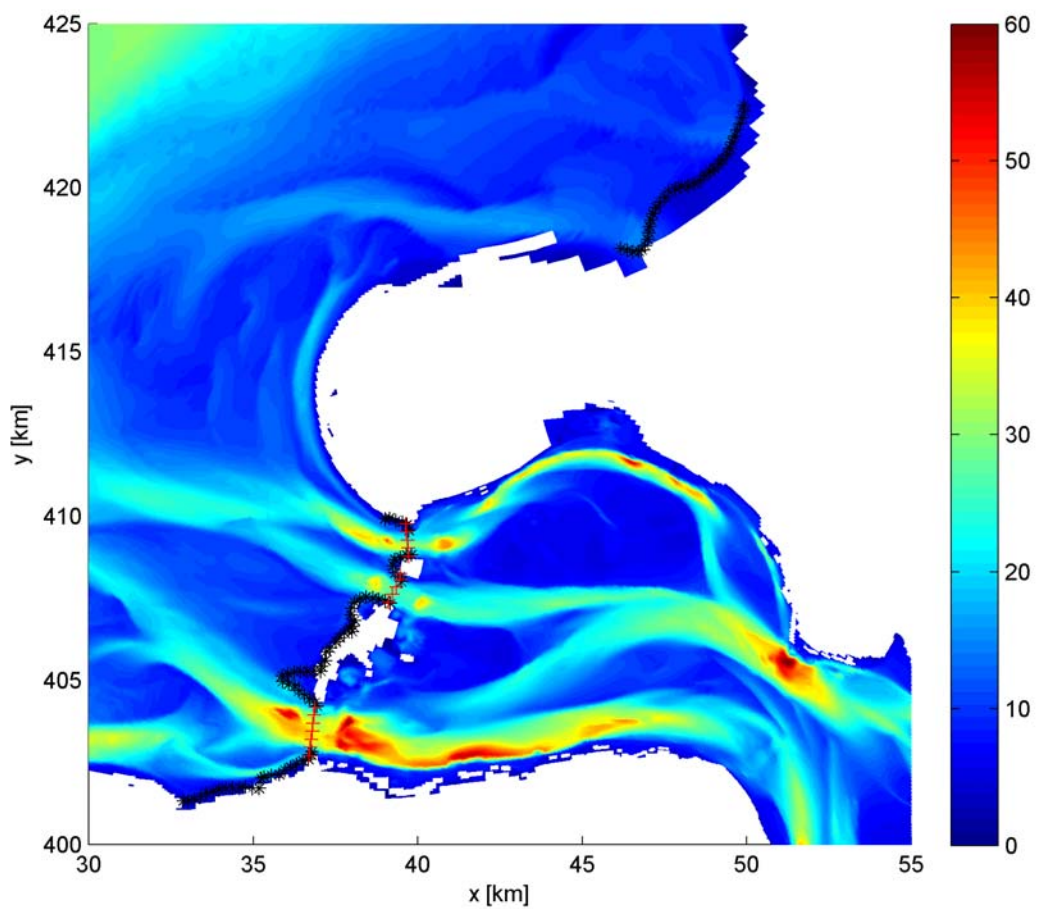
Figuur F-3 Ruimtelijke verdeling van significante golfhogte H_{m0} en gemiddelde periode $T_{m-1,0}$ in de monding en de estuaria voor de case K34D270L040



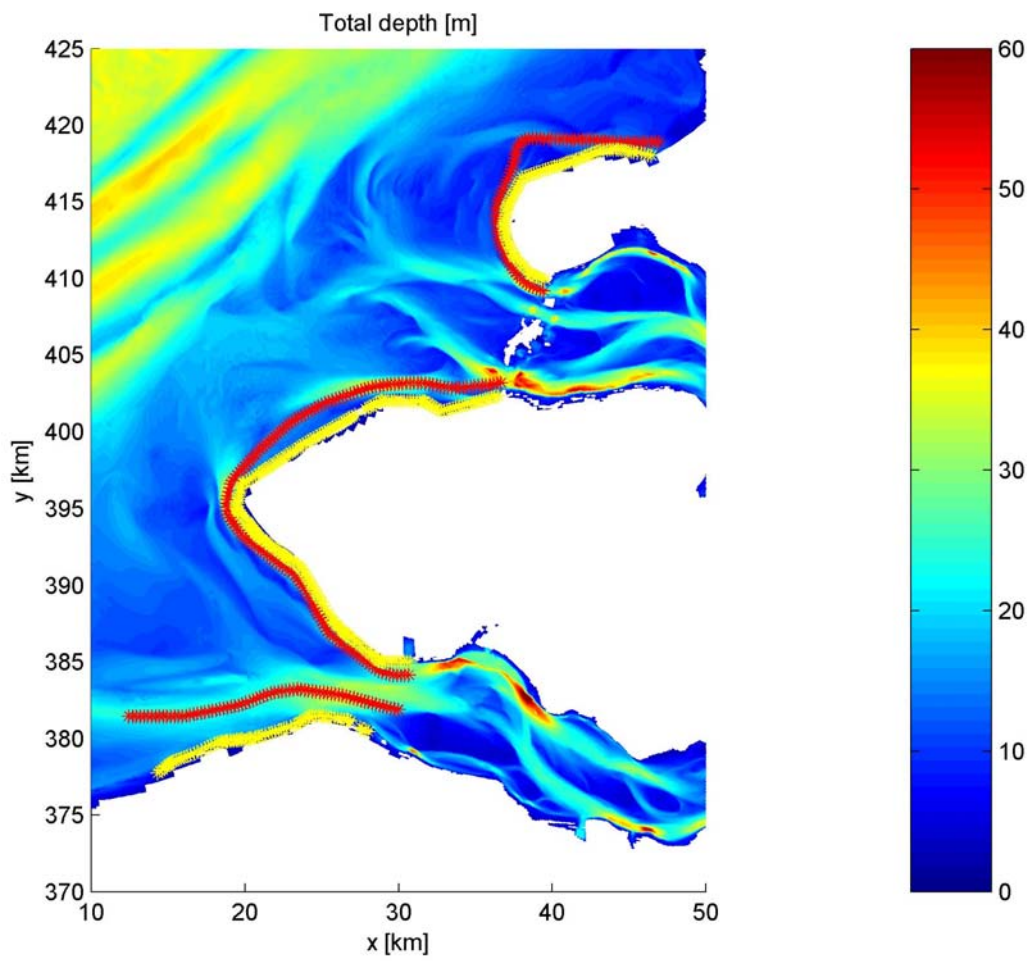
Figuur F-4 Ruimtelijke verdeling van significante golfhoopte H_{m0} en gemiddelde periode $T_{m-1,0}$ in de monding en de estuaria voor de case K24D180L020



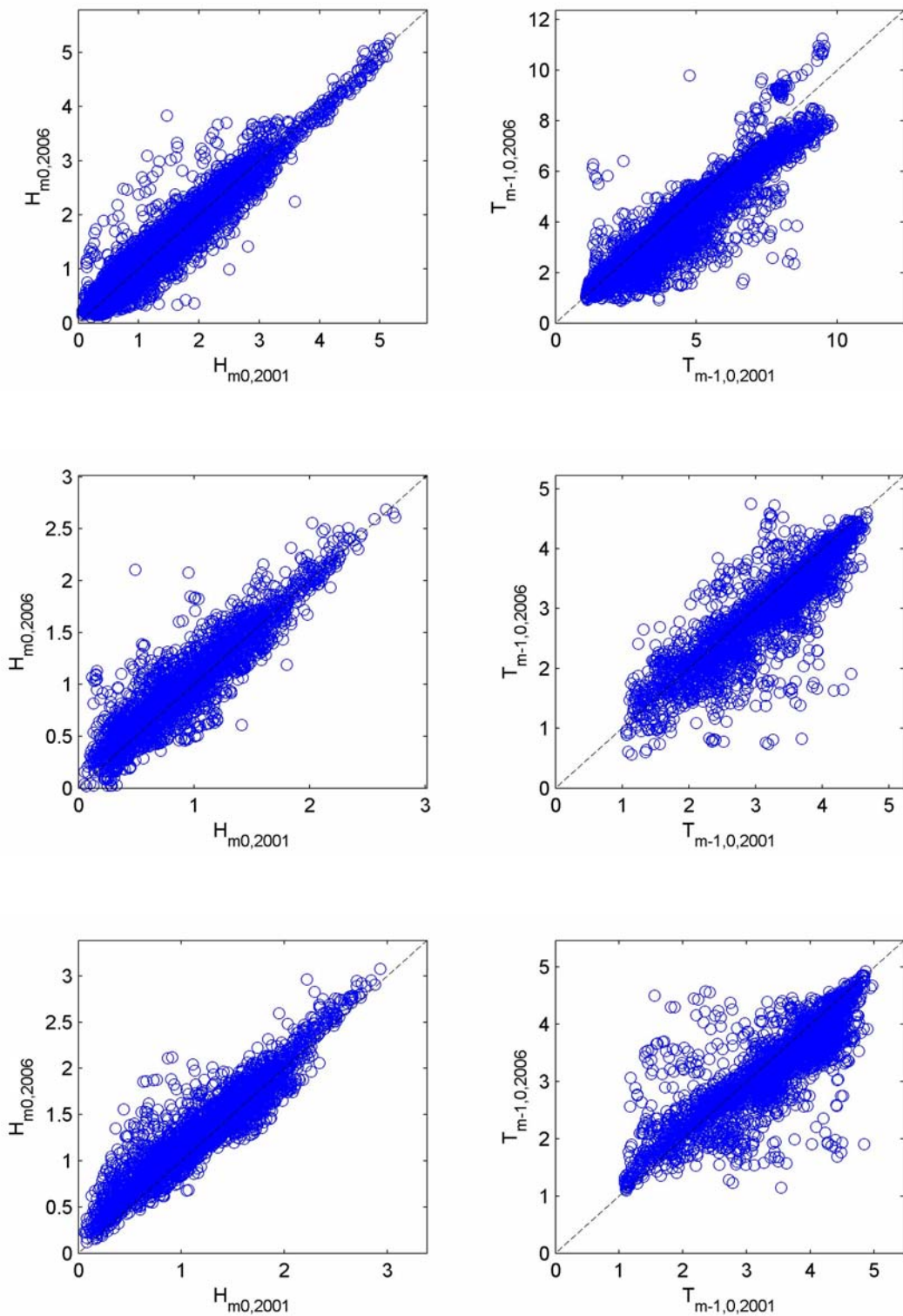
Figuur F-5 Bodem met uitvoerpunten. Voor de case K34D270L040 zijn de natte (zwart), droge (rood) en inactieve (groen) uitvoerpunten aangegeven.



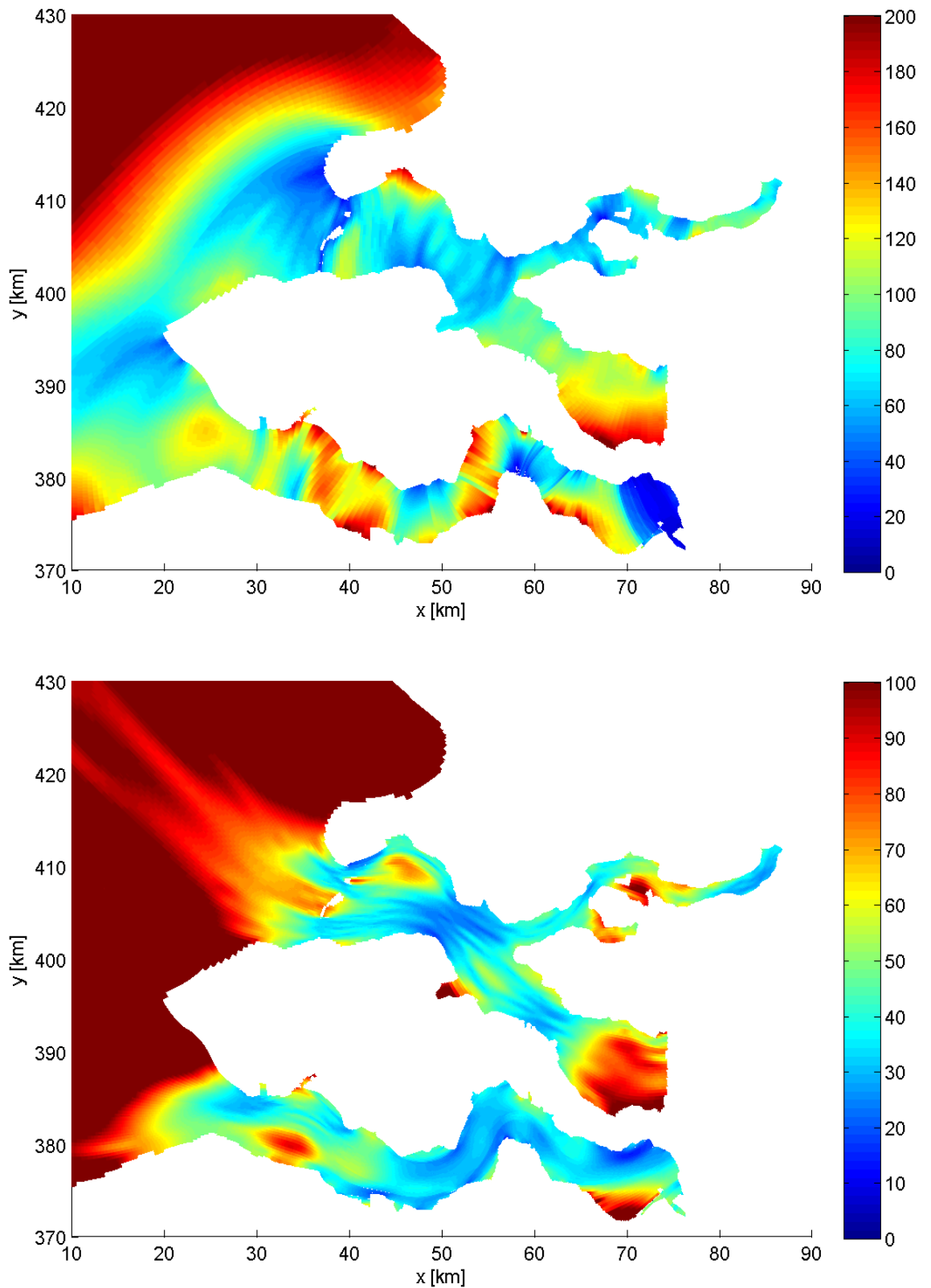
Figuur F-6 Totale diepte voor de case K34D315L060 met uitvoerlocaties voor de verbindende waterkeringen (zwart) en ter hoogte van de schuiven van de Oosterscheldekering (rood)



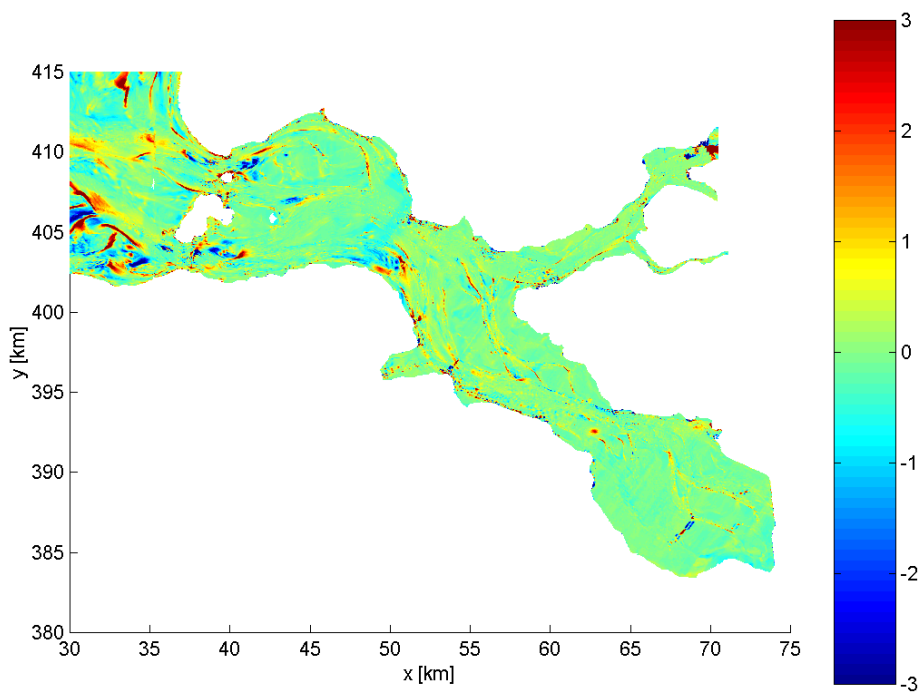
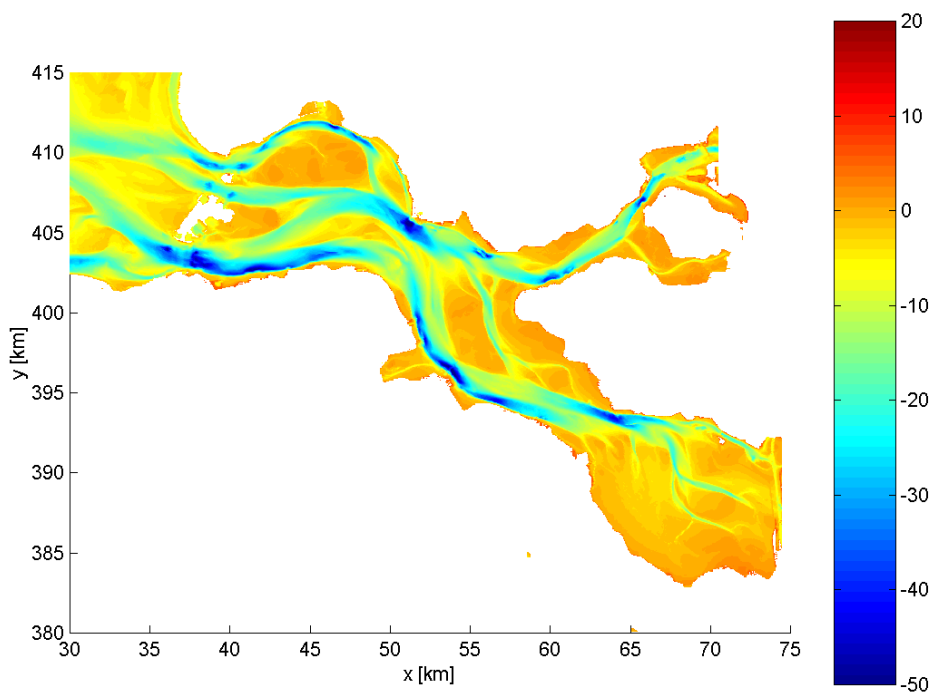
Figuur F-7 Totale diepte voor de case K34D315L060 met uitvoerlocaties voor de duinenkust ter hoogte van de strandpalen (geel) en op dieper water (rood)



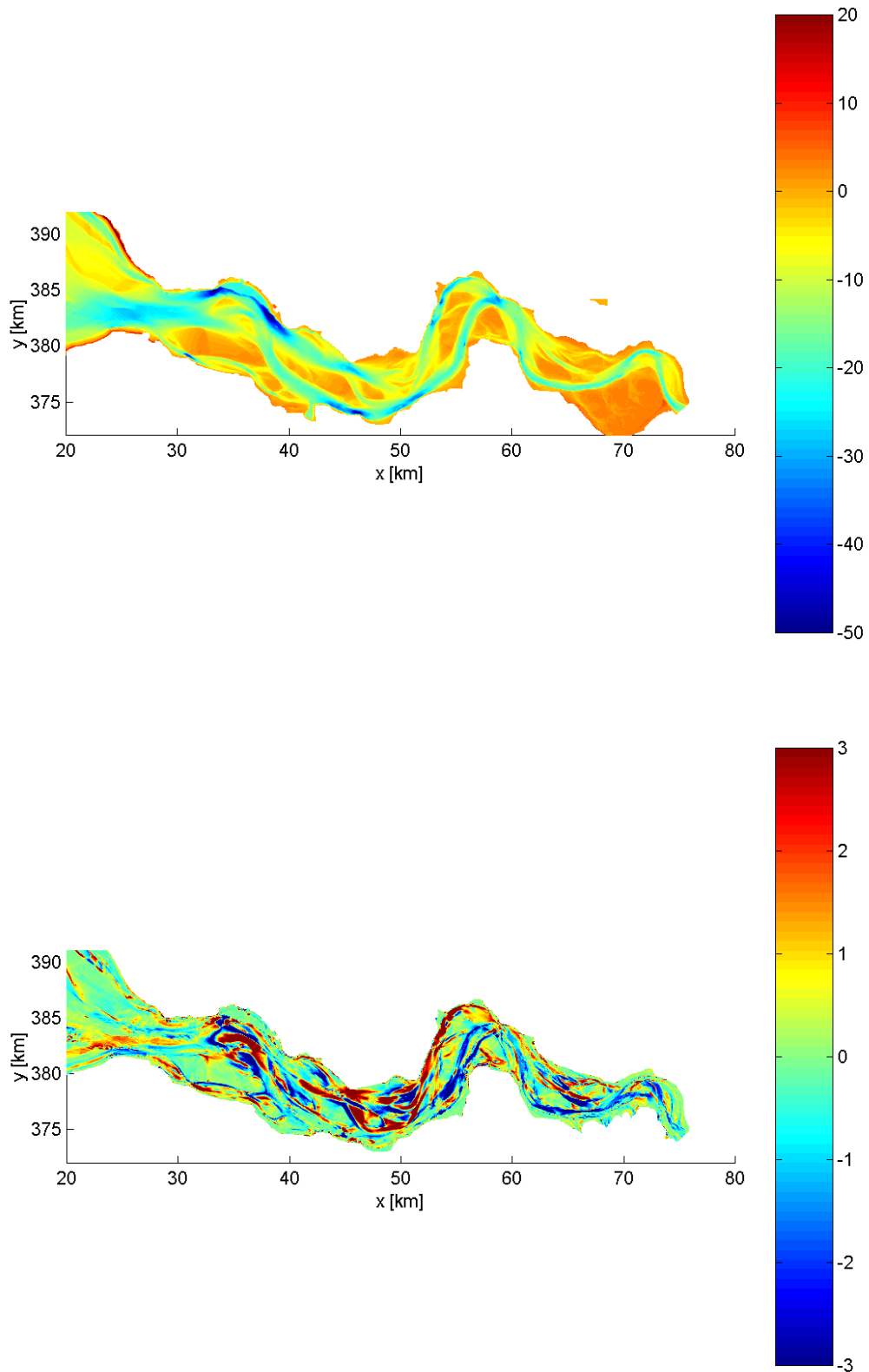
Figuur F-8: Oorspronkelijke (2001) en nieuwe resultaten (2006, Fase 3) voor significante golfhoogte H_{m0} (links) en gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ (rechts) in de Westerschelde (boven), Oosterschelde met open kering (midden) en Oosterschelde met gesloten kering (onder)



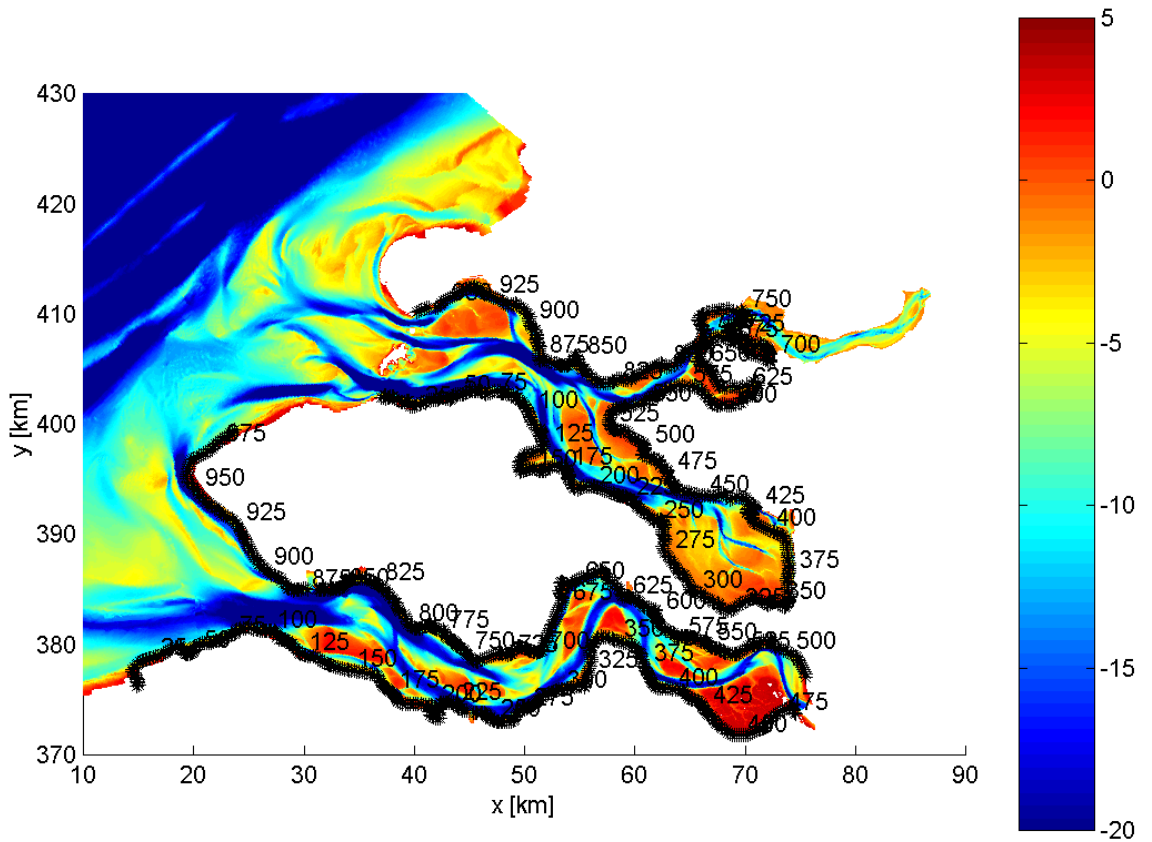
Figuur F-9 Geografische weergave van de roosterafstand van het kromlijng rooster in de richting langs de dijken (boven) en in de richting loodrecht op de dijken (onder)



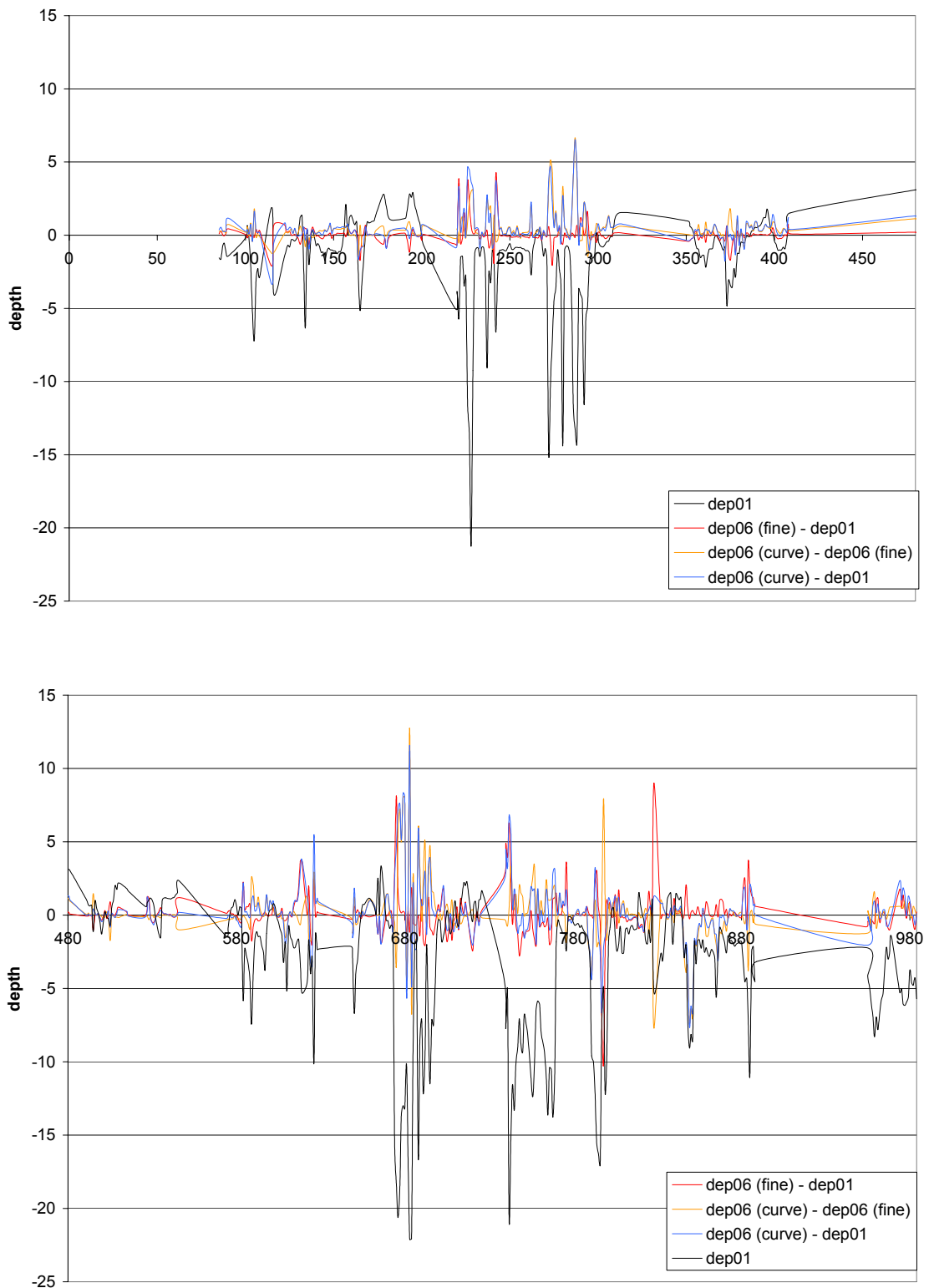
Figuur F-10 Boven: Bodemgeometrie Oosterschelde gebruikt in oude ontwerpberekeningen (Alkyon, 1998).
Onder: Verschil tussen 2006 bodem en 2001 bodem



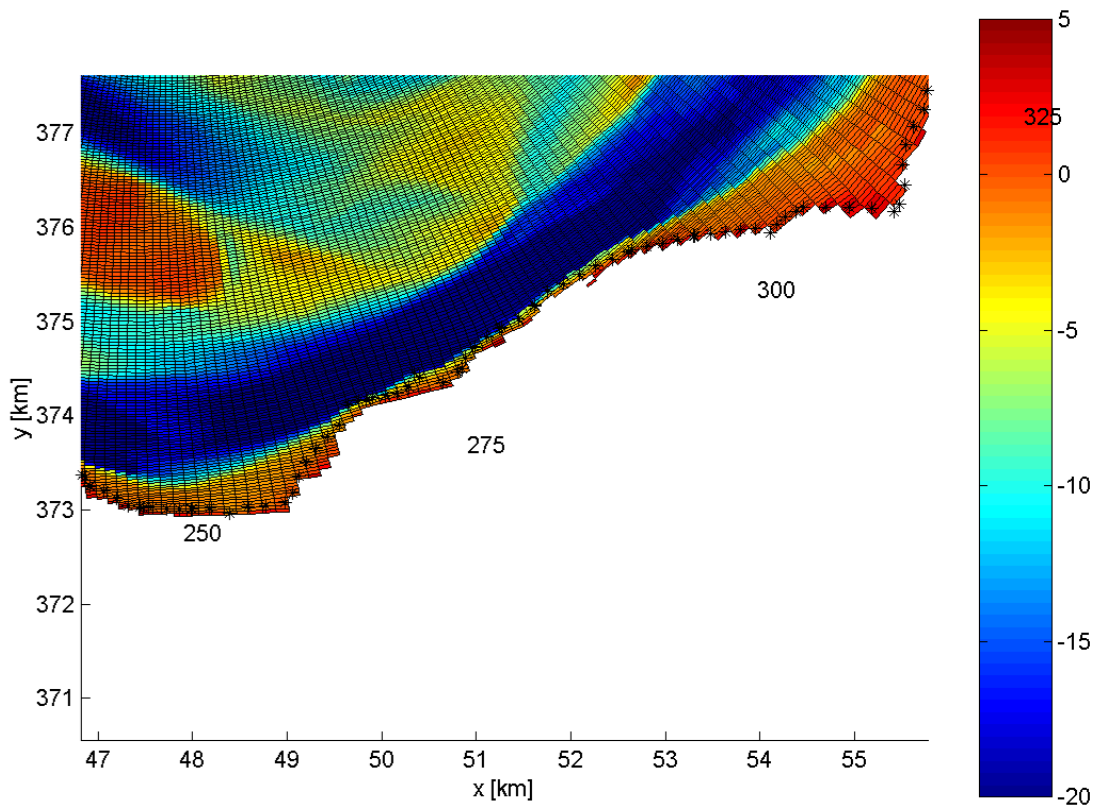
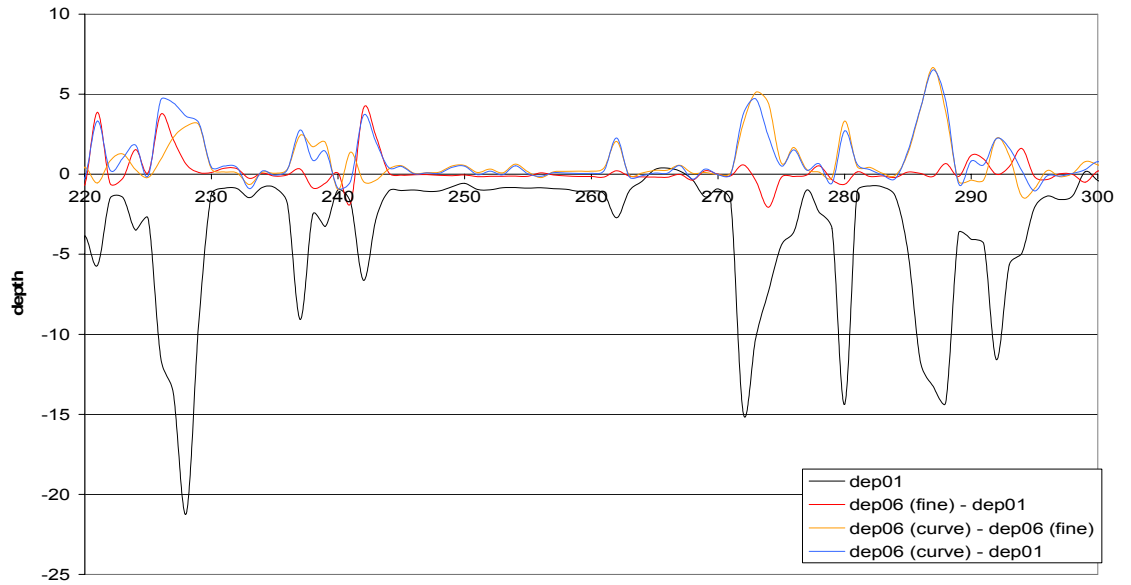
Figuur F-11 Boven: Bodemgeometrie Westerschelde gebruikt in oude ontwerpberoeeningen (Alkyon, 1997).
Onder: Verschil tussen 2006 bodem en 2001 bodem



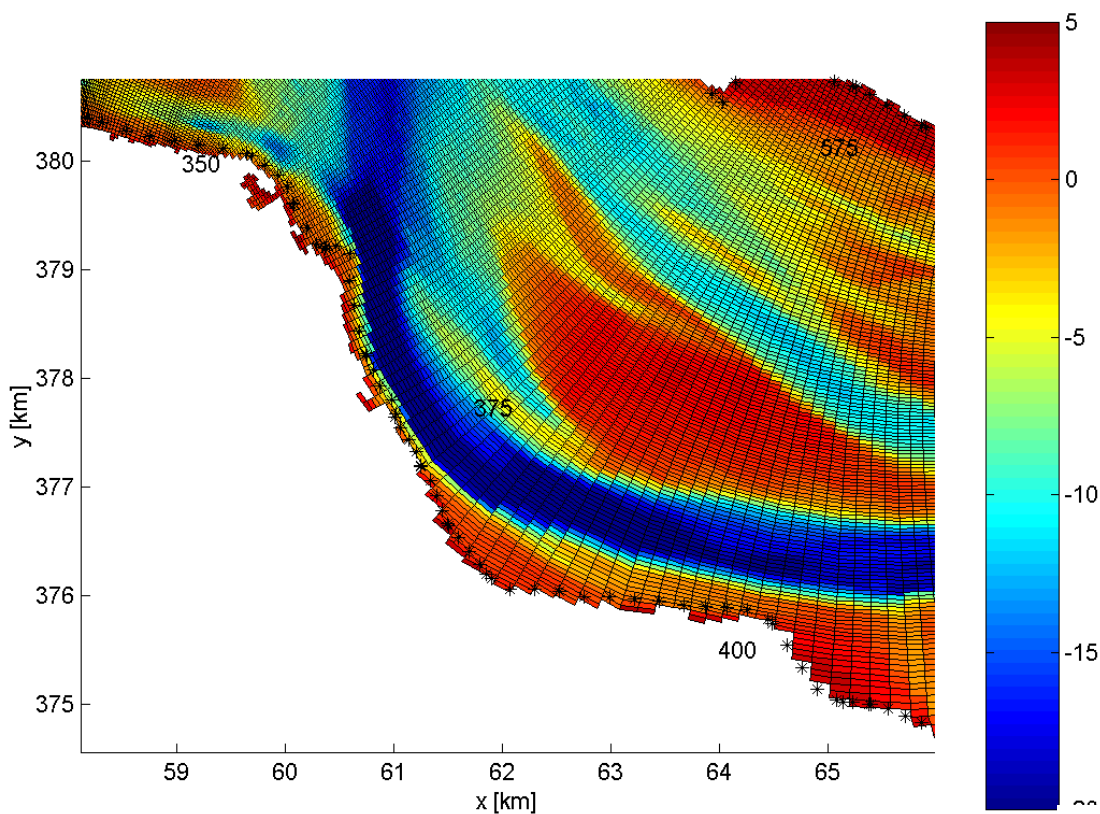
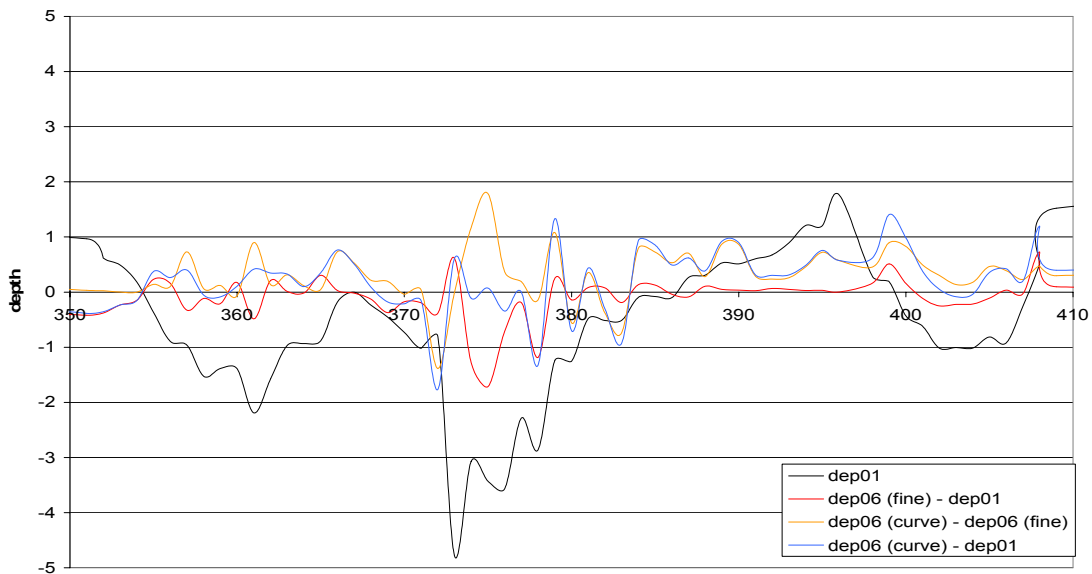
Figuur F-12 Diepte (t.o.v. N.A.P.) in de Westerschelde en de Oosterschelde en ligging van uitvoerpunten met bijbehorende indices



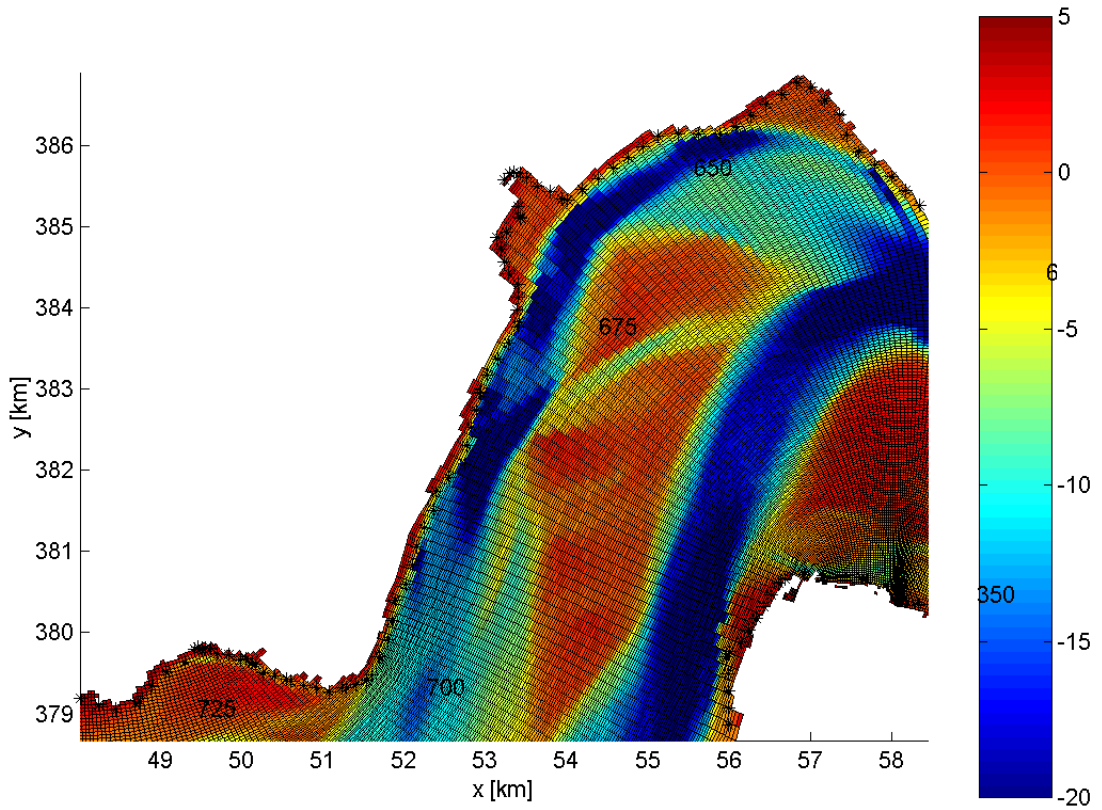
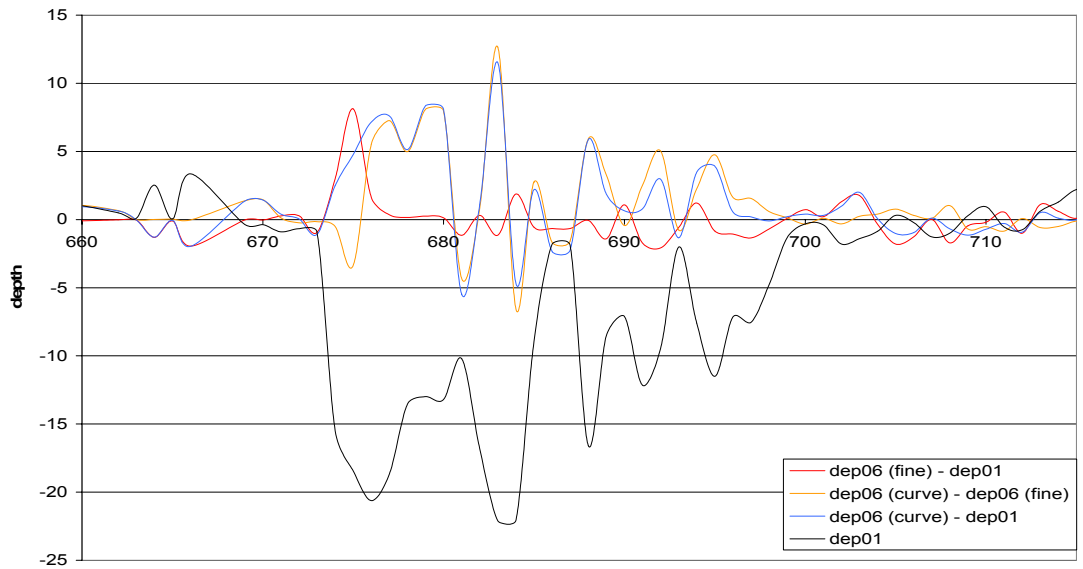
Figuur F-13 Diepte oude bathymetrie op fijn rooster, verschil tussen diepte nieuwe en oude bathymetrie, verschil tussen diepte op kromlijng en diepte op fijn, rechthoekig rooster, en verschil tussen diepte op kromlijng rooster van nieuwe bathymetrie en diepte op fijn, rechthoekig rooster van oude bathymetrie in uitvoerpunten langs de zuidkant (boven) en de noordkant (onder) van de Westerschelde



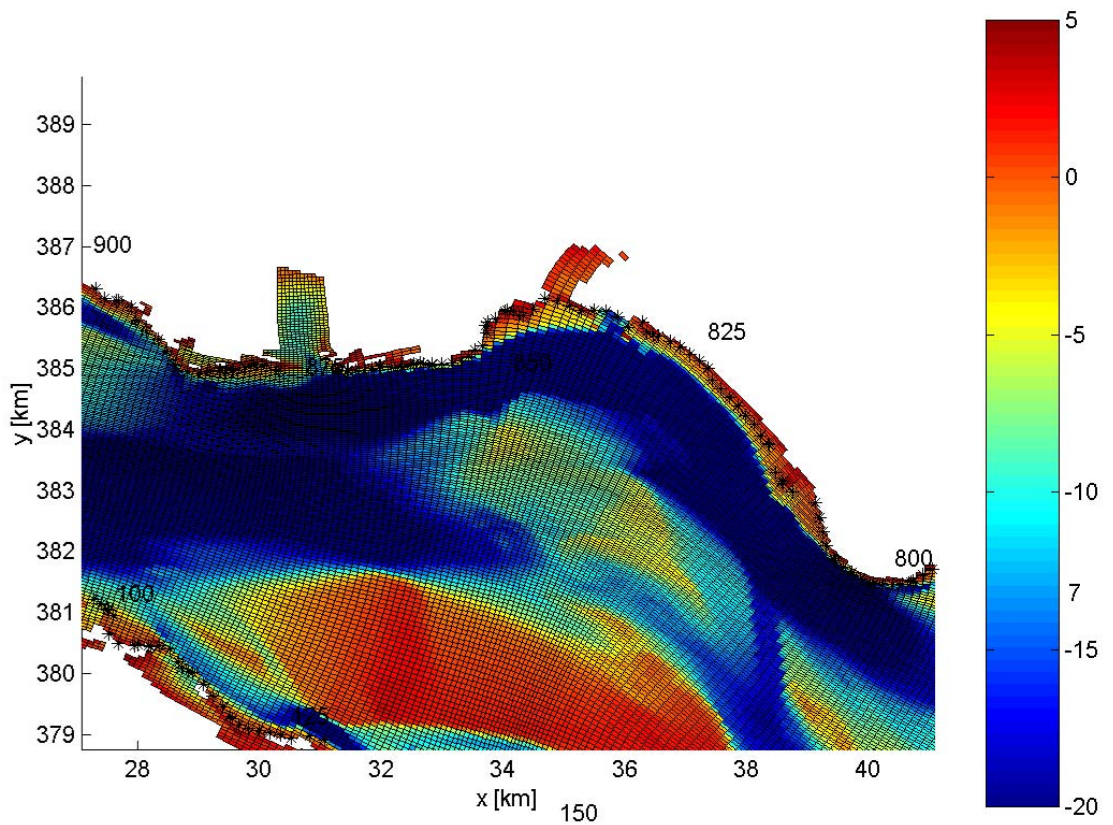
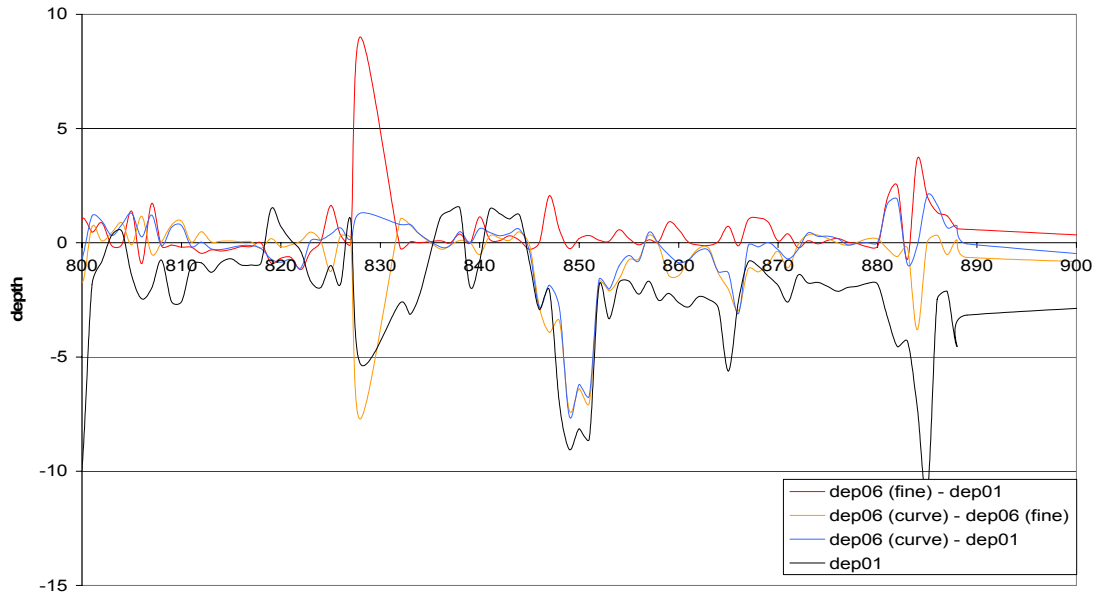
Figuur F-14 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 220 -300 in de Westerschelde



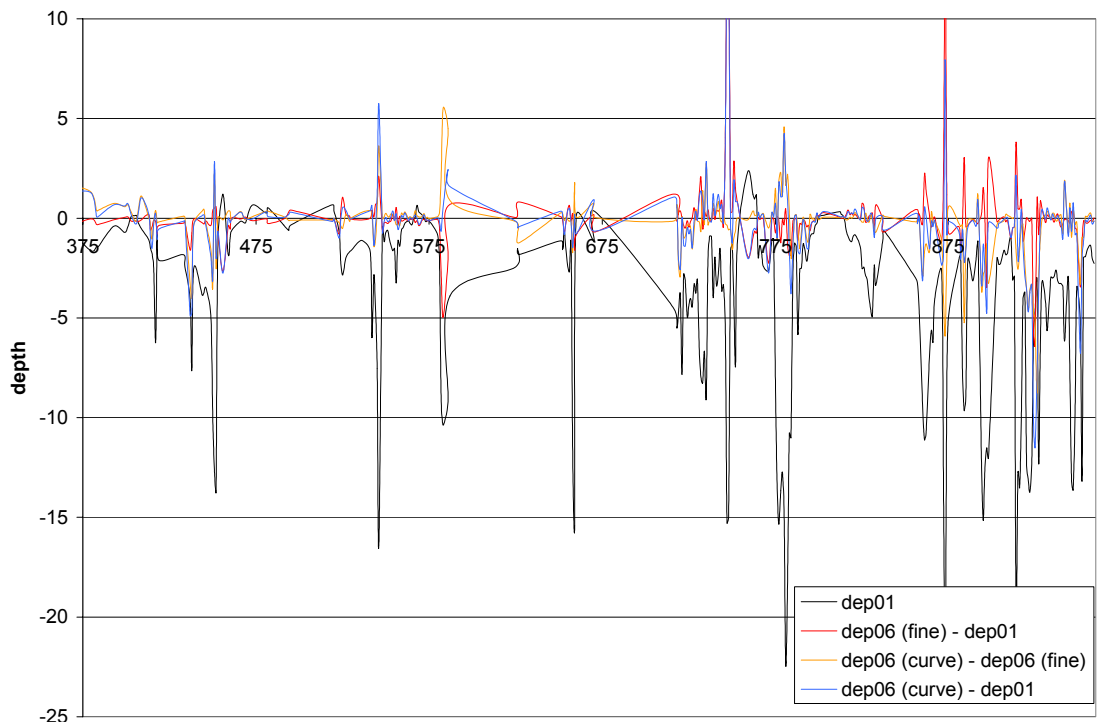
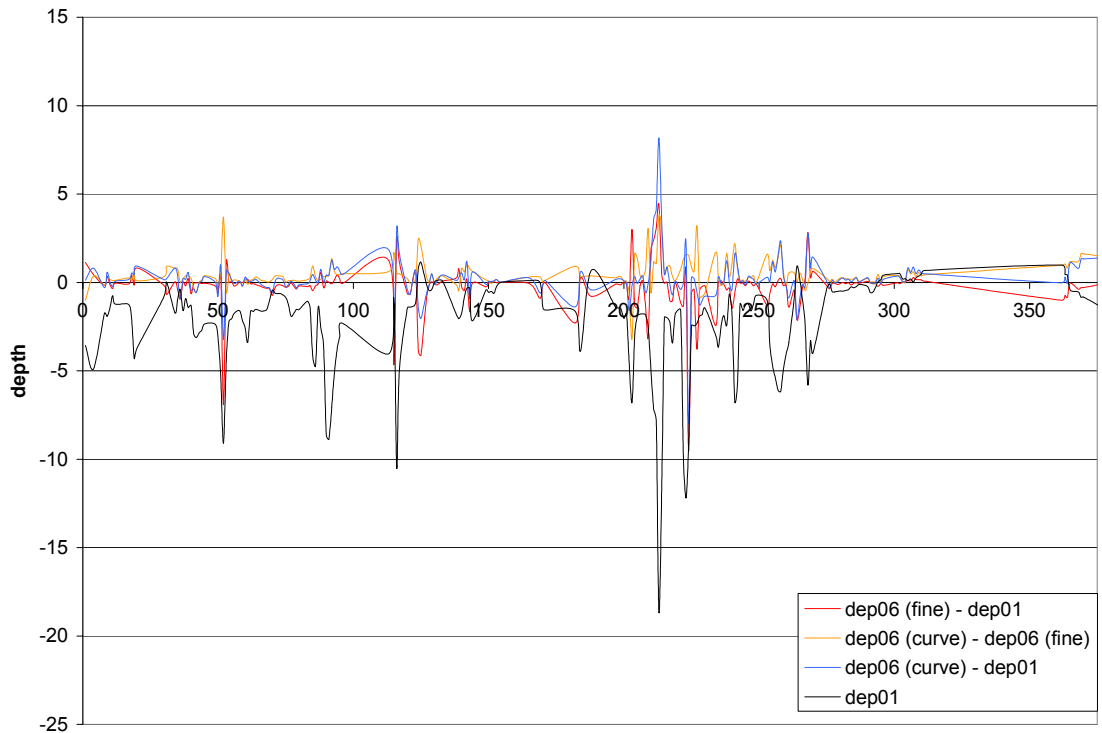
Figuur F-15 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 350 -410 (boven) in de Westerschelde



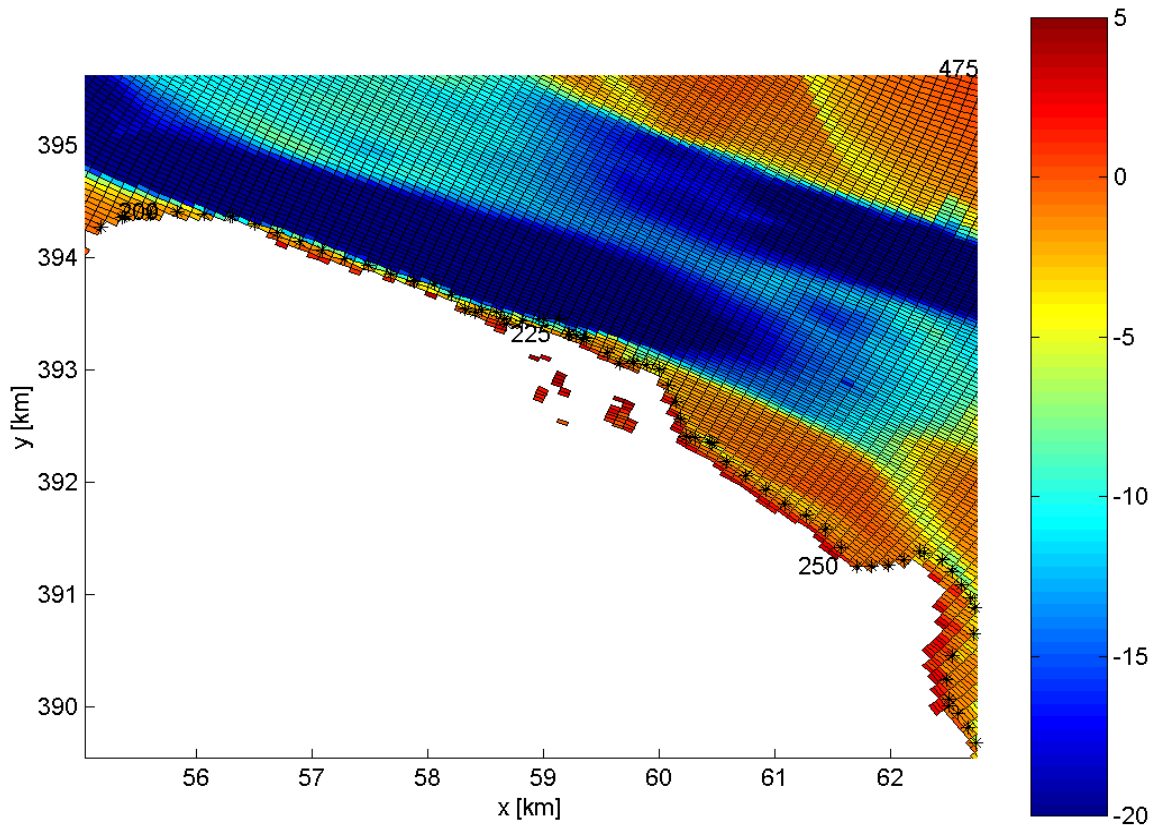
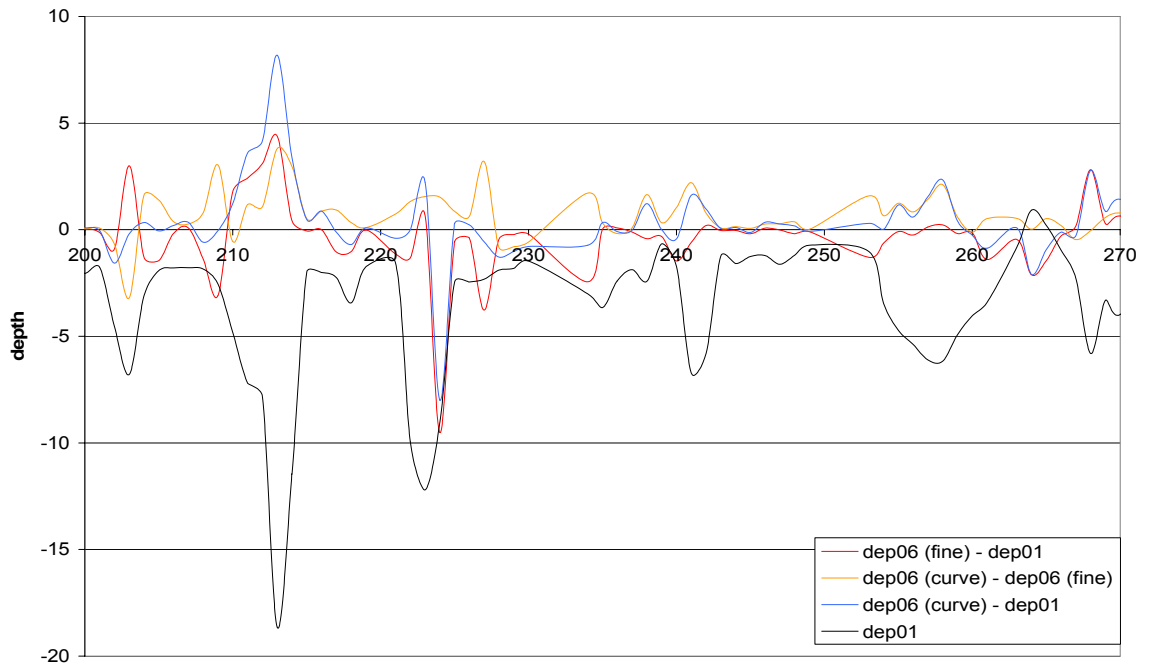
Figuur F-16 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 660 -710 (boven) in de Westerschelde



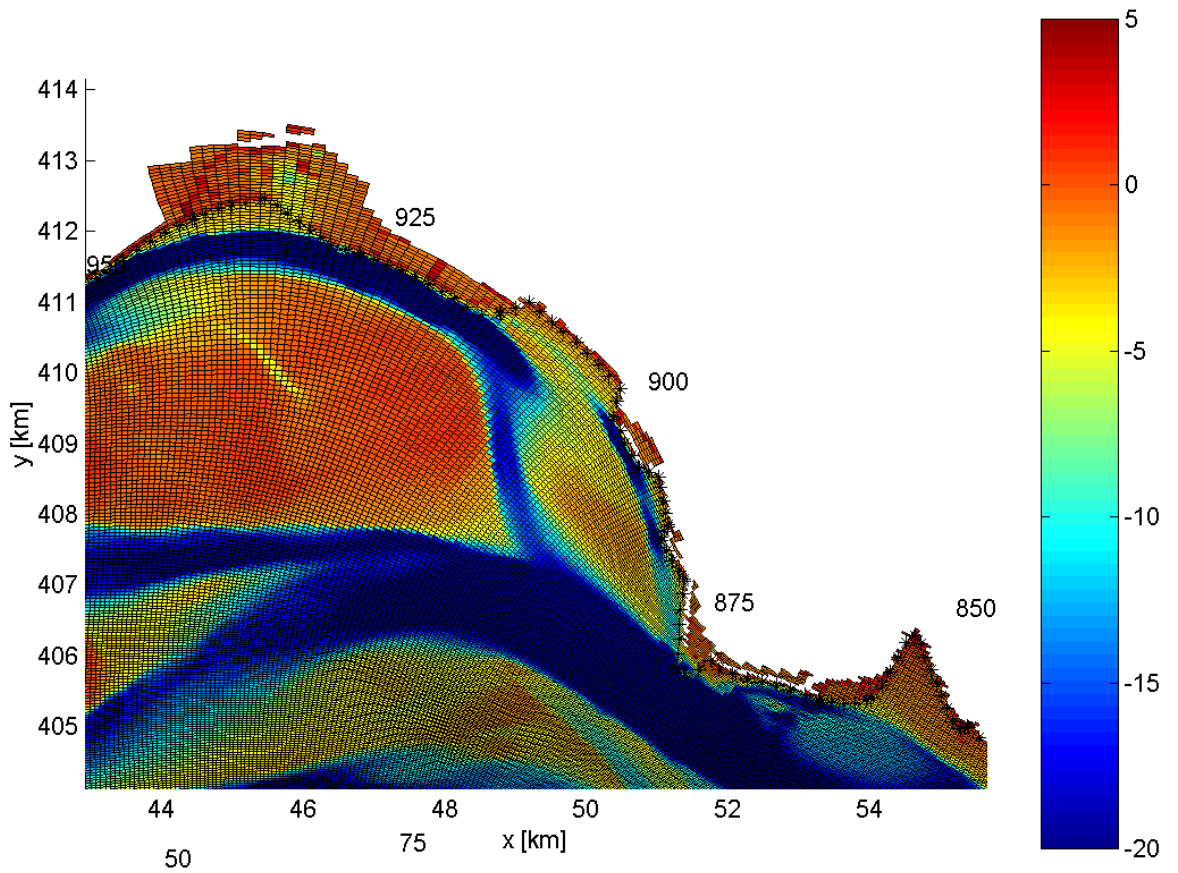
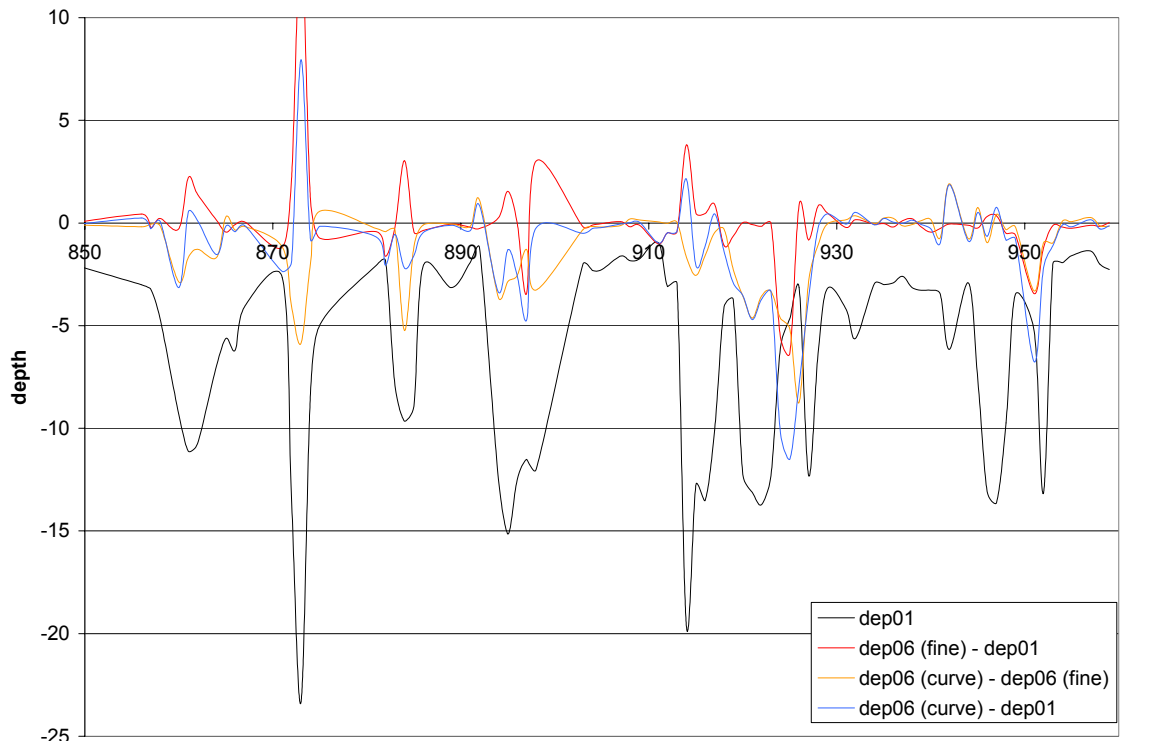
Figuur F-17 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 800 -900 (boven) in de Westerschelde



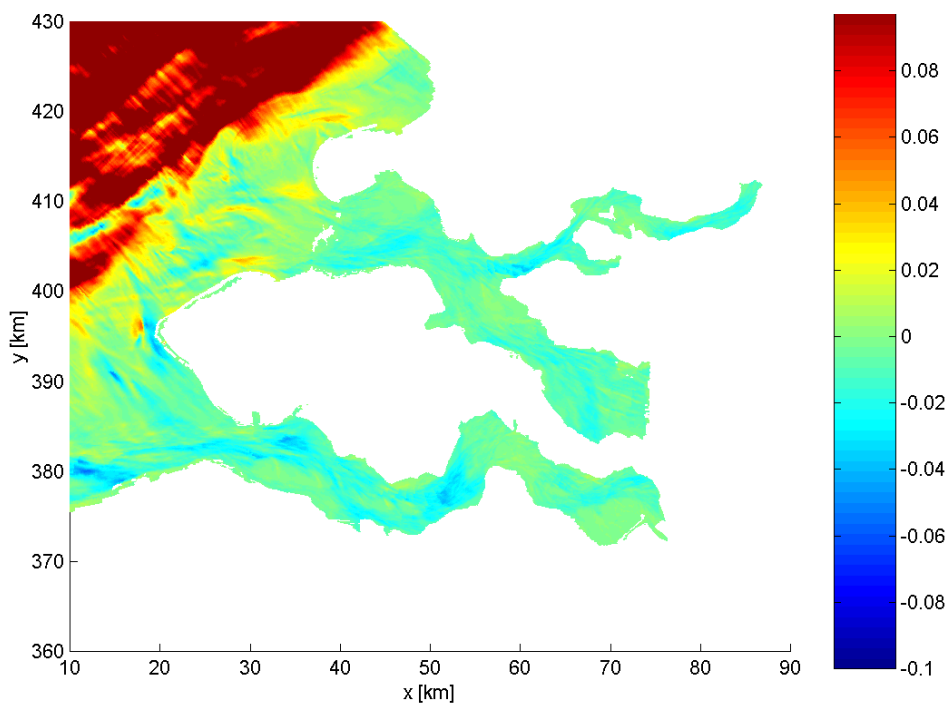
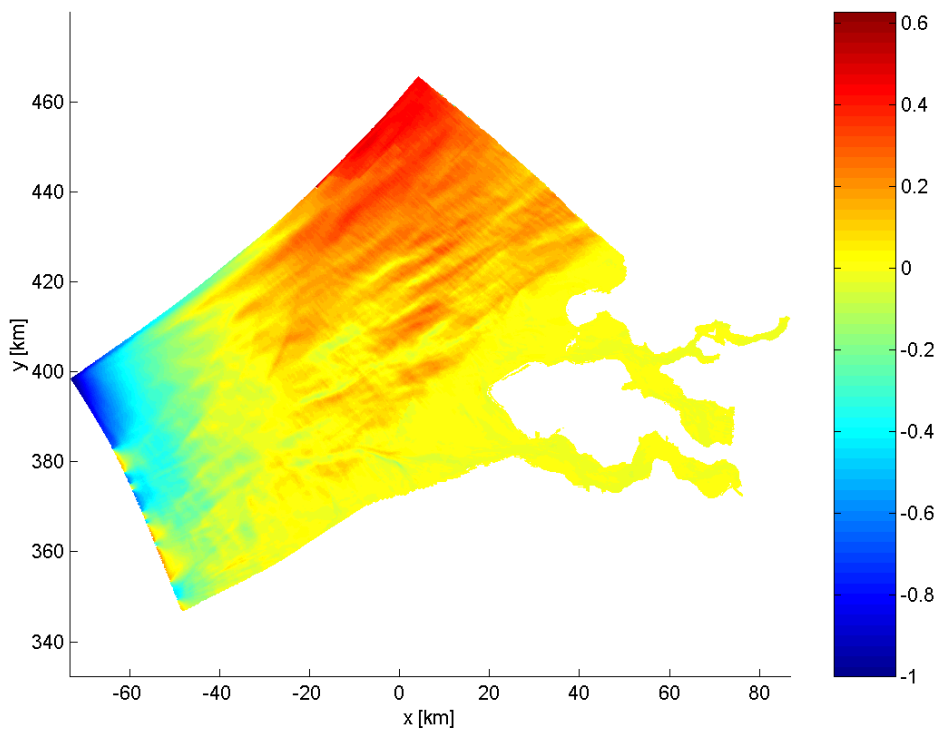
Figuur F-18 Diepte (t.o.v. N.A.P.) oude bathymetrie op fijn rooster, verschil tussen diepte nieuwe en oude bathymetrie, verschil tussen diepte op kromlijng en diepte op fijn, rechthoekig rooster, en verschil tussen diepte op kromlijng rooster van nieuwe bathymetrie en diepte op fijn, rechthoekig rooster van oude bathymetrie in uitvoerpunten langs de zuidkant (boven) en de noordkant (onder) van de Oosterschelde



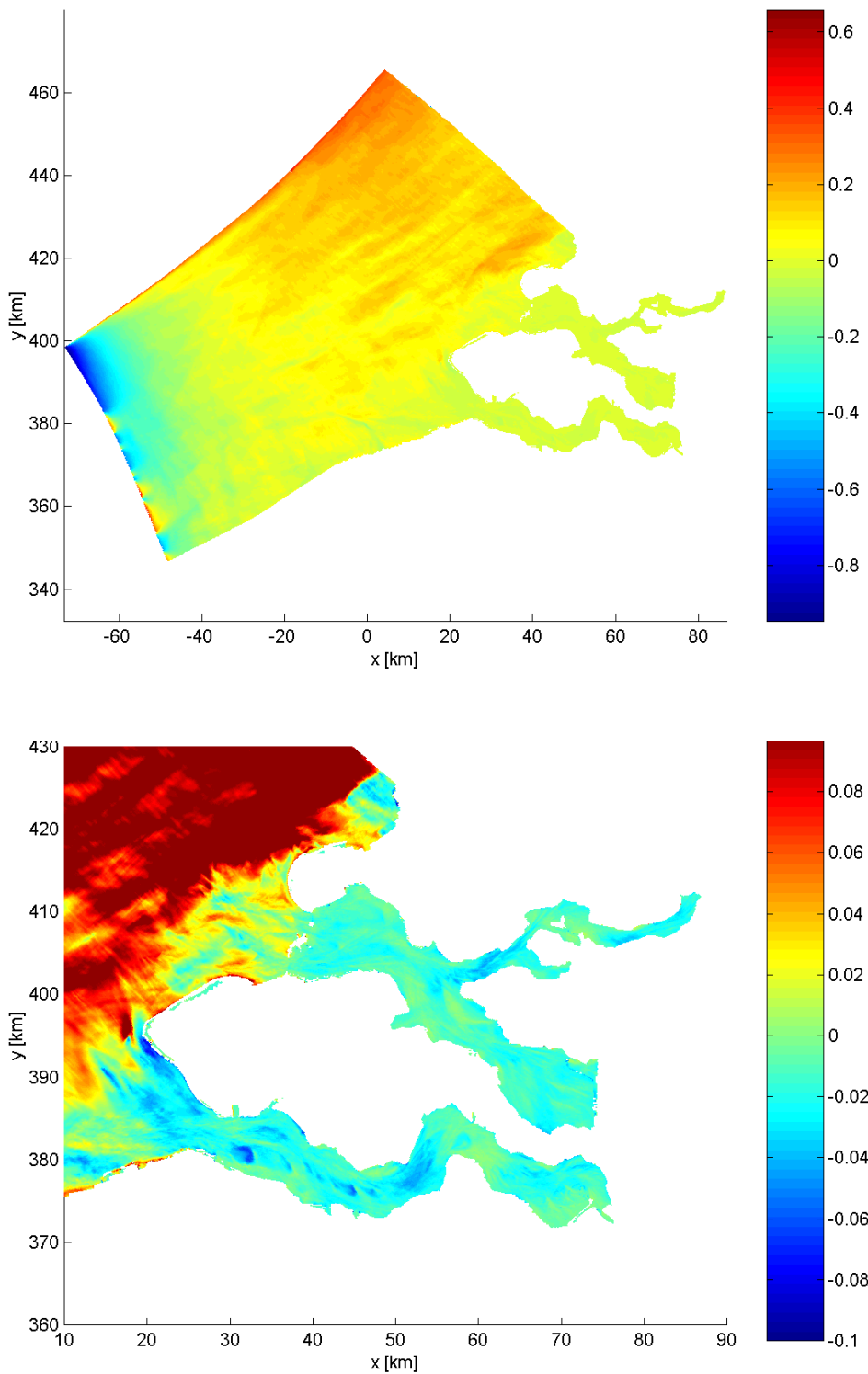
Figuur F-19 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 200-270 (boven) in de Oosterschelde



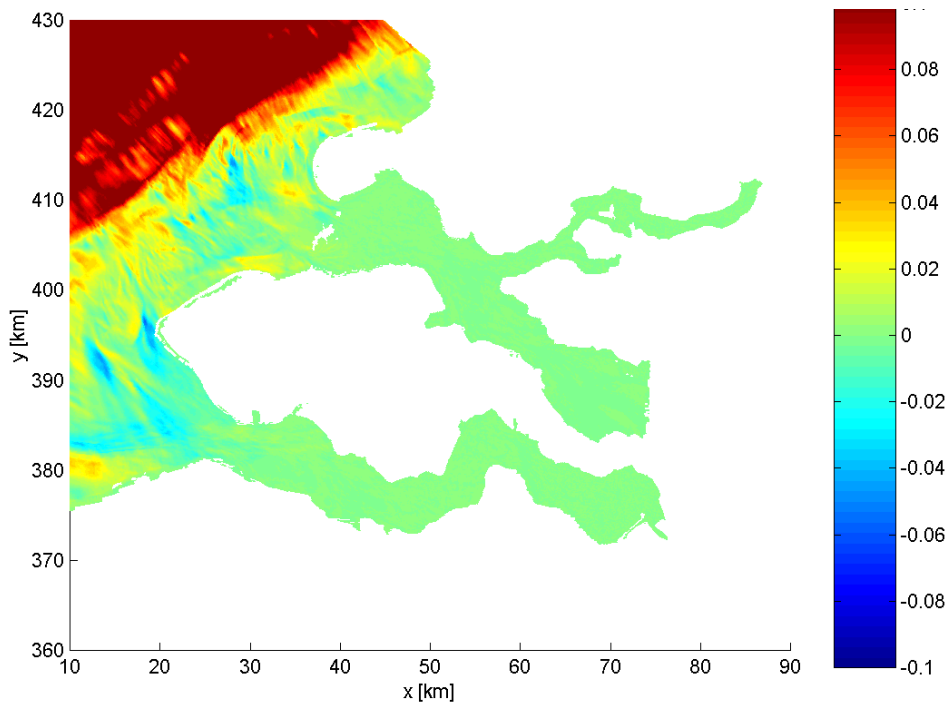
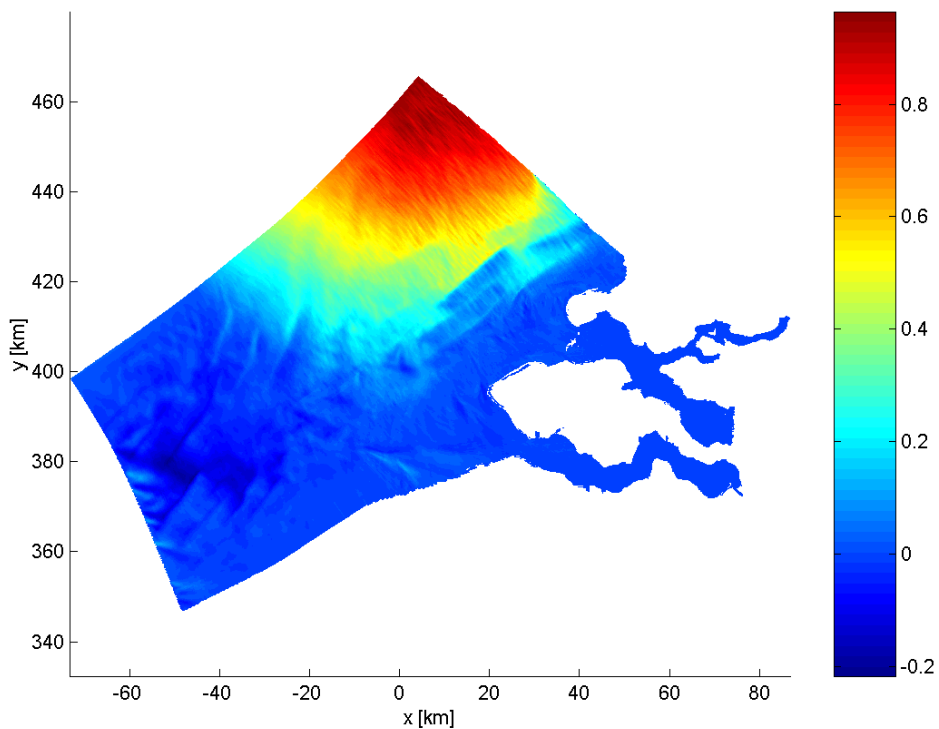
Figuur F-20 Diepteverschillen in (boven) en bathymetrie rondom (onder) uitvoerlocaties met indices 850-950 (boven) in de Oosterschelde



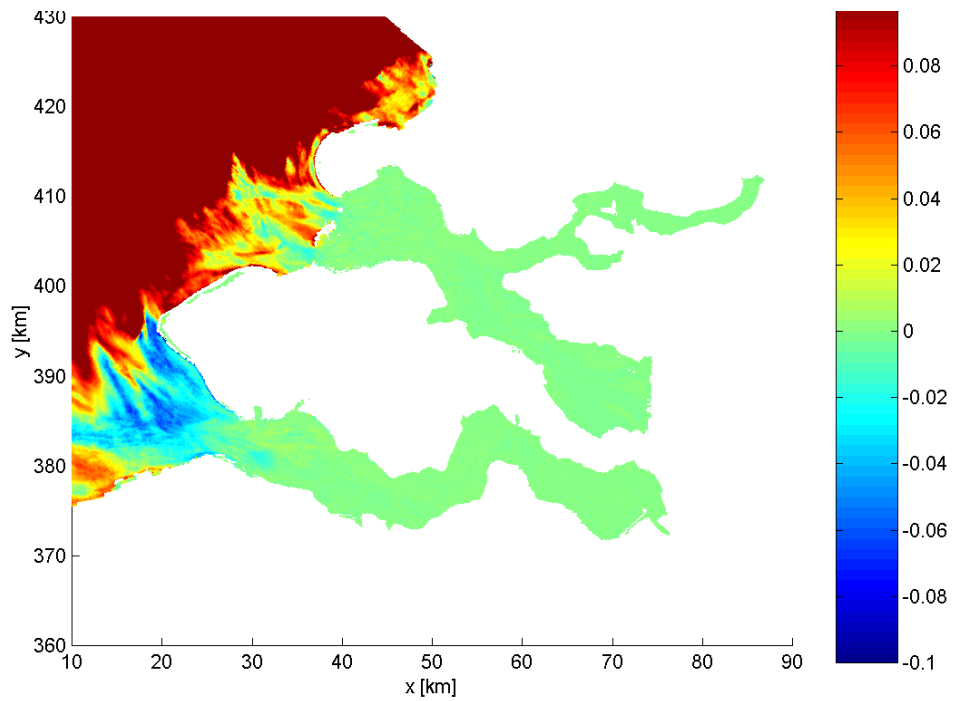
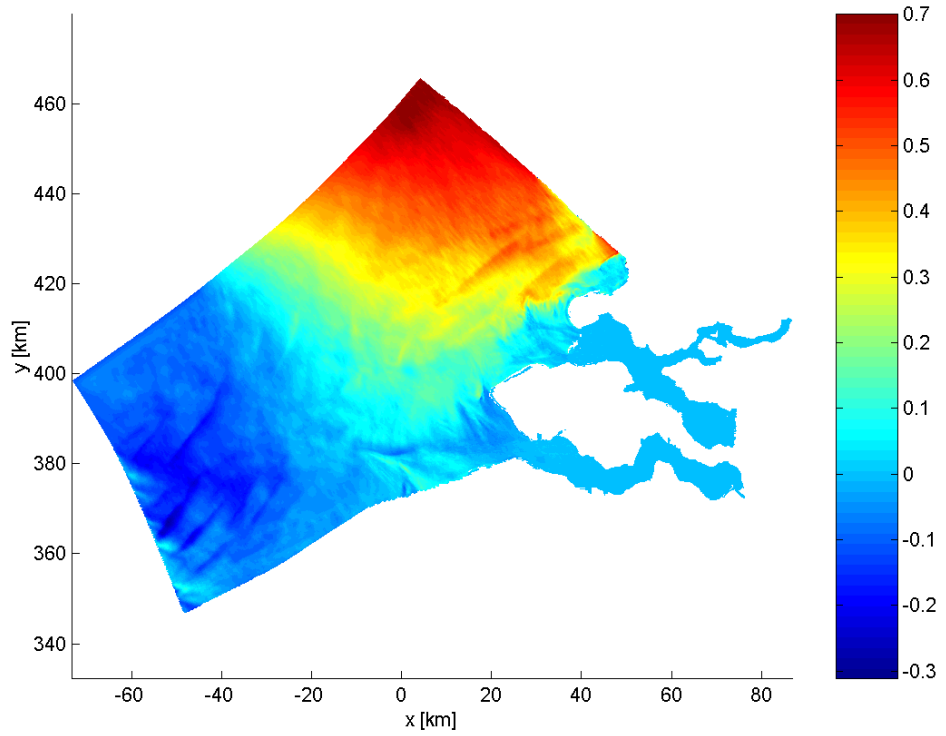
Figuur F-21 Absolute verschillen in significante golfhoogte H_{m0} (in m) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D270L060.



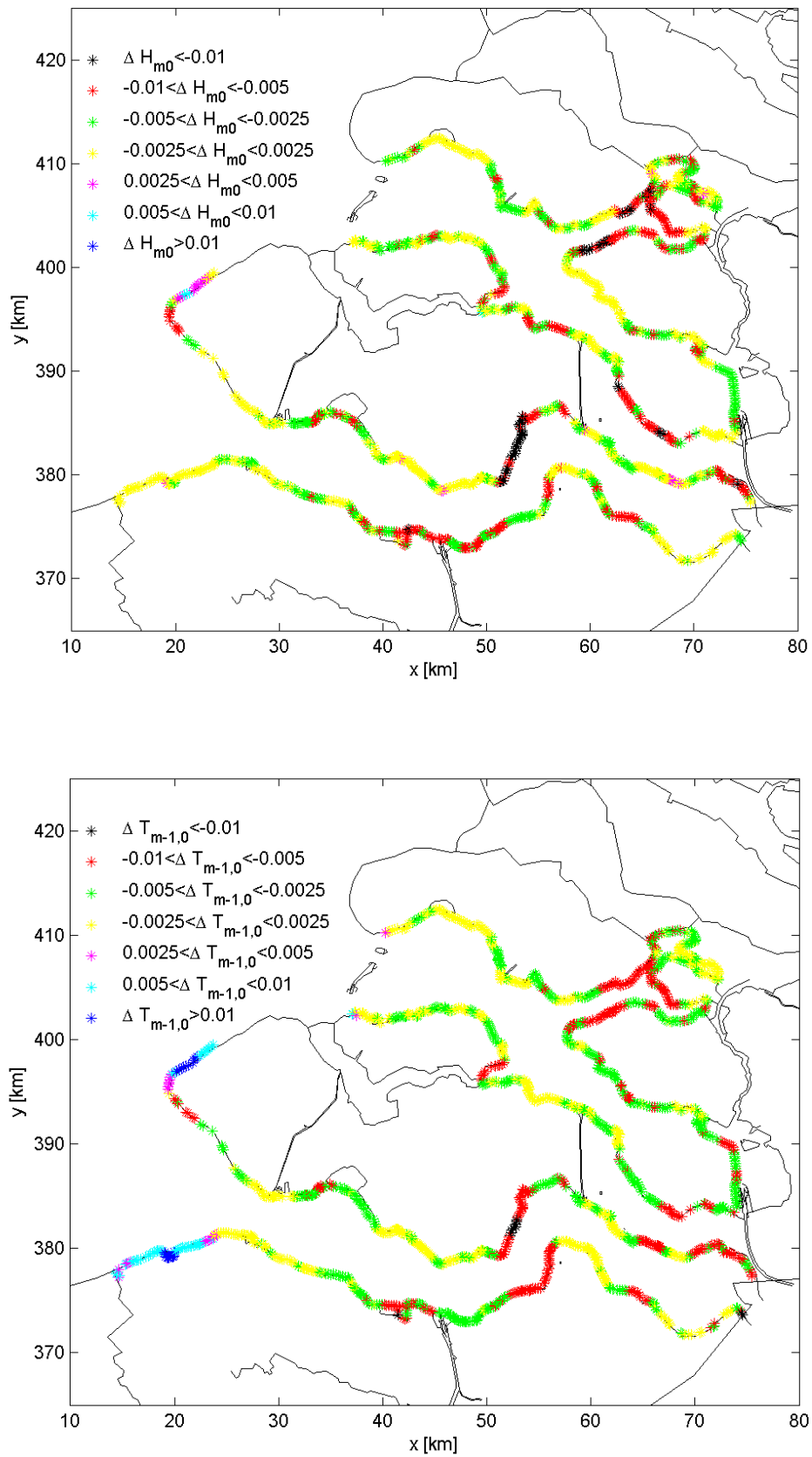
Figuur F-22 Absolute verschillen in gemiddelde golfperiode T_{m01} (in s) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D270L060.



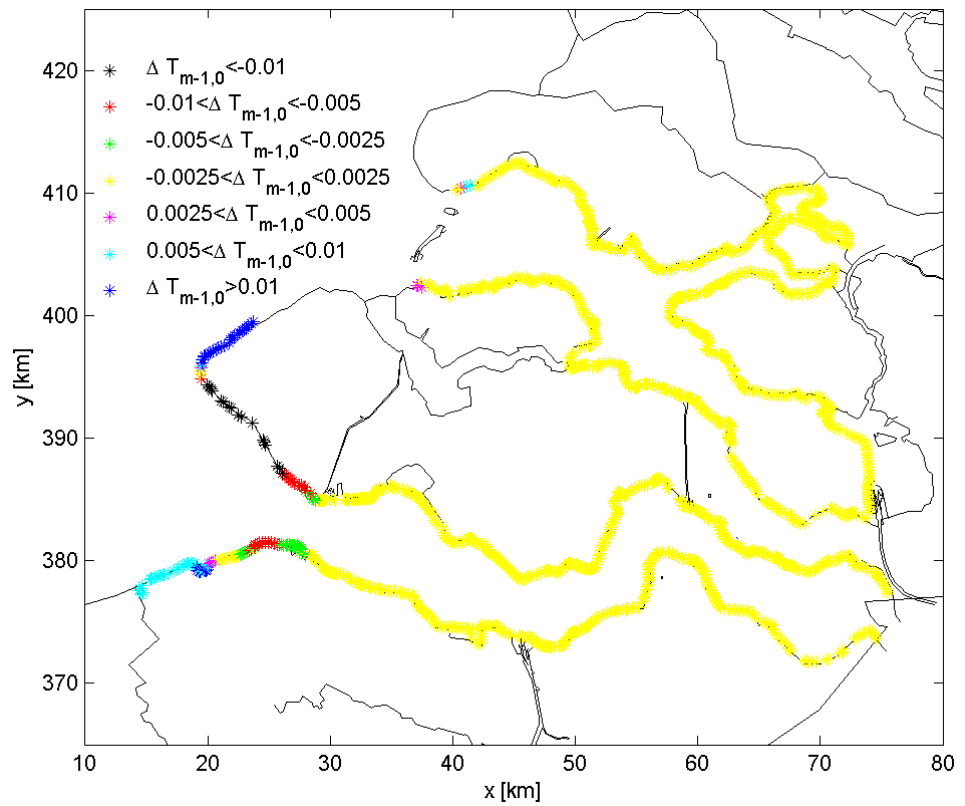
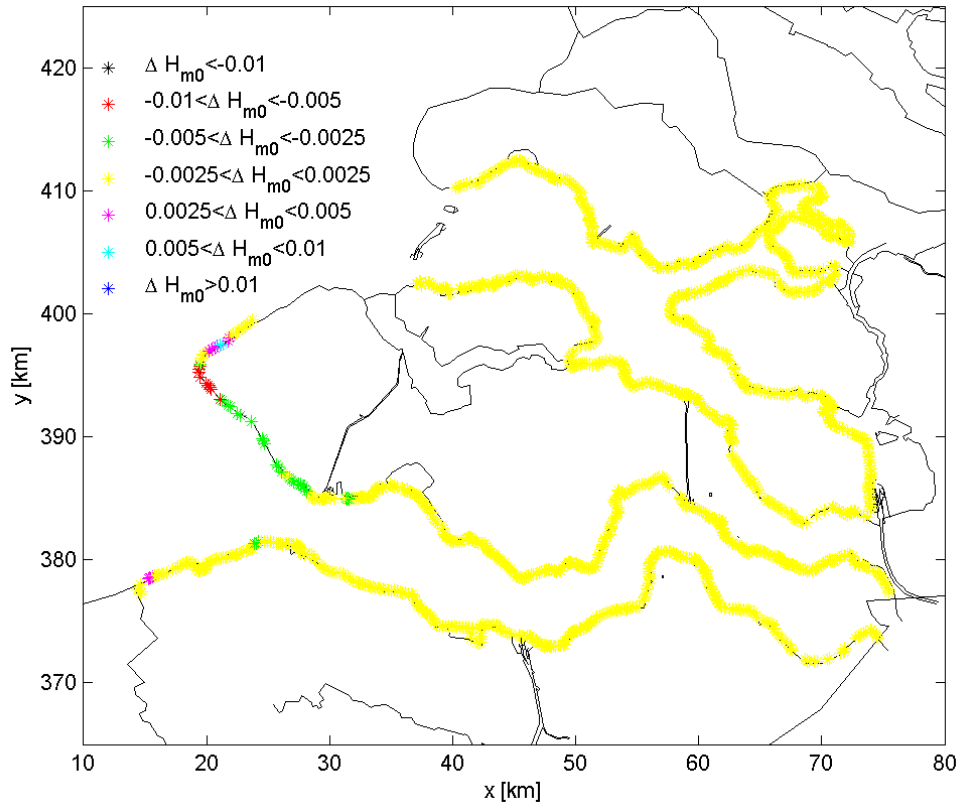
Figuur F-23 Absolute verschillen in significante golfhoogte H_{m0} (in m) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D315L060.



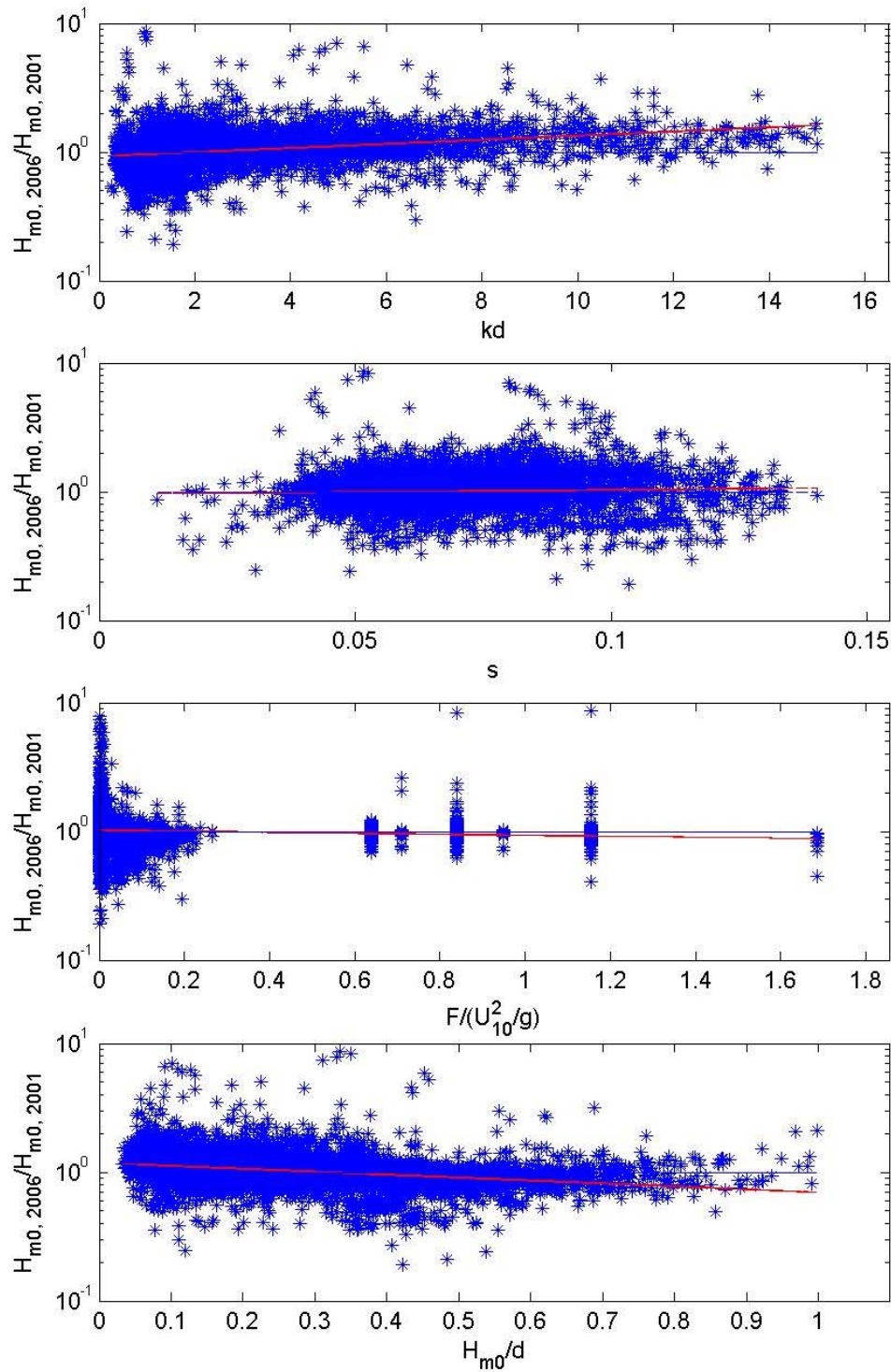
Figuur F-24 Absolute verschillen in gemiddelde golfperiode T_{m01} (in s) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D315L060.



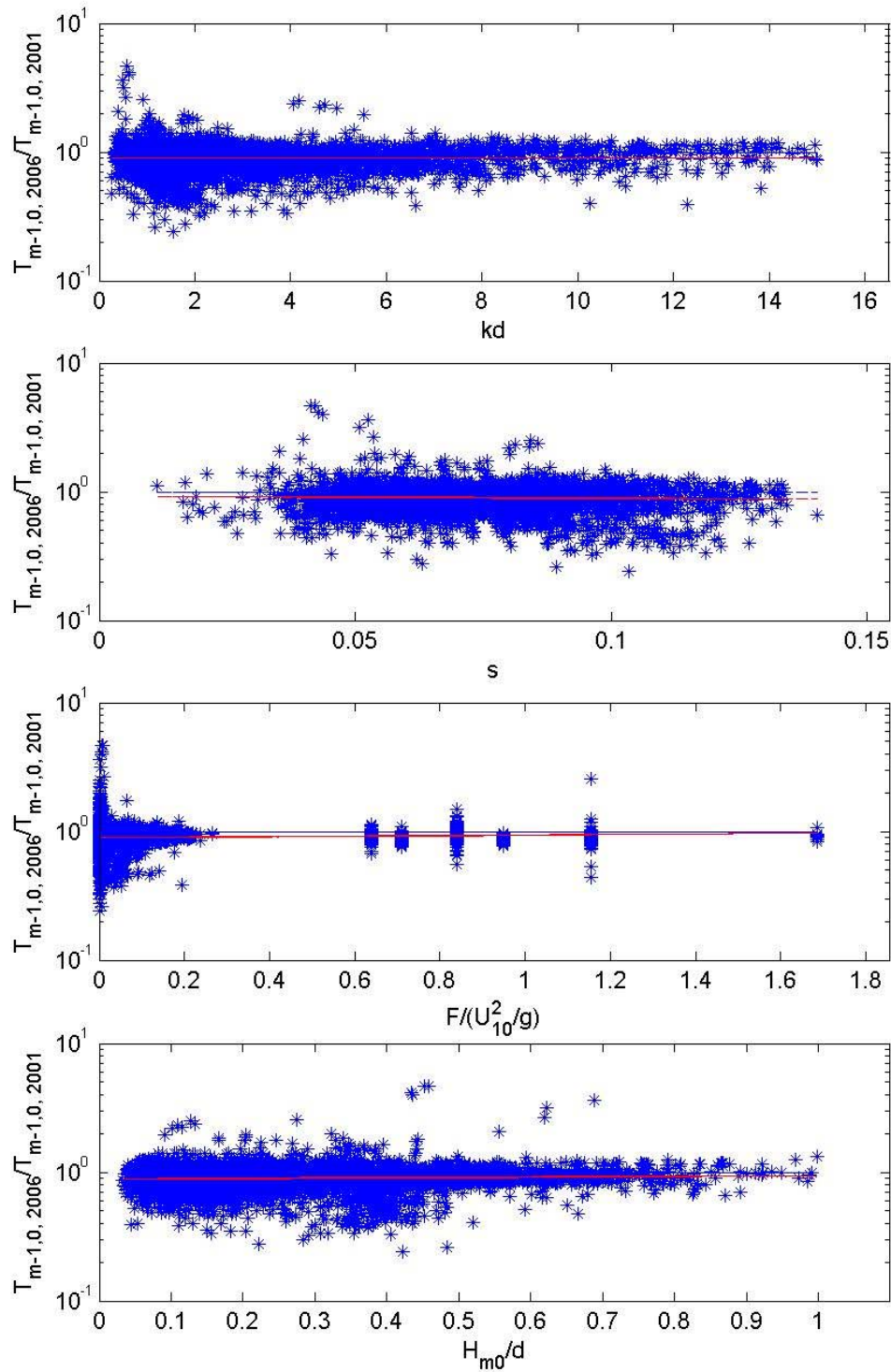
Figuur F-25 Relatieve verschillen in significante golfhoogte H_{m0} (boven) en gemiddelde golfperiode T_{m01} (onder) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D270L060.



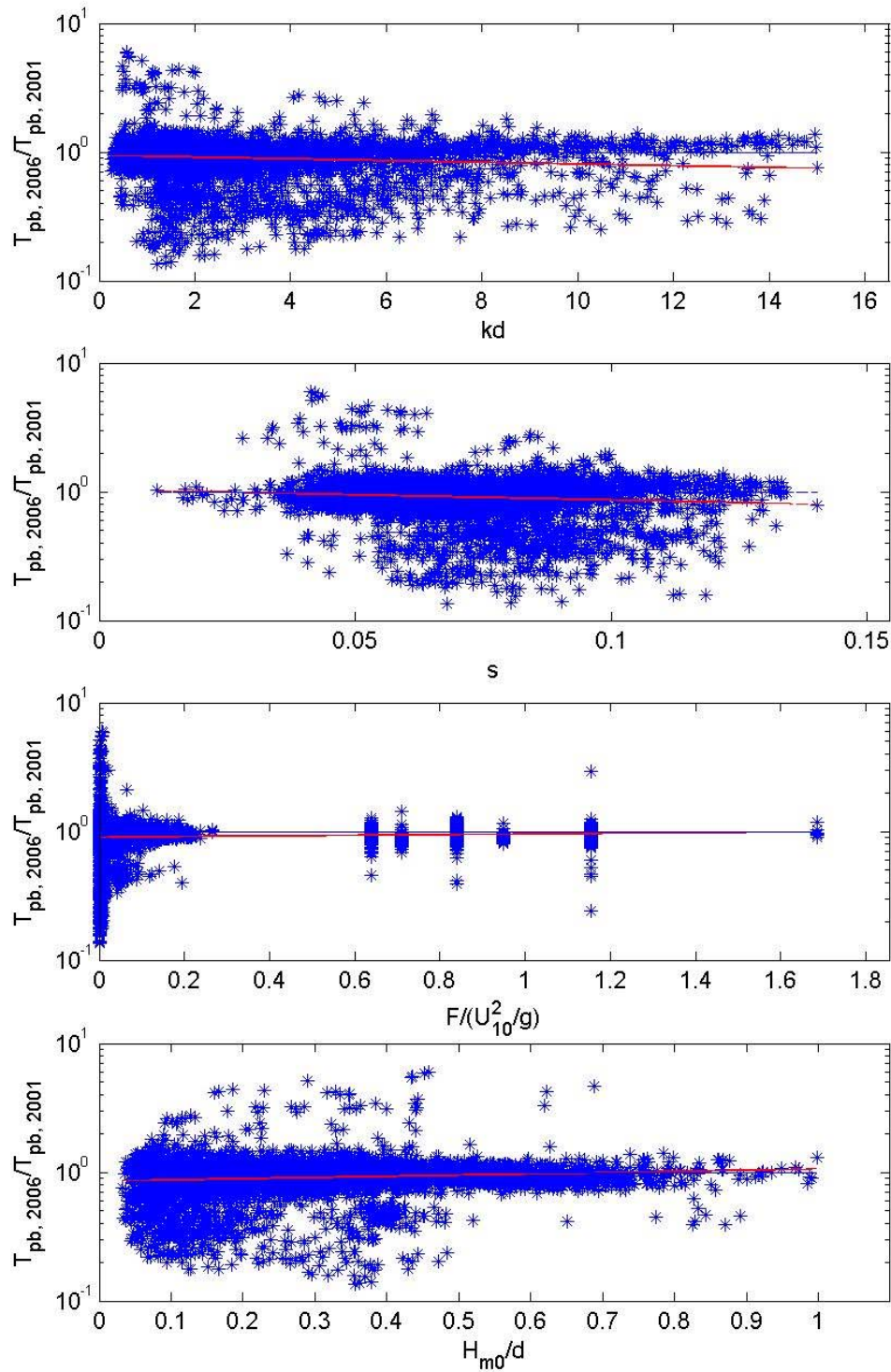
Figuur F-26 Relatieve verschillen in significante golfhoogte H_{m0} (boven) en gemiddelde golfperiode T_{m01} (onder) verkregen m.b.v. randvoorwaarden Set 1 en Set 0 voor de conditie K34D315L060.



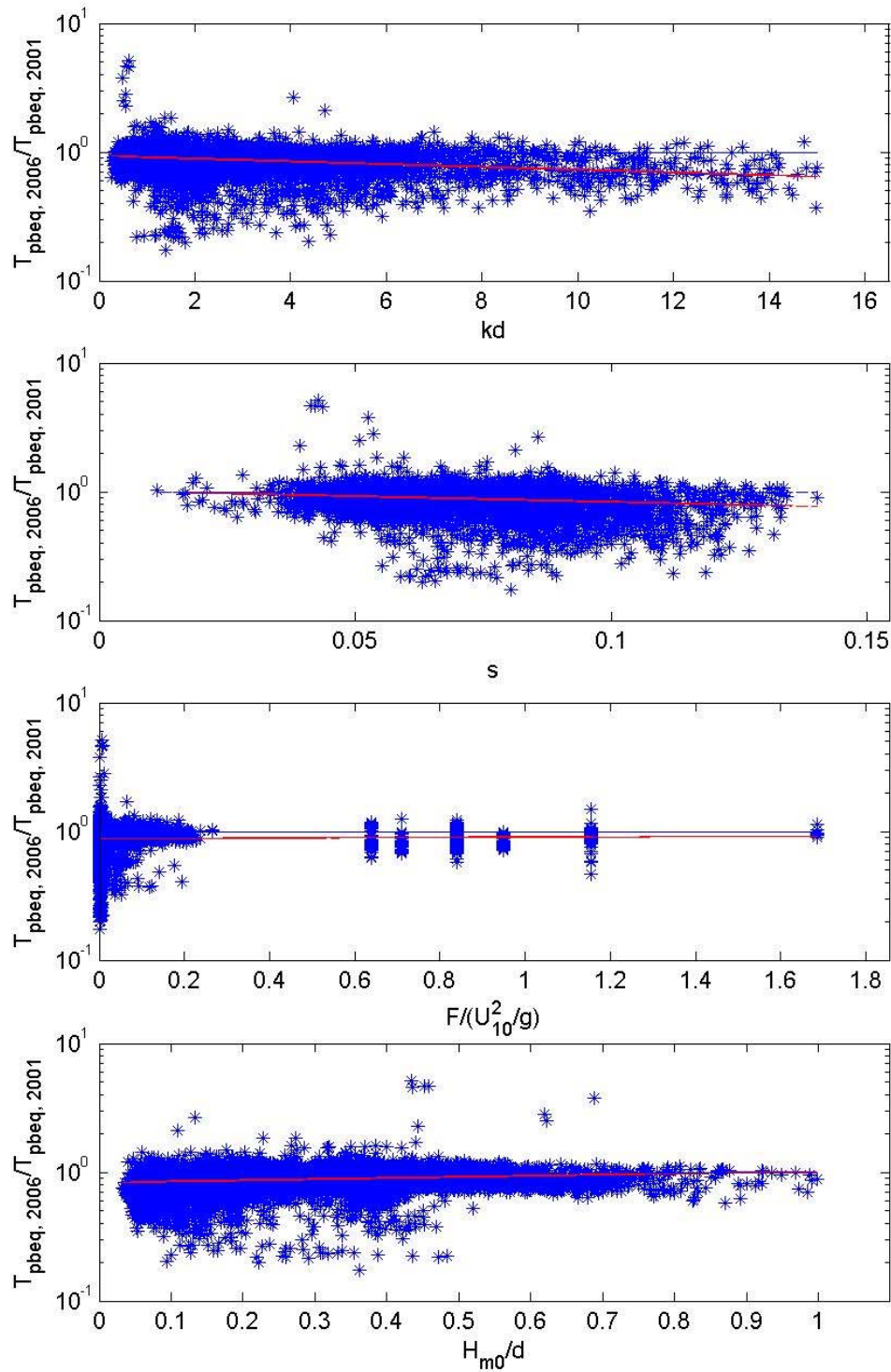
Figuur F-27 Quotiënten van H_{m0} berekend in 2006 (Fase 3) en 2001 uitgezet als functie van dimensieloze fysische parameters. Blauwe lijn geeft aan quotiënt gelijk aan 1, rode lijn is kleinste kwadraten benadering door punten op log-schaal.



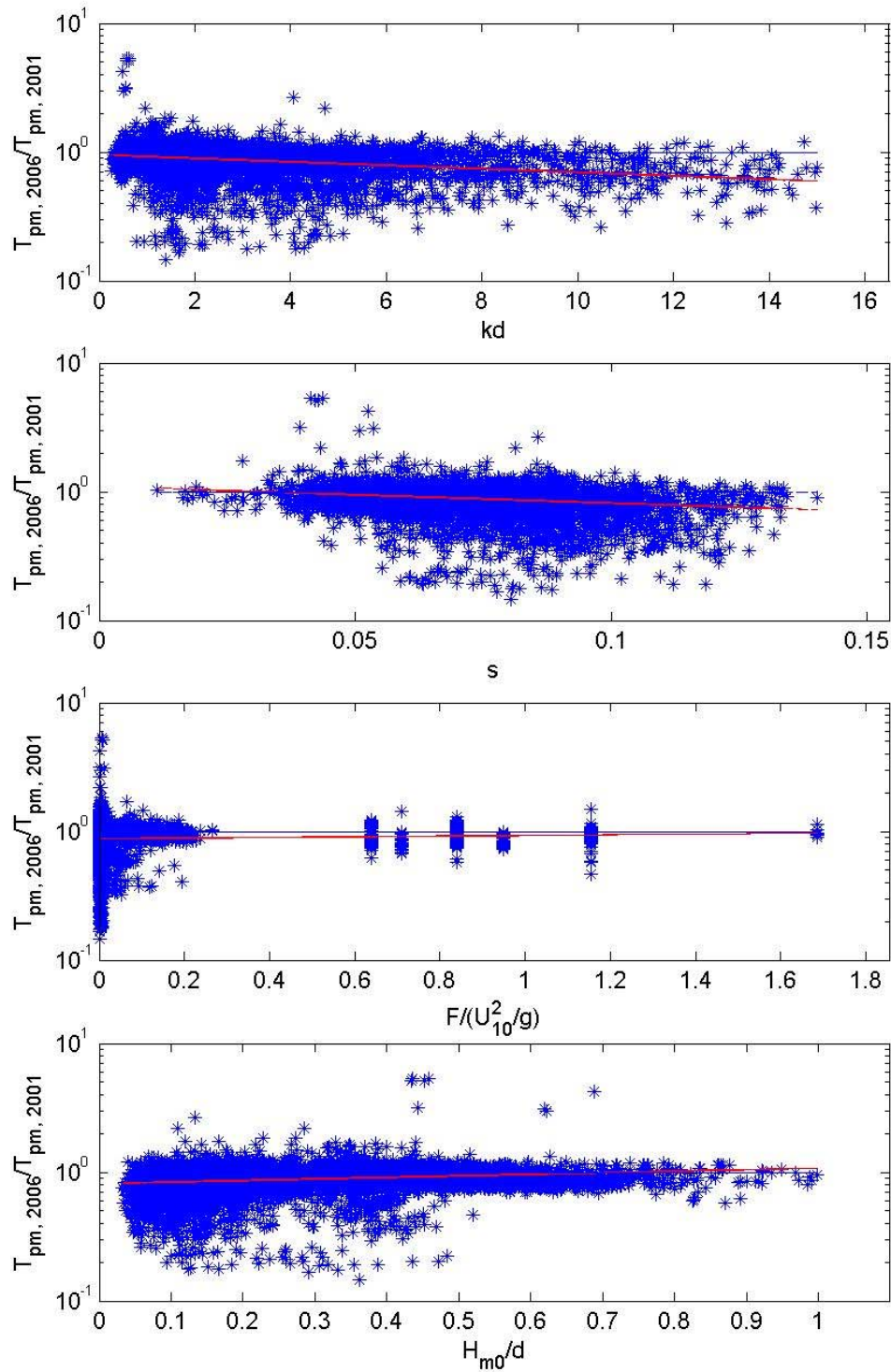
Figuur F-28 Quotiënten van $T_{m-1,0}$ berekend in 2006 (Fase 3) en 2001 uitgezet als functie van dimensioneloze fysische parameters. Blauwe lijn geeft aan quotiënt gelijk aan 1, rode lijn is kleinste kwadraten benadering door punten op logschaal.



Figuur F-29 Quotiënten van T_{pb} berekend in 2006 (Fase 3) en 2001 uitgezet als functie van dimensieloze fysische parameters. Blauwe lijn geeft aan quotiënt gelijk aan 1, rode lijn is kleinste kwadraten benadering door punten op logschaal.



Figuur F-30 Quotiënten van T_{pbeq} berekend in 2006 (Fase 3) en 2001 uitgezet als functie van dimensieloze fysische parameters. Blauwe lijn geeft aan quotiënt gelijk aan 1, rode lijn is kleinste kwadraten benadering door punten op logschaal.



Figuur F-31 Quotiënten van T_{pm} berekend in 2006 (Fase 3) en 2001 uitgezet als functie van dimensioneloze fysische parameters. Blauwe lijn geeft aan quotiënt gelijk aan 1, rode lijn is kleinste kwadraten benadering door punten op logschaal.



WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

