



SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust

Aansturing en controle ten behoeve van de Hydraulische
Randvoorwaarden 2006

Juli 2006

Colofon

Uitgegeven door: RWS-RIKZ/KWV

Informatie: A.T.M.M. Kieftenburg

Telefoon: 070 - 311 43 34
Email: annette.kieftenburg@rws.nl

Uitgevoerd door: A.T.M.M. Kieftenburg & M. Zijlema
Opmaak: vM-design, Delft

Datum: Juli 2006

Status: definitief

Versienummer: 2006.027

Inhoud

1. Inleiding en doelstelling	7
2. Gebied	11
2.1 Afbakening gebied Hollandse Kust	11
2.1.1. Algemeen	11
2.1.2. Maatgevende omstandigheden	12
2.2 Rekenrooster	13
2.2.1. <i>Algemene eigenschappen van en eisen aan het rekenrooster</i>	13
2.2.2. <i>De invloed van de statistiek op de diep waterrand van het rooster</i>	14
2.2.3. <i>De relatie met beschikbare bodemgegevens</i>	15
2.2.4. <i>Aanpassingen rooster Kuststrook model om te komen tot rooster voor de Hollandse Kust voor de HR2006 berekeningen</i>	16
2.2.5. <i>Kromlijinig versus genest rooster</i>	17
2.2.6. <i>Artefacten van het rooster</i>	17
2.2.7. <i>Vóór- en nadelen van het rooster</i>	18
2.3 Bodemrooster	19
2.3.1. <i>Het belang van de bodemligging</i>	19
2.3.2. <i>De dynamiek van de zeebodem</i>	19
2.3.3. <i>Het samenstellen van de bodem</i>	20
2.3.4. <i>Bodem van de ondiepe kustzone</i>	21
2.3.5. <i>Bodem van diepere kustzone</i>	22
2.3.6. <i>Bodem van de diep water zone</i>	23
2.3.7. <i>Constructie van het SWAN bodemrooster</i>	24
2.3.8. <i>De resulterende bodem</i>	25
2.3.9. <i>Verschillen in de bodem voor de HR-2006 en Rand2001</i>	25
2.4 Obstakels met transmissie	26
2.5 Samenvatting	27
3. Golfvoorspellingsmodel, aansturing en instellingen	29
3.1 Inleiding	29
3.2 Het golfvoorspellingsmodel	29
3.3 Statistiek van golven op diep water	31
3.4 Aansturende stochastcombinaties	32
3.4.1. <i>Keuzes voor het bereik van de verschillende stochasten</i>	33
3.5 Wind-, stromings- en waterstandsvelden	34
3.5.1. <i>Windveld</i>	34
3.5.2. <i>Stromingsveld</i>	35
3.5.3. <i>Waterstandsveld</i>	35

3.6	Inspeel- en randeffecten	35
	3.6.1. <i>Probleemschets</i>	35
	3.6.2. <i>Minimaliseren inspeleffecten</i>	36
	3.6.3. <i>Methode om te komen tot diepwaterrandvoorwaarden</i>	36
3.7	Fysische en numerieke instellingen	39
	3.7.1. <i>Numerieke instellingen</i>	39
	3.7.2. <i>Fysische instellingen</i>	39
3.8	Samenvatting	39
4.	Uitkomsten	41
4.1	Uitvoerlocaties en uitvoerpunten	41
	4.1.1. <i>Uitvoerlocaties voor HR-2006</i>	41
	4.1.2. <i>Aanvullende uitvoerpunten voor HR-2006</i>	42
	4.1.3. <i>Golfparameters voor HR-2006</i>	44
	4.1.4. <i>Aanvullende uitvoergegevens</i>	44
4.2	Automatische generatie invoer en dataverwerking	47
	4.2.1. <i>Invoer</i>	47
	4.2.2. <i>Uitvoer</i>	47
4.3	Correctiefactoren en controles	48
	4.3.1. <i>Correctiefactoren</i>	48
	4.3.2. <i>Controles</i>	49
	4.3.3. <i>Uiteindelijk oordeel</i>	53
4.4	Samenvatting	54

Appendix A:	Vergelijking tussen kromlijng en rechthoekige rekenroosters	A.1
Appendix B:	Verschillen in gebruikte bodems van HR2006 en RAND2001	B.1
Appendix C:	Golftransmissie IJmuiden (t.b.v. randvoorwaardenberekening RIKZ)	C.1
Appendix D:	Vergelijking tussen resultaat van P3 berekeningen en resultaat van extrapolatie vanuit P1 en P2 berekeningen	D.1
Appendix E:	Motivatie andere fysische SWAN instellingen in HR2006 project	E.1
Appendix F:	Voorstel correctiefactoren voor Hollandse Kust SWAN berekeningen in HR2006 project	F.1
Appendix G:	Programma roosterverfijning	G.1
Appendix H:	Lijst met scripts en mee te leveren bestanden	H.1
Appendix I:	Referenties	I.1

1. Inleiding en doelstelling

De Wet op de Waterkering (WoW) schrijft voor dat er iedere 5 jaar Hydraulische Randvoorwaarden (HR) moeten worden vastgesteld. Met deze Hydraulische Randvoorwaarden worden vervolgens de primaire waterkeringen getoetst volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) [1]. De Hydraulische Randvoorwaarden voor alle primaire waterkeringen worden verzameld in een randvoorwaardenboek. Voor een nieuw randvoorwaardenboek kunnen nieuwe getallen worden afgeleid, of voorgaande oude getallen worden overgenomen uit het vigerende Hydraulische randvoorwaardenboek [2] al dan niet na update of correctie.

Bij het afleiden van nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden wordt voor de harde waterkeringen gebruik gemaakt van een keten van modellen. Dit zijn modellen voor respectievelijk

- a) het afleiden van basisstatistiek van golven op diep water (+ waterstand en wind),
- b) het opschalen van deze statistiek naar extreme omstandigheden op diep water,
- c) het vertalen van deze extreme golfcondities op diep water naar de kust,
- d) de sterkte (of weerstand) van de kering, geformuleerd in zogenaamde 'grenstoestandsfuncties' en
- e) het probabilistisch berekenen van de maatgevende omstandigheden overeenkomstig de vigerende veiligheidsnorm voor het betreffende gebied.

Ad a) Het gaat hierbij om combinaties van golfhoogte, golfperiode, windsnelheid en -richting en waterstanden.

Ad b) Het opschalen van de statistiek op diep water gebeurt met Hydra-K [3]. Dit levert een verzameling (matrix) aan potentieel maatgevende combinaties van golfhoogte, golfperiode, windgrootte en -richting en waterstanden, op diep water.

Ad c) Voor al deze combinaties worden berekeningen uitgevoerd voor de vertaling van diep naar ondiep water. Dit gebeurt met behulp van het numerieke golfmodel SWAN [4]. De resultaten worden opgeslagen in de KustDB2006 database (zie [5]) en gecontroleerd met de bijbehorende applicatie.

Ad d) De formuleringen van de grenstoestandsfuncties zijn gebaseerd op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [1].

Ad e) Het gaat hierbij om combinaties van waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting aan de teen van de kering (harde waterkeringen). De randvoorwaarden van dijken worden afgeleid met behulp van het probabilistische rekenmodel Hydra-K.

Beslissingen over methoden, afbakening en dergelijke zijn genomen na overleg met technisch inhoudelijke experts (binnen en buiten

Rijkswaterstaat). Voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd voor de Hollandse Kust. Dit gebied omvat de kuststrook tussen Den Helder en Hoek van Holland.

Voor de Wadden en voor Zeeland zijn binnen deze studie geen berekeningen uitgevoerd. Voor Zeeland worden de getallen uit de Rand2001 database [6] overgenomen, na correctie voor het verschil tussen metingen en berekeningen. De precieze totstandkoming van deze getallen is vastgelegd in [7].

N.B. De getallen uit Rand2001 zijn destijds afgeleid voor het ontwerp van steenzettingen. Deze database is destijds Rand2001 genoemd, maar heeft geen connectie en moet niet verward worden met de HR2001.

Doelstelling

Ten behoeve van de HR2006 zijn veel berekeningen met het ondiep water golfvoorspellingsmodel SWAN uitgevoerd voor de Hollandse Kust. Deze berekeningen hebben als doel de golfcondities op diep water te vertalen naar ondiep water. De uitkomsten van deze berekeningen zijn ingevoerd in de KustDB2006 database. Het probabilistische programma Hydra-K bepaalt met de gegevens uit de KustDB2006 uiteindelijk de Hydraulische Randvoorwaarden voor het randvoorwaardenboek in de toetspunten.

Om een en ander reproduceerbaar te maken is het van groot belang dat voor de hele keten de diverse afbakeningen en keuzes vastgelegd worden. Dit document beperkt zich tot het vastleggen van de aansturing voor de berekeningen met SWAN voor de HR 2006 voor de Hollandse Kust en van de voorgeschreven controles van de uitkomsten. Hierbij wordt het kader gevormd door de besluiten die zijn genomen in overleg met de opdrachtgever, DG Water, op basis van de beschikbare middelen en tijd.

In dit document worden de uitgangspunten, keuzes en beslissingen vastgelegd die noodzakelijk zijn geweest voor het kunnen uitvoeren van de berekeningen met SWAN. Het moet voldoende achtergrondinformatie vastleggen om de gehele exercitie te kunnen reproduceren en voldoende handvat bieden voor nieuwe berekeningen voor een volgend randvoorwaardenboek. Het is overigens uitdrukkelijk niet de bedoeling om de rapportage zoals die is gemaakt door de opdrachtnemer bij de opdracht 'SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust' (zie [8], [9] en [10], RKZ-1488) te herhalen of over te doen. Wel zal waar nodig een en ander nader worden toegelicht en zo nodig worden aangevuld danwel tekstueel gecorrigeerd. Ook zal er melding worden gemaakt van zaken die aandacht behoeven voor de productie van een volgend randvoorwaardenboek.

In hoofdstuk 2 zal het gebied waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd worden beschreven. Vervolgens zullen de totstandkoming van het rekenrooster en het bodemrooster worden beschreven. Hoofdstuk 3 bevat de beschrijving van het gebruikte model, de op te leggen randvoorwaarden en de afleiding hiervan, evenals de gebruikte instellingen.

Ten slotte zal in hoofdstuk 4 de afhandeling van de uitvoer van de modelberekeningen worden behandeld. Hierbij komen de uitvoerdefinities aan de orde, de dataverwerking en de toepassing van correctiefactoren en controles.

Samengevat

Voor de Hollandse Kust zijn nieuwe golfberekeningen uitgevoerd. De in dit document vastgelegde methode voor de aansturing van SWAN geldt daarom ook alleen voor de nieuwe berekeningen ten behoeve van de HR 2006 voor het betreffende gebied.

N.B. De berekeningen zijn alleen noodzakelijk voor de harde primaire waterkeringen, daar de toets aangaande de zachte waterkeringen (duinen) gebruik maakt van de golfcondities op de 20 meter dieptelijn [1].

Het doel van dit document is tweeledig:

- 1) toelichten hoe en waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt, en vastleggen welke werkwijze er is gevolgd;
- 2) voldoende handvat bieden om de berekeningen met SWAN ten behoeve van de HR2006 voor de methodiek voor de Hollandse Kust te kunnen reproduceren.

2. Gebied

2.1 Afbakening gebied Hollandse Kust

2.1.1. Algemeen

Het gebied waarvoor nieuwe golfberekeningen zijn uitgevoerd voor de HR2006 is de Hollandse Kust. Dit bedoelde gebied loopt van Hoek van Holland tot Den Helder. Het gaat hierbij primair om de harde keringen in dit gebied. Het uiteindelijke rekengebied zal groter zijn dan het hier af te bakenen interessegebied van de berekeningen voor de Hollandse Kust. Hierover meer in paragraaf 2.2.

Den Helder

Kijkend op de kaart van De kop van Noord-Holland, inzoomend op Den Helder, blijkt al dat 'tot Den Helder' voor veler uitleg vatbaar is (zie Figuur 1). De Helderse Zeewering loopt vanaf het westen geheel door tot aan de haven van Den Helder (zie oranje pijlen in Figuur 1).

Figuur 1

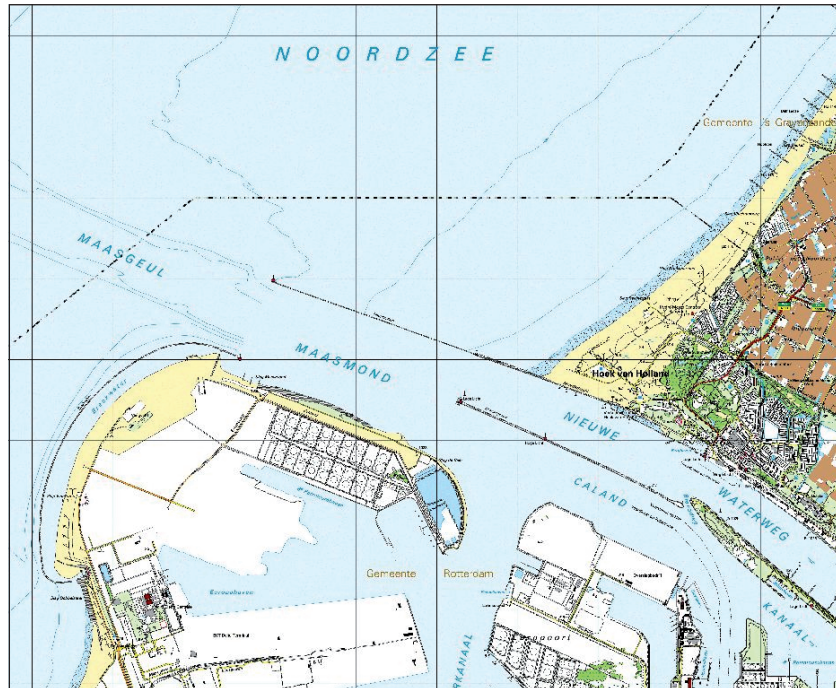
Den Helder en omgeving



De oriëntatie van de dijk verandert van west naar noord steeds. In het noordoosten grenst Den Helder aan de Waddenzee. Dit deel van de waterkering zou buiten het bestek van de berekeningen vallen als deze beperkt blijven tot de Noordzee. Het gebied tussen de Waddenzee en de Noordzee, het Marsdiep is bovendien een zeegat. Een dergelijk gebied heeft estuariumachtige eigenschappen die vergelijkbaar zijn met de Westerschelde in Zeeland. Stromingen spelen hier een belangrijke rol.

Figuur 2

Hoek van Holland en omgeving



Hoek van Holland

In het zuiden ligt de afbakening minder complex (zie Figuur 2). De Maasmond en een stukje van de Nieuwe Waterweg tot aan de Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg zijn in de nieuwe berekeningen voor de Hollandse Kust meegenomen. Direct landwaarts van de Maasmond kan RWS-RIZA in haar taak om aldaar randvoorwaarden af te geven, gebruik maken van de golfgegevens in de uitvoerpunten zoals die in de berekeningen voor de Hollandse Kust zijn meegenomen (zie hoofdstuk 4.1).

2.1.2. Maatgevende omstandigheden

Om maatgevende omstandigheden (combinaties van extreme wind uit diverse richtingen en waterstanden) te kunnen vaststellen, moeten nagenoeg alle richtingen uit de windroos worden meegenomen, ook voor de Hollandse Kust. De vervolgprogrammatuur (Hydra-K) vereist dit. Dit ondanks dat voor dit gebied duidelijk is dat oostelijke tot zuidelijke windrichtingen nooit maatgevend kunnen zijn, omdat het hier afluiddige wind betreft.

Den Helder

De Helderse Zeewering is zo gelegen dat voor elk deel van de zee-wering er mogelijk andere maatgevende omstandigheden zijn voor de verschillende faalmechanismen. Echter de kans van voorkomen van deze maatgevende omstandigheden, met zeer hoge waterstand en harde wind uit noordoostelijke tot oostelijke richting, is nihil. Bovendien zullen gezien de ondieptes in de Waddenzee en de maximale strijklengte golven opgewekt vanuit westelijke richting hoger zijn dan die uit oostelijke richting. Daarom zullen de westelijke windrichtingen maatgevend zijn.

Gezien de west-oost oriëntatie van het Marsdiep en de ligging van ondiepten zoals de Noorderhaaks in het westen, is voor de hoogte van de gehele Helderse Zeewering de westelijke windrichtingsector van belang. Voor de bekledingen lager op het talud, kunnen dat ook de noordoostelijke windrichtingsectoren zijn. Om deze windrichtingen optimaal door te rekenen zouden er berekeningen gedaan moeten worden die een voldoende groot gebiedsdeel van de Waddenzee mee nemen (namelijk tot aan een wantij). Echter een dergelijke exercitie valt buiten de berekeningen voor de Hollandse Kust. Bovendien is de kwaliteit van de SWANberekeningen voor dit gebied d.d. 2006 onzeker in verband met een gebrek aan metingen die nodig zijn voor de validatie van het model. Derhalve kan niet worden gecheckt of de oostelijke windrichtingen toch ergens maatgevend zijn. In de berekeningen voor de Hollandse Kust zal slechts een klein stuk van de Waddenzee worden meegenomen zodanig dat de Helderse Zeewering in zijn geheel binnen het beschouwingsgebied valt. Dit is in Figuur 5 geïllustreerd.

Er is voor gekozen om in de berekeningen voor de Hollandse Kust de Helderse Zeewering als één geheel te beschouwen. Er wordt derhalve geen knip gelegd of overgangsgebied bepaald waar de Helderse Zeewering overgaat van Noordzee naar Waddenzee, ondanks dat de maatgevende omstandigheden door de oriëntatie per deel anders kunnen zijn. Als bovengenoemde scheidingspunt al eenduidig te bepalen zou zijn, dan zou dit als vervelend neveneffect hebben dat er een knip moet worden gelegd in de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden en daarmee in de toetsing van de Helderse Zeewering. Twee nabij gelegen punten kunnen op deze manier andere getallen opleveren in het nieuwe randvoorwaardenboek, met als mogelijk gevolg dat bij het toetsen van de waterkering het ene deel wel en het ander deel niet wordt afgekeurd.

2.2 Rekenrooster

Om de SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust te kunnen maken is om te beginnen een rekenrooster nodig. Dit moet natuurlijk het gebied waarvoor Hydraulische Randvoorwaarden moeten worden afgegeven omvatten, maar kan eventueel groter zijn dan dat gebied. Ook de beschikbaarheid van diverse soorten gegevens speelt een rol. Zo moeten er onder meer bodemgegevens in het gehele rekengebied beschikbaar zijn, met voldoende resolutie. Ook moeten er voldoende statistische gegevens beschikbaar zijn voor de diepwater-randvoorwaarden op de diepwaterlocaties om SWAN mee te kunnen aansturen. Aan de kustzijde moet de kustlijn vastgelegd worden om te kunnen bepalen tot hoever landinwaarts het rooster moet lopen. Een en ander zal hieronder nader worden toegelicht.

2.2.1. Algemene eigenschappen van en eisen aan het rekenrooster

Voor de berekeningen ten behoeve van de HR2006 voor de Hollandse Kust is gekozen voor één kromlijng rooster, en wel zodanig dat de hele

kustlijn nauwkeurig beschreven is. Met de huidige versie van SWAN (zie hoofdstuk 3.1) en de stand der techniek (computer capaciteit, snelheid en geheugen) is het niet meer noodzakelijk om meerdere geneste roosters uit te voeren, zoals destijds voor de berekeningen voor Rand2001 is gedaan.

Het nesten was bij de berekeningen uit Rand2001 [6] nog nodig om de gewenste resolutie te halen bij enkele harde keringen aan de kust. Dit had onder meer als nadeel dat er vele berekeningen moesten worden gedaan, dat informatie over detailgebieden meerdere malen moest worden opgeslagen, en mogelijk inconsistentie vertoonde, en dat de kans op het maken van fouten werd vergroot. Ook was het aantal gebieden dat met detail kon worden doorgerekend beperkt.

Het voor HR 2006 gebruikte kromlijnige rooster is gebaseerd op het Kuststrookmodel [11] (veelal toegepast voor berekeningen met het waterbewegingsmodel WAQUA). Aan de kustzijde van het rooster zijn nog één of meer rijen cellen landwaarts toegevoegd, om voldoende dicht bij de kust uitvoerpunten te kunnen definiëren (zie hoofdstuk 4.1). Gekozen is om het rooster aan de kustzijde uit te breiden tot aan de NAP + 7 meter lijn in geval van duinen en tot aan de top van de dijk in geval van harde constructies. De keuze voor de NAP +7 meter lijn voor duinen is een gevolg van de maximaal mee te nemen waterstand (zie hoofdstuk 3.4). Tevens is het rooster uitgebreid in de Nieuwe Waterweg tot aan de Stormvloedkering (zie paragraaf 2.1).

Dit relatief 'grove'¹, aan de kust uitgebreide rooster is voor de golfberekeningen verfijnd. Hierbij geldt dat, anders dan voor stromingsberekeningen, er juist een hoge resolutie noodzakelijk is aan de kustzijde, en er met grovere cellen kan worden volstaan aan de diep waterzijde van het rekengebied. Verder is voor de resolutie bij de kust kustlangs aansluiting gezocht bij de gewenste ligging van de uitvoerlocaties (zie hoofdstuk 4). Hierbij dienen er voldoende rekenpunten te liggen in de laatste meters naar de kust toe. Dit komt neer op een resolutie van 100 tot 250 m kustlangs (eis vanuit uitvoerpunten, zie hoofdstuk 4) en 20 m kustdwars (om de bodem voldoende nauwkeurig te kunnen meenemen, zie hoofdstuk 2.3), dicht bij de kust. De grootte van het uiteindelijke rekenrooster is zodanig dat het nog hanteerbaar is binnen redelijke marges (die sterk afhankelijk zijn van de stand der techniek). Het maximale aantal roosterpunten is afhankelijk van het gebruikte rekenplatform, met zijn beschikbare geheugen en het aantal beschikbare processoren.

2.2.2. De invloed van de statistiek op de diep waterrand van het rooster

De SWAN berekeningen zijn aangestuurd op basis van golfstatistiek [12]. De plaats van de meetpunten waar deze statistiek beschikbaar

¹) Voor waterbeweging is dit model juist fijn te noemen.

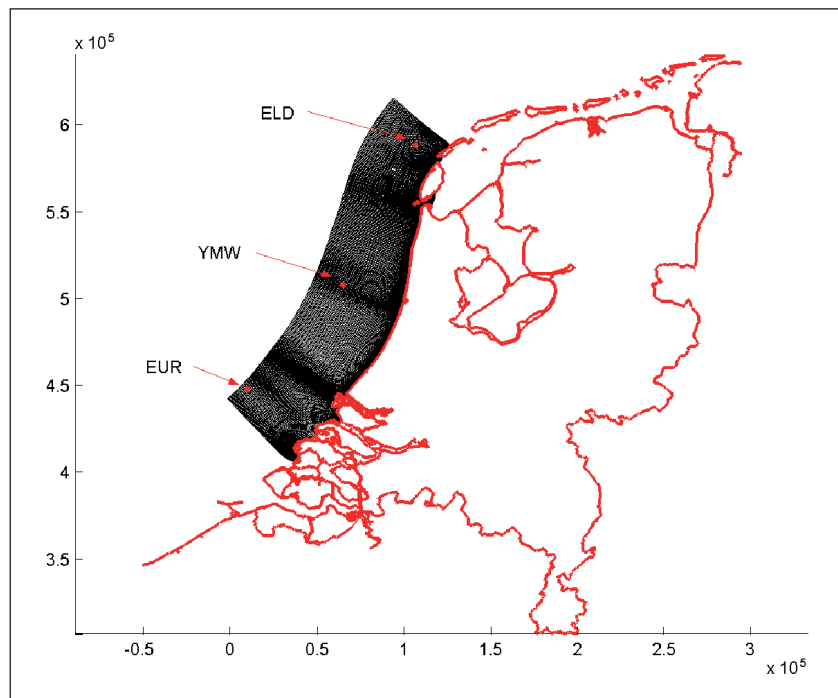
is, bepaalt mede ook de grootte van het gebied waarvoor het rekenrooster moet worden gemaakt. Er zijn drie meetlocaties in het betrokken gebied waarvoor de statistiek is afgeleid: Europlatform (EUR), IJmuiden West (YMW) en Eierlandse Gat (ELD). Deze punten zijn meegenomen als aansturingpunten en vallen derhalve binnen het rekenrooster, danwel op de zeerand van het rekenrooster. Omdat het echter te verwachten is dat SWAN hinder ondervindt van inspeleffecten op de rand, is ervoor gekozen om de meetpunten (ruim) binnen het rooster te laten vallen. Bij het opleggen van de randvoorwaarden is als uitgangspunt genomen dat de in de meetpunten afgeleide statistiek wordt gereproduceerd. Dit heeft tot gevolg dat een groot deel van het rekenrooster zuidelijker ligt dan tot waar de uitvoerpunten voor de Hollandse Kust voor de HR-2006 liggen. Meetpunten YMW en ELD liggen relatief ondiep en dicht bij de kust. Er is besloten om voor ELD de nodige marge te nemen door de rand van het rekenrooster iets noordelijker te leggen dan ELD zelf. Dit is noodzakelijk om het model 'de gelegenheid te geven' zich zo in te stellen dat de statistiek in de meetpunten juist zal zijn. Voor YMW en ELD is het tevens noodzakelijk een vertaling te maken van het meetpunt naar de rand van het rekenrooster om de statistiek te kunnen gebruiken als aansturing van de berekeningen voor de HR2006. Hoe dit is aangepakt, zal in hoofdstuk 3.6 over de inspeel- en randeffecten worden aangegeven.

2.2.3. De relatie met beschikbare bodemgegevens

Het rekenrooster moet kunnen overlappen met het bodemrooster. Verder moet de resolutie van het rekenrooster nabij de kust niet fijner zijn dan het bodemrooster. Uitvoerlocaties dienen iedere 100 tot 250 meter kustlangs gegenereerd te worden, 100 meter uit de kruin van de dijk of op vaste dieptelijnen voor de duinen (zie hoofdstuk 4).

Figuur 3

Kromlijinig rekenrooster voor de uitsnede van het Kuststrook model
Dit rooster telt 397×98 cellen
De rode punten geven de locaties van de offshore-stations weer (ELD, YMW en EUR).



2.2.4. Aanpassingen rooster Kuststrook model om te komen tot rooster voor de Hollandse Kust voor de HR2006 berekeningen

Zoals genoemd is het Kuststrookmodel (versie 3) de basis voor het rooster zoals dat gebruikt is voor de berekeningen voor de HR2006. Dit kromlijnige rekenrooster is een onderdeel van de modellentrein 'Van Oceaan tot de Nederlandse Binnenwateren' [11]. Dit rooster wordt gebruikelijk toegepast voor WAQUA berekeningen.

Er is een uitsnede gemaakt voor het gebied van Vlieland tot Schouwen-Duivenland. De breedte van het rooster is ongeveer 60km. Het oorspronkelijke Kuststrookmodel rooster bevat 397×98 cellen. (zie Figuur 3). Merk op dat de locaties van de offshore-stations ELD, YMW en EUR binnen het rooster vallen. Nabij de kust heeft een roostercel gemiddeld een afmeting van 900m (kustlangs) en 400m (kustdwars). Het onderhavige rooster is aldus te grof en moet derhalve worden verfijnd. Ook dient het rooster aan de kustzijde te worden uitgebreid, conform de gestelde eisen uit paragraaf 2.2.1.

Omdat het rooster nog van een hanteerbaar formaat moet zijn, is het niet mogelijk om de bovengenoemde uitsnede in één keer met (per richting) één en dezelfde factor te verfijnen. Om nu toch tot de benodigde resolutie te komen is er roosterverfijning toegepast op een meer geavanceerde manier [zie Appendix G].

Het Kuststrook model is in één keer met een factor 5 in kustlangse richting verfijnd. In kustdwarse richting zijn er zeven stroken gedefinieerd met een naar de kust toe steeds groter wordende verfijningsfactor (zie tabel 1). In de laatste strook liggen erg veel droge punten die niet meegenomen worden in de berekeningen. Dit is een gevolg van het gebruik van het Kuststrookmodel en de gevolgde verfijningsmethodiek die noodzakelijk is om het rooster geschikt te maken voor golfmodellering. Immers eerst worden in het grove model cellen toegevoegd, waarna ze worden verfijnd. Dit is dan ook de verklaring voor de grote hoeveelheid cellen in strook 7 ten opzichte van de overige stroken.

.....
Tabel 1

Toegepaste verfijning op uitgebreide Kuststrookmodel kustdwars

Strook	1	2	3	4	5	6	7
Cellen in strook	7	7	6	7	6	6	59
Begin- en eindpunt	1-7	8-14	15-20	21-27	28-34	34-40	41-99
Factor	1	2	3	4	6	8	10

Het zo resulterende rooster heeft 1980 cellen in de kustlangse en 740 in de kustdwarse richting. De overgang van de resolutie van de ene naar de andere strook mag niet te abrupt zijn. Dit zou tot vreemde uitkomsten kunnen leiden in een fysisch-mathematisch model, zoals het golfvoorspellingsmodel. Na het verfijnen is daarom lokaal een smoothing procedure uitgevoerd.

De verhouding van de roosterafstanden dx en dy mag maximaal ongeveer 1 op 8 danwel 8 op 1 zijn. Ook dit is een algemene numeriek-wiskundige vuistregel. Dit zal mogelijk niet overal gehaald worden. Voor de golfberekeningen voor de Hollandse Kust is deze verhouding met name belangrijk bij veel variatie in de bodem en bij de uitvoerpunten.

Uit proefberekeningen [8] bleek het noodzakelijk om het rooster aan de diepwaterrand nog enigszins te verfijnen, ter voorkoming van artefacten in de resultaten van de berekeningen ten gevolge van te langgerekte rekencellen. Het uiteindelijke rooster telt 1980×768 cellen. Het totale rekenrooster telt dus 1.523.389 roosterpunten waarvan 650.744 dus ongeveer 44% natte roosterpunten zijn (dat wil zeggen geen permanent droogvallende landpunten).

Met een resolutie in frequentieruimte van 38 en richtingsruimte van 36 cellen komt dit neer op een intern geheugen dat nodig is van $841 \text{ Mwoorden} \times 4 \text{ bytes} = 3,4 \text{ GB}$ (op basis van alleen de natte rekencellen).

2.2.5. Kromlijng versus genest rooster

In een korte studie [zie Appendix A] is gecontroleerd of het kromlijngige rooster en de geneste rechthoekige roosters (conform de aanpak voor Rand2001) tot dezelfde resultaten leiden. Hiertoe zijn twee cases zijn in beschouwing genomen, te weten een milde en een extreme stormsituatie. De uitkomst van het onderzoek is dat de geconstateerde verschillen tussen de modelresultaten verkregen op verschillende rekenroosters marginaal zijn met, zoals verwacht, uitzondering van het grofste rechthoekige rekenrooster (N02 in Rand2001). Tevens is geconstateerd dat de relatief hoge aspectratio (= dx/dy) in het kromlijngige rekenrooster aan de kustzijde de resultaten niet beïnvloed. Verfijning in kustlangse richting van het kromlijngige rekenrooster geeft geen andere resultaten.

De conclusie is dat modelresultaten verkregen op het naar de kust toe verfijnde kromlijngige rekenrooster voor HR2006 van een even goede kwaliteit zijn dan die verkregen met een reeks van geneste rechthoekige. Daarbij dient te worden opgemerkt dat het gebruik van het kromlijngige rooster het uitvoeringsproces vereenvoudigt waarbij de kans op fouten kleiner wordt.

2.2.6. Artefacten van het rooster

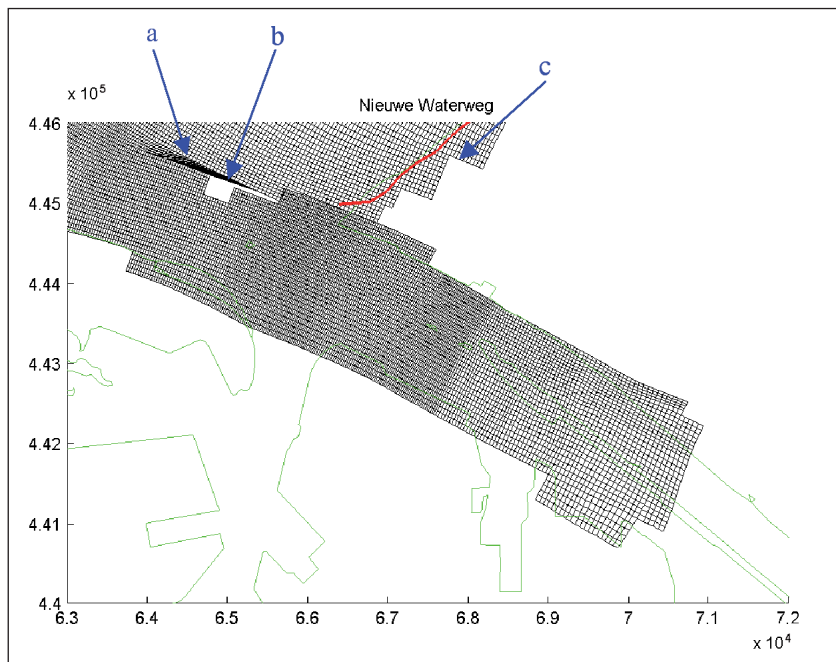
Doordat het hierboven geconstrueerde rooster niet vanaf niets is opgebouwd, maar gebaseerd is op een bestaand rooster, zijn er een aantal zaken aan te wijzen die niet geheel aansluiten bij de normale voordelen van een kromlijngige rooster.

- Zo volgen de roostercellen aan de kustzijde niet de kustlijn, maar is er een trapjesrand te zien (zie Figuur 4, bij pijl c). Dit patroon is op enkele plaatsen erg grof. Dit is een eigenschap van het originele rooster [11]. Dit heeft desalniettemin weinig tot geen effect op de modelresultaten omdat het rooster is uitgebreid tot de NAP +7 m lijn (dus voorbij de land-waterovergang).

- Doordat er verschillende soorten roosters aan elkaar zijn geplakt, ontstaat er bij de Noorderdam een vreemd soort gat in het rooster (zie Figuur 4, bij pijl b). Ook dit is een eigenschap van het originele rooster en heeft te maken met de beperking van het vullen van de matrix voor het WAQUA-rooster (zie [11]).
- Tevens is de celvorm op de overgangsrandsoms wat verschillend van vorm. Bij verfijning levert dit als bijkomende eigenaardigheid op dat er zeer spitse cellen ontstaan bij de Noorderdam (zie Figuur 4, bij pijl a). Dit effect is echter zeer lokaal.

Figuur 4

Uitsnede van het rekenrooster
rondom Nieuwe Waterweg



De proefberekeningen en de berekeningen (zie [8, 9 en 10]) laten zien dat een en ander geen negatieve invloed heeft op de uitkomsten.

2.2.7. Vóór- en nadelen van het rooster

Voordelen van dit verfijnde rooster en de gevolgde werkwijze zijn:

- + Er is één rekenrooster (geen nesting nodig).
- + Met hogere resolutie waar nodig, lager waar het kan.
- + Aldus geen overkill aan informatie op dieper water.
- + Er zijn zo geen problemen met bodemresolutie op dieper water,
- + Grotendeels geen beperkingen in roostergenerator.
- + Het rooster is prima herbruikbaar
zo kunnen WAQUA berekeningen op het grovere rooster zonder interpolatie worden ingevoerd op het rooster (als stromingen anders dan hier voor de HR2006 wel een rol spelen).

Nadelen zijn:

- De opslag van uitvoergegevens in block format (hierna blockuitvoer genoemd; zie hoofdstuk 4.1.4) voor het hele rooster is in KustDB2006 niet mogelijk. Er is daarom als het gaat om blockuitvoer voor het hele gebied gewerkt met een uitgedund rooster. Nabij de kust is voor blockuitvoer gewerkt met deelroosters.

-
- Het smoothen (zie 2.2.4) is handwerk, en daarom tijdrovend.
 - Door de gekozen basis van het kuststrookmodel zijn een paar artefacten aan te geven.

2.3 Bodemrooster

Er zijn een aantal uitgangspunten van algemene aard waaraan het voor HR2006 gedefinieerde bodemrooster voldoet:

- Het bodemrooster heeft een overlap met het gehele rekenrooster (zie hoofdstuk 2.2 voor details). De bodem loopt daarom kustlangs door van EUR dat in diep water staat, tot voorbij de meetstations YMW en ELD, die zijn gelegen op ongeveer -25m NAP. Aan de kustzijde zijn zowel de dijk, als de duinen in de bodeminformatie meegenomen: dijken tot aan de kruin, en duinen tot de NAP+7 meterlijn, hetgeen neerkomt op het meenemen van de eerste duinenrij.
- Het bodemrooster is net als het rekenrooster kromlijnig.
- De resolutie van het bodemrooster sluit aan op het rekenrooster, zodanig dat er geen interpolatie binnen SWAN nodig is.
- De bodem is reproduceerbaar, dat wil zeggen afgeleid van de basisgegevens.

2.3.1. Het belang van de bodemligging

Bij het maken van golfberekeningen is de te gebruiken bodem een belangrijk gegeven. De ligging van ondieptes kan bijvoorbeeld een sterk reducerende werking hebben op de golfhoogte. Gedetailleerde informatie over de ligging van zandbanken en harde constructies is daarom van groot belang.

Harde constructies zoals strekdammen en havenhoofden zijn voor het grootste deel echter niet in de bodem verdisconteerd, en zullen derhalve apart moeten worden beschouwd (zie verderop in dit hoofdstuk, in hoofdstuk 2.4 en 4.1).

Langs de Hollandse Kust liggen twee dijkvakken, te weten de Hondsbossche/Pettemer Zeewering en de Helderse Zeewering. Naast deze twee harde weringen ligt er nog een kering in de Nieuwe Waterweg. De bodem voor deze kering heeft echter geen reducerende werking op de golven aangezien deze waterweg op grote diepte gehouden wordt. De rest van de Hollandse Kust bestaat uit zachte zeeweringen in de vorm van duinen. Wel zijn er in het noorden en zuiden kribben voor de duinen aanwezig.

2.3.2. De dynamiek van de zeebodem

De ligging van de zeebodem is variabel en ligt er van jaar tot jaar anders bij. De dynamica van de bodem varieert echter sterk: hoe dichterbij de kust hoe dynamischer. Daarom zijn er een drietal zones onderscheiden:

- de ondiepe kustzone: binnen de kribvakken, en kustlangs waar geen kribvakken zijn van NAP-3 m tot NAP+3 m,
- de diepere kustzone buiten de kribvakken van NAP-3 m tot NAP-7 m en
- de diep water zone van NAP-7 m en dieper.

Belangrijk is het om vast te stellen dat het voor het randvoorwaardenboek gaat om toetswaarden voor zeekeringen, en dus niet om ontwerpwaarden. Voor ontwerpwaarden wordt uitgegaan van een langere planperiode, en van meer ongunstige extreme omstandigheden. Voor toetsen wordt uitgegaan van gemiddelde of verwachte extreme omstandigheden. Voor de bodem kan hier, analoog aan de methode voor het toetsen van rivierdijken, worden volstaan met het vaststellen van een (gemeten) representatieve bodem. De onderbouwing hiervoor zal in de volgende paragraaf uitgebreid aan de orde komen. Toetsing van de rivierdijken vindt plaats op basis van de laatst gemeten bodemgegevens. Echter gezien de snelle veranderingen in de ondiepe kustzone zijn de laatste metingen in dit gebied niet representatief. Hier zal daarom wél een gemiddelde bodem samengesteld dienen te worden over een gekozen periode uit het recente verleden.

2.3.3. Het samenstellen van de bodem

De keuze voor de samenstelling van de bodem voor harde weringen is gebaseerd op conclusies uit studie [13] door Alkyon. De uiteindelijke conclusie is dat het mogelijk is om de golfmodelberekeningen voor de HR 2006 uit te voeren met één goed gekozen bodem die representatief is voor de huidige omstandigheden. Op basis van de beschouwde beschikbare bodemdiepte gegevens vonden zij:

- 1) geen wezenlijke verschillen zijn tussen winter- en zomerprofielen,
- 2) voor golfcondities in het kribvak lichte tot geen afhankelijkheid van de golfcondities buiten het kribvak, en
- 3) dat het mogelijk is om voor de bodem een bepaald jaar te kiezen waarin de gemiddelde golfperioden per raai dicht bij de gemiddelde waarden over een aantal jaren liggen.

De betreffende representatieve bodem bestaat uit:

- één over een aantal jaren gemiddelde bodem in de ondiepe kustzone, dus binnen de kribvakken, en
- één bestaande bodem (i.e. zoals gemeten in een bepaald jaar) voor de diepere kustzone buiten de kribvakken.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze conclusies zijn gebaseerd op een beperkte hoeveelheid bodemdata. Niet alle kennisleemtes kunnen met deze data worden ingevuld.

Het advies moet worden uitgebreid voor die delen van de Hollandse Kust waar geen kribvakken liggen. Hier zullen in de strook van NAP-3m tot NAP +3m in kustlangse richting de gegevens worden bepaald uit de gemiddelde bodem (zie 2.3.4). Hiermee wordt de methodiek voor de zone met kribvakken doorgezet voor die delen voor de Hollandse Kust waar geen kribvakken zijn.

De resulterende bodem voor het ondiepere water zal worden uitgebreid met gegevens voor de diepwaterzone.

2.3.4. Bodem van de ondiepe kustzone

Bodemvariaties

De ondiepe kustzone tussen de voet van de zeevering of de duinvoet tot NAP -2 à -4 m (i.e. tot het zeewaartse eind van de kribvakken) is erg dynamisch: hier treden grote en snelle veranderingen (tijdens stormen in de orde van uren) op in bodemligging. De invloed van stormen, seizoensvariaties en bankcycliciteit dragen alle bij aan deze bodemveranderingen. De bodem van de Hollandse Kust wordt echter éénmaal per jaar opgenomen (JARKUS lodingen). In deze bodemdata zit wel de bankcycliciteit, maar storm- en seizoensvariaties worden in mindere mate vastgelegd in de jaarlijkse opnames. Zeker aangezien de opnames voornamelijk bij rustig weer plaatsvinden.

Invloed van banken

De banken in de ondiepe kustzone hebben (nog) geen grote hoogte maar zijn mogelijk wel van belang bij het bepalen van een gemiddelde bodem in het kribvak. De periode van de cyclus waarin de banken zeewaarts verplaatsen en verdwijnen in diep water en landwaarts weer ontstaan varieert langs de Nederlandse kust. Er bestaan twee typen banksystemen langs de Hollandse Kust die zich onderscheiden in de periode waarmee ze nabij de waterlijn ontstaan en zeewaarts verdwijnen. Ten zuiden van IJmuiden is deze cyclus ongeveer 4 jaar, ten noorden van IJmuiden ongeveer 15 jaar.

Door de middeling van de gemeten ondiepe kustzone langs de hele Hollandse Kust over meerdere jaren wordt de grote variatie in deze zone uitgemiddeld tot een meer representatieve bodem. Nadeel is wel dat intergetijde banken worden weggemiddeld, terwijl deze banktoppen een rol kunnen spelen bij de reductie van golven.

Aangroeiende en terugschrijdende kust

Hiernaast is er in de ondiepe kustzone nog een variatie in de bodem waarneembaar bij aangroeiende of terugschrijdende kust. Deze variatie vindt niet zozeer verticaal maar voornamelijk in de horizontaal plaats. Zo komt er bij de zuidkust van Texel en de Haringvliet in de ondiepere kustzone steeds een ondieper stuk bij. De gemiddelde bodem is in een dergelijke situatie niet representatief. Er is gekozen om hier de laatste loding voor dergelijke zones te nemen, ondermeer om geen aansluitingsproblemen te krijgen met bodemmetingen voor het diepere stuk.

Over welke periode middelen

Het blijkt lastig om op basis van beschikbare gegevens en kennis van de processen in de ondiepe kustnabije zone (zie hierboven) een keuze te maken voor een representatieve bodem. De volgende drie middelingsperiodes liggen het meest voor de hand:

1) Middelen over de afgelopen 5 jaar:

Deze keuze levert de op dit moment meest actuele bodem die aansluit bij de representatieve niet gemiddelde bodem (uit 1999) van buiten het kribvak (zie paragraaf 2.3.5).

2) Middelen over de afgelopen 10 jaar:

De periode van 10 jaar is gelijk aan de periode waaruit de trend wordt bepaald voor de BasisKustLijn (BKL).

3) Middelen over de periode vanaf 1990:

In dit geval wordt gemiddeld over de gehele periode sinds het veranderde kustbeleid: vasthouden van de BKL uit 1990.

Dit impliceert dat de bodem over alle bestaande metingen sinds het vaststellen van de BKL van belang zouden kunnen zijn. Dit kan zo zijn als er geen duidelijke trend is die op een veranderd systeem wijst.

Gekozen is om de periode van middeling te koppelen aan BKL regel. Dus een middeling van de bodem in de kustnabije zone over de afgelopen 10 jaar, in dit geval vanaf 1994 tot en met 2003.

Resolutie van te gebruiken bodemgegevens

In de ondiepe kustzone kunnen de diepteverschillen over een kleine afstand groot zijn. Ideaal zou zijn de bodem in deze zone vast te leggen met een rooster van 20m x 20m, omdat met deze resolutie de diepteveranderingen in de ruimte goed worden vastgelegd. Dit is belangrijk omdat juist de ondiepe kustzone grote invloed heeft op de golfreductie. In de kribvakken en ondiepe kustzone zijn gegevens beschikbaar langs de Hollandse Kust die éénmaal per jaar zijn opgenomen. Om een bodem samen te stellen van de gehele Nederlandse kust kan enkel gebruik gemaakt worden van deze JARKUS-lodingen. De afstand tussen de JARKUS-raaien is variabel en varieert tussen de 100 tot 250m. Gegevens die meer dan éénmaal per jaar worden opgenomen en een hoge data dichtheid hebben (raaien bijvoorbeeld om de 50m) zijn slechts beperkt beschikbaar (projectlodingen).

N.B. De JARKUS-lodingen worden bij de opslag in GIS geïnterpoleerd tot een rooster met 20*20m roostercellen. Dit betekent wel dat er een schijnnaauwkeurigheid in het rooster zit. Het betekent ook dat bijvoorbeeld de kribben zelf niet in de bodem zijn opgenomen. De afmetingen van de kribben zijn vaak maar in de orde van 10 meter breed. Daarmee gaat dus ook de invloed van de kribben zelf op de randvoorwaarden verloren. Ook locale dieptes en ondieptes in de bodem zullen daarom niet in de opgenomen bodem aanwezig zijn.

2.3.5. Bodem van diepere kustzone

Bodemvariaties

Deze zone loopt van ongeveer NAP -2m à -4 m tot NAP -25m.

De bodemveranderingen in deze zone verlopen minder snel dan voor de ondiepere kustzone. Toch vinden in het eerste gedeelte van NAP -2m à -4m tot NAP -10m nog grote veranderingen plaats. Voor dieper water geldt dat de bodemveranderingen minder groot zijn. Variaties door stormen en gedurende seizoenen zijn hier kleiner.

Het belang van golfreductie in de zone zeewaarts van de kribvakken blijkt gering [13]; de golfhoogten binnen het kribvak zijn primair afhankelijk zijn van de bodemligging aldaar. De bodemligging in de diepere kustzone heeft echter wel effect op de golfperiode, een parameter die ook belangrijk is binnen de Hydraulische Randvoorwaarden. Bij de keuze van een bodem voor de diepere kustzone is dus voornamelijk het effect op de golfperiode belangrijk en minder de mate van golfreductie.

Invloed van banken

Een middeling van de bodem om te voorkomen dat er 'extremen' in deze bodem zitten is onnodig omdat de bodemvariaties en banken verschuivingen kleiner zijn dan op ondieper water. Het is ook onwenselijk omdat eventueel aanwezige banken hiermee worden weggemiddeld.

Representatieve bodem

Op grond van visuele inspectie van gemiddelde golfperiode variaties in de periode 1965-2000 lijkt het gebruik van een bodem rond het jaar 2000 een gemiddelde periode te hebben die dicht ligt bij de gemiddelde waarde per raai langs de Hollandse Kust (zie [13]). Voor het grootste deel langs de Hollandse Kust en bij de harde keringen aldaar zijn in lijn met dit advies de vaklodingen van het jaar 1999 gekozen (zie paragraaf 2.3.6). Om in alle andere bodemgegevens hier zo veel mogelijk op aan te sluiten, is ook voor de JARKUS-lodingen buiten de kribvakken de bodem van 1999 als representatief beschouwd.

Resolutie van te gebruiken bodemgegevens

Net buiten de ondiepe kustzone bedraagt de bodemdpte ongeveer NAP -2m tot -4m. Tot de NAP-10m liggen brekerbanken. Om deze brekerbanken volledig juist weer te kunnen geven in een rooster dient de resolutie 20m x 20m te bedragen. Zeewaarts van de NAP-10m zijn de bodemvormen groter wat betekent dat de resolutie van het te gebruiken bodemrooster in deze zone grover kan zijn zonder wezenlijke informatie voor de randvoorwaardenberekeningen te verliezen. Met een roostercel grootte van 50m x 50m blijft de belangrijkste informatie behouden.

2.3.6. Bodem van de diep water zone

Aanvullende bodemgegevens

Om de Hydraulische Randvoorwaarden te berekenen dienen de golfgegevens van de meetstations op diep water vertaald te worden naar de kust. Deze meetstations liggen op een diepte van circa NAP -25m of dieper. De vaklodingen die door RWS omstreeks eens in de 5 jaar worden uitgevoerd langs de Hollandse Kust gaan tot NAP - 20m. Deze vaklodingen zijn voor het grootste deel voor de Hollandse Kust niet uitgevoerd in het jaar 2000 maar in 1999. Deze bodem uit 1999 op diep water sluit het beste aan op het advies voor de bodem [13].

Resolutie van te gebruiken bodemgegevens

Ook voor deze vaklodingen geldt (net als voor de JARKUS-lodingen) dat deze informatie is opgeslagen op een rooster van 20m x 20m, maar dat hier een schijnnaauwkeurigheid in zit. De afstand tussen de raaien bij deze bodemdptegegevens is doorgaands in de orde van 200 meter. Dieper dan de NAP - 20m dienen de gegevens te worden aangevuld met bodemdata van de TNO-NITG/Hydrografische dienst. Deze gegevens beslaan de gehele Noordzee waarbij de opslag roostercel een grootte van 100m x 100m heeft. Ook hier zit weer een grote schijnnaauwkeurigheid in. De jaren waarin deze gegevens zijn genomen kennen een brede spreiding. De bodem buiten de -20m wordt slechts zelden ingemeten.

2.3.7. Constructie van het SWAN bodemrooster

Methode

Delen van de bodemschematisatie worden binnen een speciaal daarvoor gemaakte module binnen de lodingsvalidatiesoftware MARIA [14] samengevoegd. De applicatie logt alle veranderingen en aanpassingen aan de te vervaardigen bodemschematisatie. Door inlezen van het rekenrooster wordt het interessegebied afgebakend en worden op de locaties van de roosterpunten de bodemhoogten afgelezen. Op deze manier wordt het SWAN bodemrooster ingevuld op alle punten van het rekenrooster. Met de logfunctionaliteit is de gevolgde methode vastgelegd en daarmee de reproduceerbaarheid van de bodem gewaarborgd. Voor details over de constructie van het bodemrooster wordt verwezen naar [15].

Op plaatsen waar steilranden ontstaan door het samenvoegen van de afzonderlijke delen, worden deze iteratief glad gestreken totdat de hellingshoek ter plaatse een waarde lager dan een vooraf ingesteld steilheids criterium heeft bereikt (1 op 10, zie [15, p15, 7]). Ook natuurlijke steilranden in de morfologie zijn zo te smoothen tot een voor de werking van het model acceptabele waarden. De mate van smoothing wordt sterk bepaald door de resolutie van bodemrooster en van het rekenrooster. Zo zullen bij een grote maaswijdte op dieper water steile gradiënten zelden voorkomen.

Bij het vervaardigen van de module is rekening gehouden met de enorme hoeveelheid gegevens die bij de vervaardiging van het bodemrooster worden gebruikt. Zo bestaat de mogelijkheid om het bodemrooster te produceren zonder dat de afzonderlijke delen eerst samengevoegd hoeven te worden.

In hoofdlijnen is ziet de samenstelling van de SWAN bodem er als volgt uit.

- 1) Duinen en dijken, voor NAP +7m tot NAP +3m → laseraltimetrie-rooster uit 1999,
- 2) Ondiepe kustzone, voor NAP +3m tot NAP -3m → gemiddelde JARKUS-loding- over 10 jaar (1994 tot en met 2003),
- 3) Diepere kustzone, NAP -3m tot NAP -7m → JARKUS-loding van jaar 1999,
- 4) Diepere kustzone, NAP -7m tot NAP -20m in het zuiden en noorden → Vaklodingen uit periode 1998-2000,
- 5) Dieper dan NAP-20m → hydrografische dienst/TNO metingen ten opzichte van LLWS en via reductievlak omgezet naar MSL².

Zoals eerder genoemd in paragraaf 2.3.4 geldt aanvullend hierop dat bij aangroeiende ondiepe kustzone zoals bij Texel om aansluitingsproblemen te voorkomen de loding wordt meegenomen die het beste aansluit op de andere bodem gegevens. Dit is in het logbestand terug te vinden.

²⁾ MSL = Mean Sea Level. Dit is in het algemeen niet hetzelfde als NAP!

Tijdens storm is gebleken dat de geul voor de uitwateringsluis bij Katwijk aanzandt. Dit heeft een golfreducerend effect. Om deze reden is de bodem bij Katwijk aangepast.

2.3.8. De resulterende bodem

In Figuur 5 is de resulterende bodem weergegeven, zoals die is gebruikt voor de berekeningen ten behoeve van de HR2006 voor de Hollandse Kust.

Omdat de resolutie van de bodemgegevens nabij de kust van dezelfde orde is als het SWAN rooster, is de bodem hier met groot detail beschreven. Voorbij de NAP –20 meterlijn is de basisinformatie voor het bodemrooster veel grover van resolutie dan het SWAN rekenrooster. Dit heeft als effect dat de bodem in het diepe deel er nogal blokkerig uit ziet. Om uit te sluiten dat dit aan het kromlijngige rooster ligt, is de basisinformatie voor de bodem vergeleken met het grove rechthoekige rooster uit de Rand2001. Ook hier was hetzelfde effect te zien. De lange dunne strepen zijn bodemribbels.

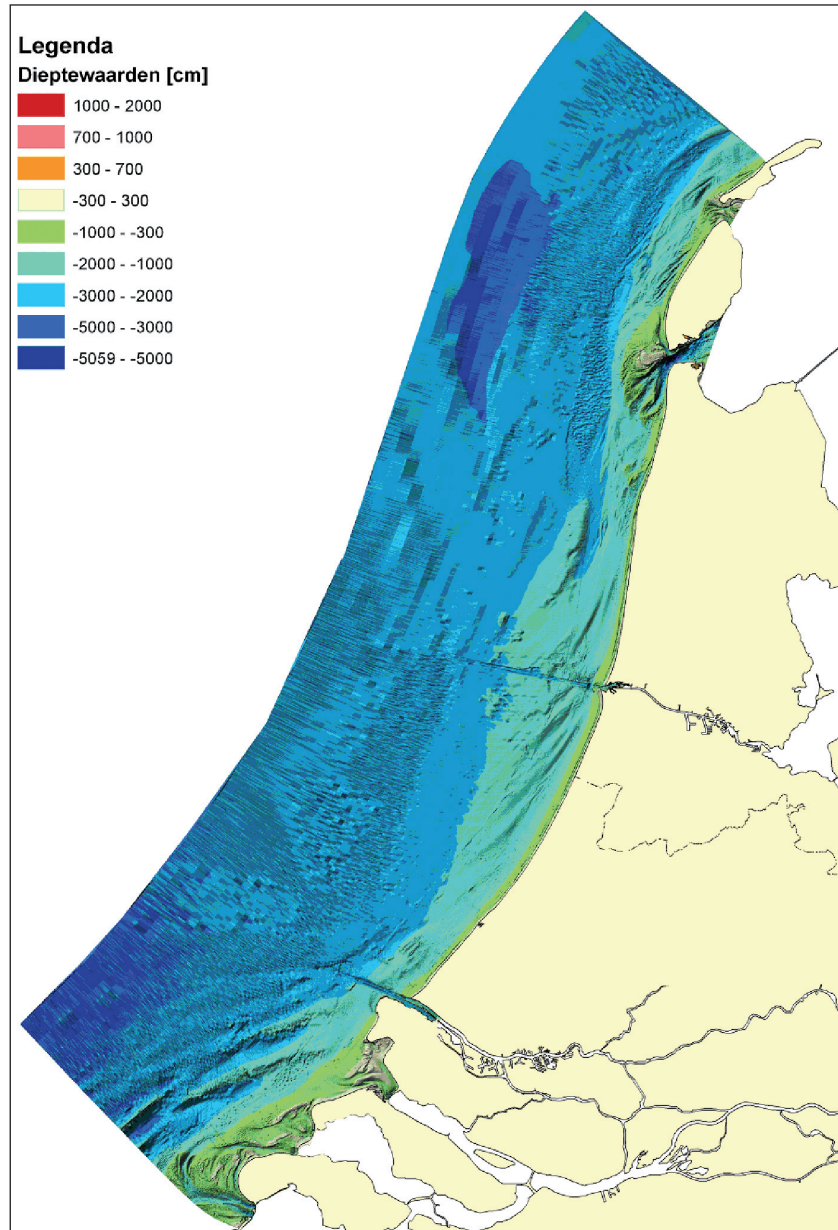
2.3.9. Verschillen in de bodem voor de HR-2006 en Rand2001

Om de impact van verschillen tussen berekeningen voor de HR2006 en die voor Rand2001 te kunnen verklaren is nader gekeken naar het verschil in beide bodems (zie Appendix B). Uit deze vergelijking komt naar voren dat met name in de buitenzone (vanaf –20m lijn tot diep water) significante verschillen zijn geconstateerd ($\pm 25\%$).

Nabij de kust nabij de Hondsbossche en Pettemer Zeeweringen zijn absolute maximale verschillen van respectievelijk 7m en 4m tussen HR2006 en RAND2001 geconstateerd. Aan de teen van de dijk is er sprake van een verschil in diepte van 1 tot 2 meter. Hierbij ligt de bodem zoals die is gebruikt voor de nieuwe berekeningen voor de HR 2006 lager dan die is gebruikt bij de berekeningen voor de RAND2001 database. Hierdoor zal de golfhoogte in de nieuwe berekeningen hoger worden. Voor details zie Appendix B.

Figuur 5

Resulterende Bodem voor de berekeningen voor de HR2006 voor de Hollandse Kust



2.4 Obstakels met transmissie

Er is voor gekozen om de bij Hollandse Kust liggende obstakels zoals strekdammen en havenhoofden in de berekeningen voor de HR2006 in beschouwing te nemen. Het gaat hier om de dammen bij IJmuiden, Hoek van Holland en Scheveningen. Daar dergelijke obstakels niet in de bodeminformatie zijn verdisconteerd (zie voorgaand hoofdstuk) is voor deze obstakels de nodige informatie opgevraagd bij de betreffende beheerders [16]. Het gaat om die informatie waarmee SWAN de transmissie van golven kan berekenen. Hiertoe is SWAN 40.41 door de TU Delft uitgebreid met een extra optie voor transmissie (zie hoofdstuk 3.1). Het betreffen opties voor een doorlatende dam [17] en niet doorlatende dam met gladde oppervlakken [18], danwel ruwe oppervlakken [19], danwel een combinatie van beide niet doorlatende

damopties. Deze laatste optie biedt de mogelijkheid om steeds de hoogste transmissie mee te nemen, dus de hoogste golfhoogte. Tevens is de golfrichting achter de obstakels aangepast conform Janssen (zie Appendix C). Behalve die van IJmuiden zijn al deze dammen doorlatend.

De specifieke eigenschappen zijn terug te vinden in [8].

Naar reflectie bij de Hollandse Kust is nog geen onderzoek gedaan. Derhalve is ervoor gekozen reflectie niet mee te nemen.

De splitsingdammen die de Nieuwe waterweg en het Calandkanaal scheiden zijn wel gedefinieerd binnen SWAN, maar worden verondersteld geen transmissie van de golven te geven, evenmin als het zuidelijke deel van de Zuiderdam.

2.5 Samenvatting

Afbakening gebied

De berekeningen voor de Hollandse Kust zijn primair uitgevoerd voor de harde keringen tussen Hoek van Holland en Den Helder.

Bij Hoek van Holland is de Maasmond en een stukje van de Nieuwe Waterweg tot aan de Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in de berekeningen voor de Hollandse Kust meegenomen.

De Helderse Zeewering is in deze als geheel meegenomen. Er is gekozen voor de variant om alleen de westelijke windrichtingen als maatgevend te beschouwen, waardoor het modelgebied beperkt kan worden.

Rekenrooster

Voor de berekeningen voor de Hollandse Kust is een rooster samengesteld op basis van het bestaande Kuststrookmodelrooster [11]. Aan dit rooster zijn de nodige aanpassingen gedaan zodat het voldoet aan de door HR-2006 gestelde eisen:

- Om zoveel mogelijk nesting te voorkomen is er met een kromlijinig, lokaal verfijnd rooster gewerkt.
- Aan de kust is voldoende resolutie aanwezig om zodoende uitvoerpunten dicht bij de kust te kunnen definiëren en de bodem goed te beschrijven. De resolutie bij de kust is in het algemeen ongeveer 100m kustlangs en 20m kustdwars. Overigens is de eis van maximale resolutie kustdwars strenger dan die van kustlangs. Het rekenrooster nabij de kust is niet fijner dan het bodemrooster.
- Het rooster is aan de kustzijde uitgebreid tot aan de NAP + 7 meter lijn voor de duinen en tot aan de top van de dijk voor de harde constructies.
- Tevens is het rooster uitgebreid in de Nieuwe Waterweg tot aan de Stormvloedkering, om randvoorwaarden te kunnen geven aan RWS-RIZA.
- De offshore-stations ELD (Eierlandse gat), YMW (IJmuiden) en EUR (Europlatform) liggen ruim binnen het rooster om inspeleeffecten te minimaliseren bij het construeren van de offshore-randvoorwaarden gegeven de diepwaterstatistiek van de betreffende stations.

-
- De grootte van het uiteindelijke rekenrooster is zodanig dat het nog hanteerbaar is voor de gebruikelijke beschikbare reken capaciteit. Het resulterende rooster strekt zich uit van Zuidelijk Schouwen tot halverwege Vlieland. Het heeft een omvang van 1980 (kustlangs) * 768 (kustdwars) cellen. Met een resolutie in frequentieruimte van 38 en richtingsruimte van 36 cellen komt dit op minimaal 3,4 GB intern geheugen.

Bodem

Er is een bodem samengesteld voor de HR 2006 die:

- Het rekenrooster overlapt,
- Op een kromlijinig rooster wordt gedefinieerd,
- Aansluit op de resolutie van het rekenrooster,
- Reproduceerbaar is uit basisgegevens.

Er is (zie [2.3.3])

- Eén representatieve bodem geconstrueerd.

Deze bestaat uit

- van NAP +3m tot NAP +7m de laseraltimetriegegevens uit 1999,
- voor de ondiepe kustzone, van NAP -3m tot NAP +3m, een bodem bepaald uit de over 10 jaar gemiddelde bodem vanaf 1994 tot en met 2003,
- een werkelijke bodem uit 1999, voor de diepere kustzone (i.e. voor NAP - 3m tot NAP - 7m),
- aangevuld op diep water (i.e. voor de zone van ongeveer NAP -7m lijn door tot ongeveer NAP -20m) met een bodem gebaseerd op vaklodingen uit de periode 1998-2000. Deze bodem wordt aan de diepwaterzijde aangevuld met data samengesteld uit de TNO-NITG/Hydrografische Dienst bodemgegevens.
- Voor aangroeiende of teruggredende kust wordt het laatste jaar waarin JARKUSlodingen beschikbaar zijn én aansluiten gekozen.

Dit resulteert in een voldoende fijn beschreven bodem nabij de kust. In dieper water is de bodemresolutie aan de grove kant. De bodem is volledig reproduceerbaar.

Obstakels

De strekdammen en havenhoofden van en bij IJmuiden, Hoek van Holland en Scheveningen zijn niet in de bodem meegenomen maar apart als obstakels binnen SWAN gedefinieerd. Op basis van de beschikbare informatie is transmissie van golven voor alle obstakels voldoende gedefinieerd voor de berekeningen van de HR2006.

3. Golfvoorspellingsmodel, aansturing en instellingen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden het gebruikte golfvoorspellingsmodel, de aansturing en de instellingen besproken. Respectievelijk komen aan de orde:

- Het golfvoorspellingsmodel,
- Statistiek van golven op diep water,
- Aansturende stochastcombinaties,
- Wind-, stromings- en waterstandsvelden,
- Inspeel- en randeffecten, en ten slotte
- Fysische en numerieke instellingen.

3.2 Het golfvoorspellingsmodel

Voor het afleiden van de Hydraulische Randvoorwaarden is gekozen om bij de vertaling van golven van diep water naar de kust, gebruik te maken van het ondiep water golfvoorspellingsmodel SWAN. Dit Open Source model is ontwikkeld aan de TU Delft, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, afdeling Vloeistofmechanica en is thans (ten tijde van het uitkomen van dit rapport) in beheer en onderhoud bij deze zelfde afdeling van de TU Delft. Het model wordt wereldwijd gebruikt. Op het moment van het uitkomen van de HR2006 is SWAN het meest bekende en breed gedragen 'state of the art model' voor golfberekeningen op ondiepe open wateren.

De berekeningen voor de Hollandse Kust zijn uitgevoerd met de (op het moment van aanvang) geldende moederversie van SWAN (zie website [4]): versie 40.41. Deze keuze is mede gemaakt omdat oude versies in principe niet meer worden ondersteund door de eigenaar, de TU Delft. Het is echter SWAN versie 40.20 die uitgebreid is getest in de hindcaststudies (zie [20] en [21]).

SWAN versie 40.20 is identiek aan versie 40.41 met uitzondering van de aanpassingen zoals deze beschreven zijn op de SWAN website [4]. Het onderstaand overzicht is beperkt tot de voor de berekeningen voor de Hollandse Kust relevante zaken.

Aanpassingen tussen versie 40.20 en versie 40.31:

- Resolutie aantal frequenties is in 40.31 geautomatiseerd, en

aanpassingen tussen versie 40.31 en versie 40.41:

- Een snellere berekening voor de DIA voor quadruplets is toegevoegd,
- Extra output aangaande het convergentiegedrag in door gebruiker aan te geven punten is mogelijk,

-
- Voor tabel en blockuitvoer zijn de absolute periodemaat $T_{m-1,0}$ (TMM10) en de relatieve periodemaat (RTMM10) toegevoegd als uitvoerparameters.

Tevens zijn hiernaast enkele opties toegevoegd die niet getest en derhalve ook niet gebruikt zijn voor de berekeningen voor de Hollandse Kust. Er zijn dus geen fundamentele verschillen tussen versie 40.20 en 40.41. Het gebruik van SWAN versie 40.41 biedt met name een optimaler geheugengebruik en meer gebruiksgemak. N.B. Voor de nieuwe uitgevoerde hindcasts voor het afleiden van correctiefactoren [22], is ook SWAN versie 40.41 gebruikt met de aansturing zoals vermeld in dit document.

Patches

Bij de productie berekeningen met SWAN versie 40.41 zijn ook twee officiële en één speciaal voor RWS-RIKZ patches³ meegenomen. Het hieronder gegevens overzicht beperkt zich tot de voor de berekeningen voor de Hollandse Kust relevante zaken.

patch A

- Verbetering van post-processing in parallel mode
- Een aantal kleine verbeteringen zijn doorgevoerd:
 - o verbetering van de routine voor de bepaling van het aantal snijpunten bij het zoeken naar een locatie in geval van een kromlijinig rekenrooster,
 - o correctie aan coördinaten in kromlijinig rekenrooster met offset waarden in geval van exception value gelijk aan nul en een enkele voor de berekeningen voor de HR2006 niet relevante aanpassing.

patch B

Deze patch repareert een aantal fouten:

- aan locaties met een waarde gelijk aan de offset waarden,
- correctie aan output processing in parallelle mode en
- correctie in geheugen allocatie met betrekking tot obstakels.

patch a

Deze patch betreft

- de toevoeging van de formules voor transmissie volgens Van der Meer en Briganti [18, respectievelijk 19],
- de aanpassing richting achter de obstakels conform Janssen (zie Appendix C) en
- het maximaal aantal output requests dat is opgerekt.

Met de gebruikte SWAN versie duurt een berekening gemiddeld minder dan 1 uur [9, p. 36]

³) Een patch is een relatief eenvoudige aanpassing op de moederversie naar aanleiding van een fout of wens.

3.3 Statistiek van golven op diep water

Het uiteindelijke doel van de berekeningen voor de Hydraulische Randvoorwaarden is om de maatgevende omstandigheden en golfcondities te bepalen op ondiep water.

Zoals genoemd in de inleiding (hoofdstuk 1) wordt bij het afleiden van de Hydraulische Randvoorwaarden gebruik gemaakt van een instrumentarium dat bestaat uit een keten van modellen.

De eerste twee stappen die moeten worden gezet zijn:

- a) het afleiden van basisstatistiek van golven op diep water, en
- b) het opschalen van deze statistiek naar extreme omstandigheden op diep water naar de 10^{-4} norm. Deze voor de Hollandse Kust geldende norm betekent dat dergelijke omstandigheden naar verwachting eens per 10.000 jaar voorkomen.

Met deze handelingen volgt een (wiskundig) domein van combinaties van waterstanden, windrichtingen en windsterktes, golfhoogtes en golfperiodes op diep water voor de geldende norm. Deze maatgevende omstandigheden, zijn de condities waarmee SWAN op de rekenrand moet worden aangestuurd.

Vroeger werd voor de waterstand, wind en golfhoogten onderling onafhankelijk de kans bepaald volgens de vigerende norm en daarna gecombineerd. Hierbij werd dus geen rekening gehouden met de onderlinge samenhang van deze stochasten. Dit is goed voor ontwerpcondities, maar is strenger dan nodig voor toetsen. Voor de HR2006 voor de Hollandse Kust is daarom gezocht naar de onderling samenhangende verwachtingswaarden van golfhoogte-, wind- en waterstandscombinaties onder 10^{-4} condities.

Uitgangspunten voor de aansturingscondities op diep water zijn derhalve dat:

- er gebruik gemaakt is van de gegevens van meetlocaties ELD, YMW en EUR.
- deze is gebaseerd op statistiek, die is uitgebreid met de gegevens van de laatste jaren (zie [12]).
- deze uitgebreide statistiek op diep water is opgeschaald via methode De Haan (binnen het programma Hydra-K [3]).
- het gaat om een meerdimensionale statistiek voor H_s , T_{pm} en $T_{m-1,0}$, bij gegeven waterstand en wind (die volgt uit Hydra-K [3]).

De gevonden combinaties van H_s , T_{pm} en $T_{m-1,0}$ bepalen samen de vorm van het spectrum op diep water. Omdat ELD en YMW duidelijk binnen het rekengebied (zie hoofdstuk 2.2) liggen moest er een methode worden afgeleid om de statistiek op deze meetpunten te vertalen naar corresponderende randvoorwaarden voor de randen van het rekengebied. Dit komt aan de orde in hoofdstuk 3.6.

Hierbij is ook rekening gehouden met het feit dat EUR op diep water (ongeveer NAP -30 m), en YMW en ELD op ondieper water (ongeveer NAP -20 m) liggen.

3.4 Aansturende stochastcombinaties

Met de methode uit de vorige paragraaf is een domein aangegeven voor de combinatie van de verschillende stochastische variabelen die horen bij de vigerende veiligheidsnorm op diep water. Het is echter niet op voorhand te bepalen welke combinaties van waterstand, wind en golfparameters op *diep* water uiteindelijk maatgevend zullen zijn voor de maatgevende combinaties van waterstand, wind en golfparameters op *ondiep* water, vlak voor de waterkering. Het aantal combinaties binnen het beschouwde domein van wind, waterstanden, en golfcondities is bovendien oneindig groot, en kunnen derhalve niet allemaal doorgerekend worden. Ook bleken niet alle combinaties even realistisch in combinatie met de beperkte waterdiepte (bij ELD en YMW; zie [9]). Het aantal berekeningen is daarom beperkt tot een discreet aantal realistische combinaties, die hierna aangemerkt wordt als de aansturingsmatrix. Primair zijn de aansturende stochasten in deze matrix windsnelheid, windrichting en waterstand. In de berekeningen voor de Hollandse Kust wordt de golfperiode eveneens als stochast meegenomen, omdat uit de metingen blijkt dat bij een gegeven windsnelheid nog een natuurlijke variatie in de periodemaat bestaat. Deze intrinsieke spreiding blijft nagenoeg onveranderd aan de kust. De periode op diep water beïnvloedt op deze manier direct de benodigde dijkhoogte, dit in tegenstelling tot de golfhoogte die wegbreekt naar de kust toe.

De matrix met de resultaten van de SWAN berekeningen wordt gevuld met golfparameters op de nabij de kust gedefinieerde uitvoerpunten (zie hoofdstuk 4). Deze resultaten zijn op hun beurt weer gebruikt om uiteindelijk de illustratiepunten⁴ te kunnen bepalen, die in het Hydraulisch randvoorwaardenboek terecht zullen komen (voor details zie [3]). Het verloop van deze kustnabije parameters als functie van de aansturende stochasten kan sterk niet-lineair zijn. Als de binnen de aansturingsmatrix de discrete onderlinge verschillen in opeenvolgende berekeningen voor een aansturende stochast, bijvoorbeeld de waterstand, voldoende klein zijn, kan deze niet lineariteit voldoende nauwkeurig beschreven worden. Hierbij moet het definitiedomein van alle mogelijke combinaties van stochasten in relatie tot het bereik van de stochasten ver genoeg worden opgespannen. De nauwkeurigheid van het uiteindelijk te bepalen toetspunt hangt dus onder meer af van de omvang en de dichtheid en van de aansturingsmatrix voor de SWAN berekeningen.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke combinaties van stochasten in de aansturingsmatrix voor de SWAN berekeningen worden meegenomen.

⁴) Een illustratiepunt is een set van waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting, met grootste kans van voorkomen.

3.4.1. Keuzes voor het bereik van de verschillende stochasten

De stochastische variabelen worden achtereenvolgens behandeld: waterstand, windsnelheid, windrichting en golfperiode.

Waterstand

Voor de berekeningen langs de Hollandse Kust is een stapgrootte van 1 meter gekozen, beginnend bij 1 meter oplopend tot 6 meter. Dit wordt voldoende geacht omdat de golfcondities min of meer lineair reageren op de waterstand.⁵

Windsnelheid

De windsnelheid vormt uiteraard de motor van de verhoogde waterstanden en golven. Het effect van de windsnelheid is echter al in de daar aanwezige waterstand en golfcondities opgesloten. Het resterende effect ten gevolge van de wind van offshore tot nabij de kust is veel kleiner dan ten gevolge van dissipatie van golfenergie nabij de kust.

De niet-lineariteit van de kustnabije golfparameters is dus ook veel minder afhankelijk van de windsnelheid. Een set berekeningen beginnende bij 15m/s en oplopend tot 40 m/s met stappen van 5 m/s is ruim voldoende.

Windrichting

De windrichting wordt meestal in toepassingen zoals voor de berekeningen met SWAN voor de Hollandse Kust opgedeeld in sectoren van 30 graden. Dit zou leiden tot een totaal van 12 windrichtingen. Echter voor de Hollandse Kust zijn met name de zuidwestelijke tot noordelijke windrichtingen van belang: de oostelijke windrichtingen zijn gezien de ligging van de kust zeker niet maatgevend. Deze zijn derhalve niet meegenomen in de berekeningen reeks. Uiteindelijk resulteert dit in 7 windrichtingen.

Golfperiode

Er is voor gekozen om de (verwachte) golfperiode, $E(T_{m-1,0})$, als extra stochast te beschouwen. Deze verwachtingswaarde voor de periode verschilt voor elke wind-waterstandscombinatie. Om de periode als stochast te kunnen beschouwen, moeten minimaal twee waarden worden gedefinieerd. In de berekeningen voor de HR2006 is dit aantal inderdaad beperkt tot twee. Om een zo groot mogelijke nauwkeurigheid te verkrijgen, moeten deze (twee) waarden in de buurt van de verwachtingswaarde liggen. Er is gekozen om voor een van deze waarden precies de verwachtingswaarde te kiezen en de ander waarde 10% lager te laten zijn.

⁵⁾ Dit is een verfijning ten opzichte van de berekeningen ten behoeve van de Zeeuwse steenbekledingen uit Rand2001. Deze berekeningen zijn gemaakt voor 3 waterstanden (+2, +4, en +6 m NAP). Voor berekeningen voor kruinhoogte is de waterstand een zeer belangrijke parameter. Het destijds gebruikte onderlinge verschil tussen de waterstanden voor dit faalmechanisme is echter te groot gebleken.

In Appendix D wordt aangetoond dat op basis van de resultaten voor de verlaagde en de verwachte periodemaat, de resultaten voor de verhoogde periodemaat $E(T_{m-1,0}) + 10\%$ voldoende nauwkeurig kunnen worden geëxtrapolerd.

Tabel 2
Stochastcombinaties voor
aansturingmatrix

Windsnelheid (m/s)	Windrichting (graden ten opzichte van Noord)	Waterstand (m+NAP)	Periode (s)
15	0 / 360	1	$E(T_{m-1,0}) - 10\%$
20	30	2	$E(T_{m-1,0})$
25	210	3	
30	240	4	
35	270	5	
40	300	6	
	330		

De combinatie van de bovengenoemde stochasten leveren per periodemaat $6 \times 7 \times 6 = 252$ combinaties op, dus totaal zijn 504 berekeningen nodig. De berekeningen voor deze vierdimensionale matrix van aansturingsvariabelen, resulteren in een verzameling matrices van SWAN uitkomsten, namelijk voor iedere uitvoerlocatie een matrix.

3.5 Wind-, stromings- en waterstandsvelden

In dit hoofdstuk wordt heel summier een aantal gemaakte keuzes toegelicht ten aanzien van de aansturing van SWAN aangaande wind, stroming en waterstand.

3.5.1. Windveld

Uit metingen en de statistiek voor de wind bij Texel (TXH) en Hoek van Holland (HvH) blijkt dat de wind niet constant is van Noord naar Zuid. In de berekeningen voor de Hollandse Kust ten behoeve van HR2006 is daarom gerekend met een wind met noord/zuid-verhang dat qua grootte afhankelijk is van de statistiek in de windmeetpunten.

De beschikbare windmeetpunten van Texel, IJmuiden en Hoek van Holland liggen ruimtelijk gezien nagenoeg op één lijn. Een methode die alle drie windmeetstations in beschouwing neemt bij het afleiden van het windveld, kan hierdoor een niet realistisch oost-west verhang genereren. Daarom is ervoor gekozen slechts twee meetpunten te gebruiken. Het windveld dat wordt opgelegd in de berekeningen heeft als uitgangspunt dat de waarden uit de aansturingmatrix (zie paragraaf 3.4, Tabel 2) geldig zijn in golfmeetstation ELD⁶.

⁶ De keuze voor ELD is in principe arbitrair. Zou gekozen zijn voor YMW of EUR, dan zouden de getallen in Tabel 2 voor de genoemde 'maatgevende wind' lager zijn om effectief hetzelfde te berekenen. Dit in verband met het Noord/Zuid-verhang waarbij de windsnelheid in het noorden hoger is dan in het zuiden.

Voor de afleiding van het windveld wordt, gebruik makend van de windstatistiek bij Texel (TXH) en Hoek van Holland (HvH), een vlak bepaald met Noord/Zuid-verhang. Beide windmeetstations zijn landlocaties. Om één en ander te vertalen naar open water is in [8] de open waterfactor bepaald, analoog aan Verkaik [23]. Vervolgens is de naar open water vertaalde statistiek van HvH opgelegd in EUR. In windmeetpunt IJmuiden kan de op deze wijze afgeleide wind (enigszins) afwijken van de statistiek van de metingen. Dit wordt van minder belang geacht voor de berekeningen voor de HR2006 omdat het in deze berekeningen primair gaat om het dissiperen van energie ten gevolge van onder meer breken. De invloed van locale wind is in deze smalle kuststrook doorgaans secundair. De invloed van de wind zit met name besloten in de randvoorwaarden die in de berekeningen worden opgelegd op diep water.

3.5.2. Stromingsveld

Uit de recente hindcaststudies ([20] en [21]) kan men opmaken dat stroming (getijstroming) van belang kan zijn. Hierbij geldt dat in estuariene omgevingen de stroming van groter belang is dan voor de Hollandse Kust. Er is voor gekozen om voor de berekeningen voor de Hollandse Kust de stroming niet mee te nemen. Per faalmechanisme is het belang van de stroming immers anders: bij de ene is de ebstroom bepalend, voor de andere juist de vloedstroom. Het is daarom ook niet eenvoudig om stroming voor alle faalmechanismen 'goed' mee te nemen. Omdat ook niet bekend is 'wanneer' een storm in de getijfase optreedt, is ervoor gekozen om voor de verwachtingswaarde van de stroming 0 m/s aan te houden. De invloed van de ebstroom op golven is doorgaans groter dan de vloedstroom. De verwachtingswaarde voor deze oppervlaktestroming is daarom niet exact nul. Dit is geen slechte schatting, en in dit geval zelfs de best beschikbare optie.

3.5.3. Waterstandsveld

Voor het waterstandsveld is aangenomen dat dit een volledig horizontaal vlak is. De waarden voor dit waterstandsveld zijn voor alle locaties in het rekengebied dus gelijk aan de waarden in de aansturingmatrix (zie paragraaf 3.4).

3.6 Inspeel- en randeffecten

3.6.1. Probleemschets

In het verleden is gebleken dat SWAN bij het opleggen van randvoorwaarden op een open rand, last kan hebben van inspeleffecten. Inspeleffecten zijn met name te verwachten als de golfcondities horend bij een zekere wind, waterstand, en stroming in de diepwatermeetpunten niet voldoende vergelijkbaar zijn met de op de diepwater-rand opgelegde spectra. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als er in het meetpunt een aanzienlijk andere diepte geldt dan bij de rekenrand. Aangezien er voor de berekeningen ten behoeve van de HR2006 voor de Hollandse Kust uitgegaan is van diverse extreme situaties, verkregen via opschaling van de statistiek van de gemeten stormen van de

laatste 24 jaren (van 1979 tot en met 2002), waarvan twee meetpunten een kleinere diepte hebben dan de diepte op de rekenrand, is het niet onwaarschijnlijk dat een inspeeeffect zal optreden. Het is nu zaak om de beoogde randvoorwaarden bij de meetpunten te vertalen naar de rand van het rekengebied. Doel is om te zorgen dat ondanks numerieke inspeeeffecten de gewenste statistiek wordt gereproduceerd. Het rooster (zie hoofdstuk 2.2) is groot genoeg⁷ en biedt dus de ruimte om ervoor te zorgen dat inspeel- en randeffecten de uitkomst van de berekeningen in het gebied van interesse, te weten nabij de kust (zie ook hoofdstuk 4), zo min mogelijk verstoren.

Ook als er geen sprake is van rand- en inspeeeffecten, zal er toch nog een vertaalslag moeten worden gemaakt om de statistiek in de meetpunten, met name YMW en ELD de juiste te laten zijn. Deze punten liggen immers in het binnengebied en niet op de diep waterrand of zijrand waar normaliter de golfrandvoorwaarden opgelegd worden in de SWAN berekeningen.

3.6.2. Minimaliseren inspeeeffecten

Er zijn twee soorten randen van het rekengebied met bijbehorende opgelegde golfrandvoorwaarden die de berekeningen in het binnengebied beïnvloeden. Dit zijn de diepwaterranden en de zijranden. Hoe ver deze invloed van de opgelegde golfrandvoorwaarde reikt, is onder andere afhankelijk van de richting van de opgelegde golven, in combinatie met de windrichting.

a) Aansturingsrand

Als aansturingsrand wordt die rand aangemerkt, waar de golven primair het rekengebied binnen komen. Welke rand als aansturingsrand wordt aangemerkt is afhankelijk van de windrichting. Bij zuidwest tot noordwesten wind wordt op de diepwaterrand de dominante aansturende randvoorwaarde opgelegd. Voor noord tot noordoosten wind is dit de noordelijke zijrand. Voor noordwest tot noorden wind zijn zowel de zijrand als de diepwaterrand (deels) aansturend.

b) Bijranden

Zoals hierboven genoemd is voor de westelijke tot noordwestelijke windrichtingen de diepwaterrand dominant. In deze gevallen kan, om bijrandeffecten te voorkomen, op de noordelijke en zuidelijke zijranden het beste de uitkomst van een 1D berekening als randvoorwaarde worden opgelegd.

Op randen waar golven het gebied verlaten (bijvoorbeeld voor de zuidelijke rand bij noordoosten wind) kan een randvoorwaarde achterwege blijven.

N.B. Voor noord tot noordoostelijke windrichting wordt er zodoende geen randvoorwaarden op de diepwaterrand opgelegd.

⁷⁾ volgens ervaring

3.6.3. Methode om te komen tot diepwaterrandvoorwaarden

Het is proefondervindelijk gebleken dat het niet mogelijk is om randvoorwaarden binnen het rekengebied op te leggen. Deze worden namelijk door SWAN overschreven. Daarom is er een andere methodiek ontwikkeld die ervoor zorgt dat met de op te leggen diepwaterrandvoorwaarden, de statistiek in de meetpunten zo goed mogelijk wordt gereproduceerd. Deze methode is toegepast op iedere aansturingsconditie (windrichting x windsterkte x waterstand x golfperiode, per golfperiodestochast, zie hoofdstuk 3.4).

Als uitgangspunten zijn gedefinieerd:

- Er is een enkeltoppig spectrum als randvoorwaarde opgelegd. Dit is verreweg de meest voorkomende situatie (zie [24], [20] en [21]) tijdens normale stormen.
- Er is primair gestuurd op de minimale afwijking van golfperiode $T_{m-1,0}$ ten opzichte van de geëxtrapoleerde statistische waarde (volgens de marginale statistiek) in het meetpunt (ELD, YMW of EUR). De golfperiode $T_{m-1,0}$ is van groot belang voor golfoverslag. De golfhoogte is dat ook, maar deze breekt weg nabij de kust omdat deze met name diepte gerelateerd is.
- Er wordt geen JONSWAP spectrum opgedrukt (zie hieronder).

Methode voor vertaling van geëxtrapoleerde (marginale) statistiek in meetpunt naar rekenrand

Per meetlocatie (ELD, YMW of EUR) is de geëxtrapoleerde statistiek per golfparameter bekend (marginale statistiek). Deze statistiek bestaat uit een golfhoogte en een aantal periodematen, gegeven de wind (snelheid en richting). De waterdiepte is hierbij buiten beschouwing gelaten.

- 1) Volgens de methode van de golfgroei-krommen liggen, gegeven de golfhoogte en T -periode, de strijklengte en windsnelheid vast. Ofwel gegeven de golfperiode en de windsnelheid volgen (impliciet) de benodigde strijklengte en bijbehorende golfhoogte, dit alles onder aanname dat de waterdiepte niet van belang is, i.e. groot genoeg is.
- 2) De golfgroei-krommen die aansluiten bij de onderhavige situatie voor het SWAN model zijn echter niet op voorhand bekend, onder meer omdat in de toegepaste situatie een eindige diepte geldt.
- 3) Door middel van 1D berekeningen zijn per locatie (ELD, YMW of EUR) de golfgroei-krommen berekend op basis van een eindige diepte, per diepte (bodempligging + waterstand), en per windsnelheid. De 1D raai waarlangs de berekeningen zijn uitgevoerd wordt gelegd in dezelfde richting als de windrichting.
- 4) De nodige strijklengte en golfhoogte, horende bij de gegeven golfperiode en de windsnelheid kunnen nu worden bepaald.
- 5) In de vertaling van het meetpunt naar de rekenrand wordt de strijklengte gelegd in de richting tegen de wind in. Hierbij is de diepte constant verondersteld omdat deze op diep water weinig variabel is.
- 6) Van de gevonden strijklengte wordt de afstand van het meetpunt tot de rand afgetrokken (langs 1D raai tegen windrichting in). Is de afstand tot de rand langer dan de benodigde strijklengte, dan kan het bijbehorende spectrum direct op het snijpunt van de 1D raai en de rand worden gelegd.

- 7) Doorgaans is de afstand tot de rand, gemeten vanaf het meetpunt tegen de windrichting in, echter kleiner dan de benodigde strijklengte. Nu wordt nogmaals een 1D berekening uitgevoerd (in de richting van de wind), maar nu met de lengte van het gebied gelijk aan de benodigde strijklengte. Hierbij wordt een verlaagde bodem en overgangsgebied (met 1/500 helling) naar de rekenrand toe gebruikt gevolgd door de constante diepte richting het meetpunt. Op de rand van het gebied wordt uitvoer gegenereerd in de vorm van een 2D spectrum, die in de berekeningen (zie hoofdstuk 3.4) zal worden opgelegd als randvoorwaarde. Door op deze manier een evenwichtsspectrum met SWAN te bepalen, wordt de afwijking van de berekende op te leggen golfhoogte en de gewenste golfhoogte uit de statistiek kleiner.
- 8) SWAN inter- en extrapoleert zelf de randvoorwaarden over de aansturingstrand.
- 9) Vervolgens kan over de bijrand een 1D berekening worden uitgevoerd.

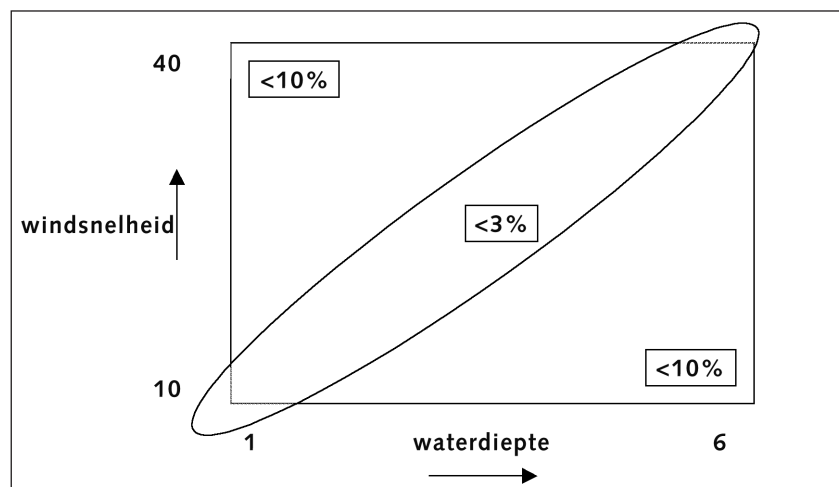
Een uitgebreidere beschrijving van de methode is te vinden in [8, 2.4].

Doordat er wordt gestuurd op de juistheid van periode $T_{m-1,0}$ in de meetpunten (ELD, YMW of EUR), kan de met de bovenstaande methodiek afgeleide golfhoogte aanzienlijk verschillen met wat die volgens de statistiek had moeten zijn in het meetpunt. Met de methode volgens de golfgroeikrommen volgen immers uit de windsnelheid en de golfperiode direct de strijklengte en golfhoogte. Dergelijke verschillen voor de golfhoogte kunnen wijzen op een combinatie van stochasten die niet geheel bij elkaar passen (bijvoorbeeld 40 m/s windsnelheid met slechts 1 meter waterstandsverhoging, en derhalve een beperktere maximale golfhoogte).

Omdat de golfhoogte diepte gerelateerd is en derhalve wegbreekt nabij de kust, is dit van minder groot belang. Bovendien was een en ander al voorzien. Het uit zich in een verschil in de toegestane afwijkingen voor delen van de aansturingmatrix. De opgelegde nauwkeurigheid voor de periodemaat $T_{m-1,0}$ is schematisch weergegeven in Figuur 6. Voor de golfhoogte resulteren grotere marges. Deze zijn niet expliciet op voorhand gekwantificeerd.

Figuur 6

Schematische weergave toegestane tolerantie voor de afwijkingen van de periode $T_{m-1,0}$ in de meetpunten



3.7 Fysische en numerieke instellingen

3.7.1. Numerieke instellingen

Uitgangspunt voor de numerieke instellingen zijn de instellingen uit de calibratie van SWAN 40.20 [25]. Deze wijken op enkele punten af van de instellingen zoals deze destijds zijn gekozen in de berekeningen die opgeslagen zijn in Rand2001 database. Zo is het maximum aantal iteraties is opgehoogd tot 30, zodat er voldoende iteraties zijn uitgevoerd. Verder is er een ander convergentiecriteria gebruikt.

3.7.2. Fysische instellingen

Uitgangspunt voor de fysische instellingen voor SWAN 40.41 waren (in eerste instantie) de standaardinstellingen. Deze keuze was mede bepaald doordat de instellingen uit de calibratie van SWAN40.20, een onfysisch geachte waarde voor de brekerparameter van 0.9 opleverde. Echter met de standaardinstellingen van SWAN worden de golfperioden onderschat (zie onder meer [20] en [21]). Omdat er primair gestuurd moet worden op de golfperiode bij de bepaling van de randvoorwaarden (zie paragraaf 3.6) en om dergelijke onderschattingsproblemen te voorkomen, is gekozen om van de standaard instellingen van SWAN af te wijken. Door het alternatief van Rogers [26] te gebruiken voor de whitecappingformulering, met de nswitch met $n=2$, in combinatie met het uitzetten van triads, is de onderschatting van de periode verholpen (zie ook Appendix E). In de berekeningen voor de Hollandse Kust ([8], [9], [10] en [22]) is deze instelling gebruikt.

3.8 Samenvatting

SWAN versie

Er is gekozen om de bij aanvang van de berekeningenreeks de meest actuele download ftp-versie van SWAN te gebruiken: SWAN versie 40.41 met patches A, B en a.

Aansturing SWAN met golven op diep water

De diepwaterrandvoorwaarden nodig voor de aansturing van SWAN zijn afgeleid:

- Op basis van uitgebreide statistiek voor EUR, YMW en ELD,
- Die is geëxtrapolleerd naar extremen,
- Op basis van de golfparameters H_s , T_{pm} en $T_{m-1,0}$, bij gegeven waterstand en wind.

Op basis van deze parameters wordt een spectrum geconstrueerd volgens de methode beschreven in hoofdstuk 3.6.

Aanstuurende stochastcombinaties

Samenvattend zijn alle mogelijke combinaties van de stochasten uit Tabel 2 gebruikt als diepwater randvoorwaarden bij de berekeningen. In totaal komt het bovenstaande neer op $6 \cdot 7 \cdot 6 = 252$ berekeningen per periodemaat, dus 504 in totaal.

Wind, stroming en waterstand

Er is in de SWAN berekeningen ten behoeve van de HR2006 voor de Hollandse Kust gerekend

- met een wind met een noord/-zuidverhang,
- zonder stroming
- en met een vlakke waterstand.

Inspeel- en randeffecten

Allereerst is het gebied groot genoeg gekozen om onbedoelde zij- en inspeleffecten in het interessegebied te voorkomen. Verder is een methode afgeleid om ervoor te zorgen dat de statistiek uit de opgeschaalde metingen in de meetpunten met de aansturing van SWAN wordt gereproduceerd. Uitgaande van de periode en de wind (snelheid en richting), worden via de strijklengte en de golfhoogte, de 2D spectra berekend die op de aansturingsrand van het rekengebied moeten worden opgelegd. Hiernaast zal op de bijrand de uitkomst van een 1D berekening worden opgelegd.

Doordat er wordt gestuurd op minimale afwijkingen van golfperiode $T_{m-1,0}$ in de meetpunten (ELD, YMW of EUR), kan de golfhoogte aanzienlijk verschillen met de geëxtrapoleerde waarde in het meetpunt. Omdat de golfhoogte diepte gerelateerd is en derhalve wegbreekt nabij de kust is dit van ondergeschikt belang.

Fysische en numerieke instellingen

Voor de numerieke instellingen zijn

- de waarden uit het calibratierapport [25] genomen, waarbij het aantal frequentiebins in versie 40.41 automatisch wordt gegenereerd.

Voor de fysische instellingen zijn

- de standaardwaarden voor SWAN gebruikt, met uitzondering van:
- de whitecappinginstellingen: de n-switch met $n=2$
- en de triads uitgezet.

4. Uitkomsten

4.1 Uitvoerlocaties en uitvoerpunten

In dit hoofdstuk komen de verschillende keuzes voor de uitvoerlocaties aan de orde. Hier zijn de locaties bedoeld waar de uiteindelijke Hydraulische Randvoorwaarden op worden vastgelegd. Met uitvoerpunten worden die punten in de omgeving van de uitvoerlocatie bedoeld waar aanvullende uitvoer is gegenereerd.

Bij het vastleggen van deze uitvoerlocaties en -punten gaat het om:

- Op welke locaties dient uitvoer gegenereerd te worden voor de HR-2006?
- Waar is in de toekomst een aanvullende informatiebehoefte te voorzien?
- Welke uitvoerparameters zijn hierbij nodig?
- Welke aanvullende gegevens zijn nodig voor controledoeleinden?

Op enkele plaatsen zal aangegeven worden waar de aanpak van HR2006 verschilt van die uit 2001 voor de Rand2001 database (nog van belang voor de Randvoorwaarden van Zeeland in 2006).

4.1.1. Uitvoerlocaties voor HR-2006

De exercitie uit dit document is toeleverend aan de Hydraulische Randvoorwaarden voor de harde zeeeringen langs de Hollandse Kust. Dit zijn: de Helderse Zeewering, de Hondsbossche Zeewering en de Pettemer Zeewering. Voor deze harde zeeeringen dienen uitvoerlocaties te worden gedefinieerd waarvoor golfgegevens moeten worden uitgevoerd.

In het rekengebied (zie hoofdstuk 2.2) liggen echter ook nog de harde keringen en constructies: op Goeree, 'het Flaauwe Werk' en de Zuiderdam bij de Maasvlakte. Deze zijn volledigheidshalve ook meegenomen in de definitie van de uitvoerlocaties.

In het algemeen geldt dat de uitvoerlocaties bij de harde zeeeringen:

- kustdwars 100 meter uit de kruin van de dijk of 50 meter uit de teenlijn⁸ moeten liggen,
- een onderlinge afstand kustlangs hebben van circa 250 meter,
- moeten voldoen aan de voorwaarde dat er in het rekenrooster tussen de uitvoerlocatie en (de teen van) de dijk minimaal 2 rekencellen liggen en
- niet op een steil talud liggen.

Hierbij is steil gedefinieerd als 1 op 10 of steiler. Dit is een vrij arbitraire keuze.

⁸⁾ Bij locaties met een hoog voorland (zoals het Flaauwe werk, is het uitvoerpunt verschoven naar de NAP +0 meter dieptelijn

Het ligt voor de hand om de uitvoerlocaties op de JARKUS-raaien te kiezen. Hierop is immers het betreffende deel van het bodemrooster gebaseerd (zie hoofdstuk 2.3).

De derde eis komt voort uit de onbekendheid van de betrouwbaarheid van de uitkomsten van SWAN in het laatste rekenpunt.

De vierde eis is gesteld omdat punten die op het talud van een harde kering liggen, niet representatief zijn voor de golfcondities vlak vóór deze zelfde kering.

N.B. Opgemerkt dient te worden dat het definitief vastleggen van de uitvoerlocaties pas kan plaats vinden nadat alle berekeningen zijn uitgevoerd. Het is namelijk onder meer afhankelijk van de waterstand of er aan de derde eis (aangaande de twee natte roosterpunten aan de kustzijde van de uitvoerlocatie) is voldaan. In principe is dit bij de huidige keuze van een vlakke waterstand van tevoren te controleren. Echter in het geval dat er toch niet aan deze eis is voldaan (voor alle verschillende aansturingscombinaties), kan er gebruik worden gemaakt van de uitvoerpunten in de raai (zie paragraaf 4.1.4) van de oorspronkelijk beoogde uitvoerlocatie. Voor het gemak wordt in dit document gesproken over uitvoerlocaties en uitvoerpunten als er feitelijk beoogde uitvoerlocaties en uitvoerpunten worden bedoeld.

4.1.2. Aanvullende uitvoerpunten voor HR-2006

Naast de bovengenoemde vereiste uitvoerlocaties voor de HR2006 zijn er nog een aantal extra uitvoerpunten. Voor de haven van IJmuiden zijn extra uitvoerlocaties bij de strekdammen gekozen. Verder gaat het om aanvullende uitvoerpunten die voornamelijk anticiperen op mogelijke toekomstige behoeften.

Hieronder is per onderscheiden onderdeel aangegeven hoe de uitvoerlocaties zijn gedefinieerd.

a) Harde zeeeringen

Om een alternatief te hebben het geval dat een uitvoerlocatie uiteindelijk toch niet aan alle gestelde eisen blijkt te voldoen, zijn voor de harde waterkeringen aanvullende uitvoerpunten gedefinieerd langs - kustdwarse raaien. Gekozen is deze te laten samenvallen met locaties van de JARKUS-raaien. Deze raaien strekken zich uit van 1250 meter uit de kust tot op de kruin van de dijk. De onderlinge afstand tussen deze raaien is ca. 250 meter.

b) Zachte zeeeringen

Het overgrote deel van de Hollandse Kust wordt beschermd door middel van een zachte zeeering. Hiervoor geldt een toetsregel die uitgaat van golfgegevens op de 20 meter dieptelijn. In de toekomst kan hiervoor een andere keuze gemaakt worden. Daarom zijn in de berekeningen met SWAN de volgende extra uitvoerpunten gegenereerd voor de zachte zeeeringen (*t.b.v. constructies als duinvoetverdedigingen etc.*).

-
- Kustdwars raaien vanaf de dieptelijn NAP-20 meter, tot de NAP + 7 meter lijn. Deze raaien liggen op de JARKUS-raaien. De onderlinge afstand tussen deze raaien is ca. 250 meter. Voor beheersbaarheid van het aantal uitvoerpunten is de punt dichtheid van deze raai uitgedund op dieper water.
 - Kustlangs op de dieptelijnen NAP-20 meter, NAP-10 meter en NAP-5 meter.
 - Uitvoerpunten zijn hier gedefinieerd 100 meter van de NAP + 7 meterlijn (i.e. ongeveer 50 m uit de duinvoet) mits voldaan wordt aan de voorwaarde dat er in het rekenrooster tussen het uitvoerpunt en de duinvoet minimaal 2 rekencellen zitten.

De zachte weringen aan de randen van het rekengebied bij Schouwen en Vlieland zijn niet meegenomen in verband met mogelijke randeffecten in de SWAN berekeningen.

c) Havens en vaarwegen

De volgende havens en obstakels nabij havens zijn voorzien van uitvoerpunten: IJmuiden, Scheveningen, de Maasmonding en Noorderdam. Tevens is voor de toekomstige 2e Maasvlakte een tweetal punten gedefinieerd. Er is in de berekeningen met SWAN de volgende extra uitvoerpunten gegenereerd voor de havens en vaarwegen:

- 50 meter zeewaarts van de havendammen, mits voldaan wordt aan de voorwaarde dat er in het rekenrooster tussen het uitvoerpunt en de havendammen tenminste 2 rekencellen zitten.
- met een onderlinge afstand van ongeveer 250 m.
- in de Euromaasgeul, dwars op de geul ter hoogte van de westpunt van de Noorderdam.
- aan de Noordkant van de Noorderdam, 50 meter vanaf de dam.

d) Kunstwerken

Binnen het rekengebied liggen de uitwateringsluis bij Katwijk en de Haringvlietdam. De volgende extra uitvoer is gegenereerd voor deze kunstwerken:

- Kustdwars 50 meter uit de voet van de waterkering mits voldaan wordt aan de voorwaarde dat er in het rekenrooster tussen het uitvoerpunt en de constructie minimaal 2 rekencellen zitten.
- Kustlangs op de JARKUS-raaien. De onderlinge afstand tussen de uitvoerpunten wordt dan ca. 250 meter.

Door de bodem aanpassing (zie paragraaf 2.3.7) bij de uitwateringsluis in Katwijk is het uitvoerpunt uiteindelijk aan het begin van de toegang tot de sluis gelegd, op ongeveer NAP +0m. Dit punt wordt representatief geacht voor de locatie vlak voor de uitwateringsluis.

e) Meetlocaties

Voor alle meetlocaties binnen het rekengebied is uitvoer gegenereerd. Er is onderscheid gemaakt tussen diepwaterlocaties en ondiepwaterlocaties. De diepwatermeetlocaties zijn EUR, YMW, ELD, YM6, MPN en LEG. Verder zijn hier aan toegevoegd de minder bekende locaties: Texel 20 km uit de kust, IJmuiden 10 km uit de kust, Hoek van Holland 15 km uit de kust, IJ5 (IJ-geul), SPY (stroommeetpunt IJ-geul), E5 en E13 (Eurogeul), SPM (stroommeetpunt HvH) en BG2 (Brouwershavense gat).

De ondiepe locaties betreffen de punten van de meetsite in Petten.

De volgende extra uitvoer is gegenereerd voor de meetlocaties:

- Uitvoer op alle vaste meetlocaties waar golfmetingen verricht worden. Hierin worden diepwatermeetpunten en ondiepwatermeetpunten onderscheiden.

4.1.3. Golfparameters voor HR-2006

Voor HR-2006 dienen voor diverse faalmechanismen toetswaarden afgegeven te worden in de uitvoerlocaties. Het betreft toetswaarden voor de volgende golfparameters:

- Significante golfhoogte: H_{m0} (wordt in SWAN ook wel H_s genoemd)
- Piekperiode: T_{pm}
- Gemiddelde golfperiode: $T_{m-1,0}$
- Gemiddelde golfperiode: T_{m02}
- Golfrichting: dir
- De waarde van T in het representatieve offshore station: T_{dw} . Deze waarden zijn in de '.tb2' bestanden per uitvoerpunt toegevoegd.

4.1.4. Aanvullende uitvoergegevens

Om een goed beeld te kunnen krijgen van de correctheid van deze parameters is het noodzakelijk dat de uitvoergegevens niet beperkt zijn tot de strikt noodzakelijke gegevens zoals die zijn aangegeven in de vorige paragraaf.

Tabellen

In totaal zijn 39 golfparameters berekend en in tabelvorm uitgevoerd. De lijst met deze parameters is opgenomen in Tabel 3. (Voor een toelichting op de diverse parameters zie de SWAN handleiding [27] en [24].)

Tabel 3

Golfparameters in tabellen
voor HR2006

standaard parameters		aanvullende parameters	
1	X-coordinate	*20	T_{pb}
2	Y-coordinate	*21	T_{peq}
3	Depth	*22	T_{pbeq}
4	windx	*23	F_{split}
5	windy	*24	T_{p1}
6	H_{m0}	*25	T_{p2}
7	RT_{peak}	*26	T_{pb1}
8	$T_{m-1,0}$	*27	T_{pb2}
9	T_{m01}	*28	E_{tot1}
10	T_{m02}	*29	E_{tot2}
11	Dir	*30	F_{mean}
12	Dspr	*31	F_{skew}
13	Fspr	*32	F_{kurt}
14	Steepness	*33	NP
15	W_{len} (golflengte)	*34	T_{pm}
16	Dissip	*35	Kappa
17	Qb		
18	dH_s	samengestelde parameters	
19	dRT_{m01}	36	kh
		37	$H_s/depth$
		38	Ursell
		39	T_{dw}

Golfparameters in de 2e kolom en gemerkt met '*' zijn in een nabewerking op de SWAN golfspectra berekend (volgens [24]). Deze zijn terug te vinden in de zogenaamde 'tb2'-bestanden. Het gaat om parameters afgeleid van het SWAN 1D spectrum met de daaraan verbonden parametrische staart (zie [8, p70]).

Voor (consistentie) controles binnen de KustDB2006 database en applicatie (zie [5]) zijn de volgende golfparameters nodig.

- Golfdissipatie (Dissip)
- Verandering van H_s in de laatste iteratie (dH_s)
- Verandering van T_{m01} in de laatste iteratie (dRT_{m01})
- Golfsteilheid (Steepness)

Ook zijn er diverse uit de basisparameters af te leiden samengestelde parameters nodig.

Merk op dat 'Dissip' de totale dissipatie weergeeft (dus niet alleen golfbreken).

Tweedimensionale uitvoer

Twee dimensionale velden van bepaalde grootheden kunnen in SWAN worden uitgevoerd in tabelvorm of als zogenaamde blockbestanden (i.e. een speciaal type uitvoer voor een parameterveld; zie [27]). Dit is mogelijk voor alle golfgerelateerde parameters uit SWAN.

Voor de Hollandse Kust is de uitvoer gedefinieerd op

- een uitgedund rooster van het hele gebied.
- voor de harde keringen (ZRD, PET, HON, HEL, FLW)

Deze keuze is gemaakt in verband met de hoge resolutie van het rekenrooster. Ook is ervoor gekozen, ter beperking van de hoeveelheid geproduceerde data, niet alle, maar een deel van alle mogelijke golfparameters in blockformat uit te voeren (zie Tabel 4).

Tabel 4

Golfparameters in blockuitvoer voor HR2006

1	X-coördinate	10	Dspr
2	Y-coördinate	11	Fspr
3	Depth	12	Steeppness
4	H_{m0}	13	W_{len}
5	$T_{m-1,0}$	14	Dissip
6	T_{m01}	15	Qb
7	T_{m02}	16	dH_s
8	T_{peak}	17	dRT_{m01}
9	Dir		

Raaien

Voor alle gedefinieerde punten in de raaien zijn alle in Tabel 3 aangegeven golfparameters uitgevoerd.

Spectra

Ook zijn in alle raaipunten 1D spectra beschikbaar, evenals in de uitvoerpunten van de meetpunten, de harde keringen en de kustlangse contouren. Alleen in uitvoerlocaties zijn 2D spectra beschikbaar.

Overige uitvoerinformatie

SWAN genereert zelf automatisch en door gebruikersgestuurde commando's output die kan helpen bij het opsporen van eventuele fouten. Dit zijn:

- PRINT-bestanden van de berekeningen.
 - o Hierin staan naast een echo van de invoer onder andere foutmeldingen en waarschuwingen die door SWAN worden gegenereerd.
- Errorbestanden in geval er foutmeldingen zijn gegenereerd.

Hiernaast zijn door de opdrachtnemer van de berekeningen bestanden aangemaakt (zie [8], [9] en [10]) met:

- loginformatie,
- informatie over de volledigheid van de uitvoerbestanden,
- informatie over rekestijd, aantal iteraties,
- informatie over consistentie binnen data,
- informatie over convergentie,
- informatie over de visuele controle op juistheid via plots.

Format van uitvoer

De uitvoer van de verschillende uitvoerbestanden kan in diverse formats worden uitgevoerd. Hiernaast zijn er nog een aantal andere zaken die van invloed zijn op de uitvoer en mogelijk het vervolg. Hierbij valt te denken aan de definitie van de uitzonderingswaarden, het aantal decimalen en of er wel of geen koptekst boven in de bestanden staat.

Hieronder is vastgesteld hoe dit is gebeurd voor de berekeningen voor de Hollandse Kust.

Tabellen:	ASCII, met koptekst, standaard aantal decimalen, standaard uitzonderingswaarden
Blockbestanden:	ASCII, zonder koptekst, standaard aantal decimalen, standaard uitzonderingswaarden
1D en 2D spectra:	ASCII, standaard aantal decimalen, standaard uitzonderingswaarden
Printbestanden:	ASCII
Andere bestanden:	ASCII

Opmerking

Het maximale aantal uitvoerbestanden bleek 1028 uitvoerbestanden te zijn, wegens een besturingssysteembepmerking. Om deze reden zijn de uitvoergegevens eerst voor een deel samen in één bestand weggeschreven door SWAN en daarna weer uit elkaar gerafeld met een script.

4.2 Automatische generatie invoer en dataverwerking

In de opdracht voor de HR2006 berekeningen voor de Hollandse Kust is opgelegd dat de in- en uitvoer zo veel mogelijk moest worden geautomatiseerd. Dit om reproduceerbaarheid te garanderen en fouten te voorkomen.

Om deze reden is de informatie over de benodigde en gewenste vorm en structuur van de in- en uitvoer van tevoren vastgelegd.

4.2.1. Invoer

De invoerbestanden voor SWAN zijn gegenereerd met behulp van enkele scripts. Deze bestanden bevatten de SWAN commando's die de berekeningen aansturen voor de 504 verschillende stochastcombinaties (zie hoofdstuk 3.4). Deze '.swn' bestanden verwijzen op hun beurt weer naar andere benodigde invoerbestanden. Invoerbestanden zoals die voor het rekenrooster en de bodem zijn voor alle '.swn' bestanden gelijk. Andere invoerbestanden zijn afhankelijk van de aansturende stochasten, zoals de windbestanden of de randvoorwaardenbestanden. Ook zijn alle namen van de uitvoerbestanden verschillend. Alle kenmerken van de stochastcombinaties (zie hoofdstuk 3.4) komen tot uitdrukking in de naamgeving van de aansturings- en uitvoerbestanden. Zo verwijst K15D300L060P2 naar de situatie met een windsnelheid van 15 m/s, 300 graden uit het noorden vandaan, bij een waterstand van 60 dm en voor de verwachte periodemaat. Bij het aanmaken van '.swn' bestanden met de scripts, is de naamgeving van de uitvoer vastgelegd (zie [8] en [9]).

4.2.2. Uitvoer

De uitvoer van de berekeningen moet een zodanig format hebben dat deze direct in de KustDB2006 database [5] kan worden opgeslagen. Hiertoe moeten structuur en format van de database bekend zijn, of andersom moet de database rekening houden met het format, de

structuur en de organisatie van de vele uitvoerbestanden. Om een en ander op elkaar af te stemmen zijn beide processen parallel aan elkaar vormgegeven. De uiteindelijke vorm van de KustDB2006 database en de benodigde invoer hiervoor is terug te vinden in [28].

Tevens zijn er zowel binnen als buiten de database een aantal noodzakelijke tests uitgevoerd. Het gaat hierbij om informatie ten behoeve van procedurele en numerieke tests, informatie over consistentie, en ten behoeve van fysieke controles (zie hoofdstuk 4.3).

Alle scripts, executables, en matlabbestanden die bij de automatisering van de in en uitvoer zijn ontwikkeld, zijn meegeleverd op CD bij [8], [9] en [10]. Een overzichtslIJst met deze scripts is opgenomen in Appendix H.

Om data zonder problemen te kunnen transporteren en in de database te importeren is een Lacie bigger disk van 1TB aangeschaft. Deze is noodzakelijk omdat de hoeveelheid berekeningen en de hoeveelheid uitvoer van grote omvang is. Het uitvoeren naar deze externe disk is snel en storingsongevoelig.

De organisatie van de outputbestanden is zodanig dat bestanden van de zelfde soort bij elkaar in een directory staan. De achtergrond hiervoor is dat de KustDB2006 applicatie met deze organisatie zo efficiënt mogelijk functioneert. Ook is dit praktisch als men ad hoc direct bestanden voor verschillende aansturingen met elkaar wil vergelijken.

4.3 Correctiefactoren en controles

4.3.1 Correctiefactoren

Uit diverse studies blijkt dat het SWAN model niet perfect is (zie onder meer [20], [21], [22], [25]). Afhankelijk van de gebruikte fysieke en numerieke instellingen is altijd of de periode of de golfhoogte of beide niet juist voorspeld. Zo is in het aanvullende beheerdersoordeel uit 2003, dat onder meer is gebaseerd op [29], de periodemaat $T_{m-1,0}$ gecorrigeerd met 20% op basis van de standaard instellingen (volgens methode uit Rand2001; dit is inclusief triads). Later leek er in [22] juist aanleiding tot onderzoek naar correctie op de golfhoogte. Het doel is om de SWAN berekeningen te corrigeren voor de gemiddelde afwijking ten opzichte van metingen. Met de huidige instellingen die gebruikt zijn (zie hoofdstuk 3.7) wordt de periodemaat $T_{m-1,0}$ overschat, ten gevolge van een andere whitecappingformulering.

Er is voor een aanpak gekozen om de door SWAN berekende golfhoogte, danwel golfperiode te corrigeren met een correctiefactor. Deze correctie wordt uiteindelijk doorgevoerd binnen de KustDB2006.

Hiervoor zijn de veldmetingen bij Petten van onder meer januari 1995 en februari en oktober 2002 ter beschikking gesteld, evenals de golfgootgegevens van Petten. Deze golfgootexperimenten betreffen nabootsingen van de storm uit 1995 en een aantal maatgevende situaties.

Dit alles met het betreffende bodemprofiel van Petten. Uit de veldmetingen kan een correctie worden gehaald door de vergelijking van SWAN met de metingen. Een correctie voor gooteffecten kan worden afgeleid door vergelijking van de golfgootmetingen van de nagebootste stormen van 1995 met de corresponderende veldmetingen. Dit samen zou dan een indicatie kunnen geven voor de noodzakelijke correctie voor maatgevende omstandigheden. Mogelijk kan afhankelijk van de fysieke situatie op de locatie hier nog een zeker locatie-afhankelijkheid in worden gevonden.

In opdracht van RWS-RIKZ zijn op deze wijze correctiefactoren afgeleid bij Petten [22] voor de golfperiode $T_{m-1,0}$, op basis van gemeten stormen uit 1995 en 2002. De correctiefactoren bij Petten worden geacht toepasbaar te zijn voor de hele Hollandse Kust. Bij het afleiden van de correctiefactoren volgens de instellingen uit hoofdstuk 3.7 is echter geconstateerd dat de gemeten windsnelheden in 1995 te laag zijn (zie Appendix F). Daarom is alleen een correctie afgeleid op basis van de metingen van februari en oktober 2002. Ook de in [22] gebruikte gootmetingen voor maatgevende omstandigheden zijn buiten beschouwing gelaten (zie Appendix F).

Uiteindelijk levert dit de correctiefactoren op voor locaties enkele honderden meters uit de kruin zoals genoemd in Tabel 5. Dit geldt derhalve voor getallen in de uitvoerpunten vlak langs de kustlijn die in de KustDB2006 zijn opgenomen.

Tabel 5

Correctiefactoren voor H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_{pm} gebaseerd op hindcast data van Petten veldmetingen van februari en oktober 2002 verkregen met SWAN 40.41ABa met aangepaste fysische instellingen (n-switch en triads)

Golfparameter	Correctiefactor	Procentueel
H_{m0}	1.00	0
$T_{m-1,0}$	0.91	-10
T_{pm}	1.00	0

4.3.2. Controles

Zoals eerder gesteld is er een duidelijke connectie tussen de uitvoerpunten en de uit te voeren controles. Het gaat om procedurele en numerieke controles, evenals fysische controles die met het controletool binnen de database-applicatie van KustDB2006 kunnen worden uitgevoerd.

a) Procedurele en numerieke controles

Direct na (en deels voor) het uitvoeren van de SWAN berekeningen kunnen de procedurele en numerieke controles worden uitgevoerd. Dit gebeurt op basis van het volgende:

Procedurele informatie

- PRINT-bestanden van de berekeningen,
- bestanden met fouteninformatie,
- logbestanden,

-
- volledigheid uitvoerbestanden,
 - bestanden met automatisch gegenereerde waarschuwingen,
 - rekentijd en aantal iteraties.

Voor de logbestanden en printbestanden dient nog opgemerkt te worden dat het aantal hiervan per swanrun overeenkomt met het aantal processoren. Het aantal processoren is niet van invloed op de vorm of het aantal van de binnen het '.swn'-invoerbestand gedefinieerde uitvoer.

Numeriek controles

De numerieke controles die direct uitvoerbaar zijn na de berekeningen kunnen worden onderverdeeld in controles op:

- consistentie binnen de data,
- convergentie en
- visuele controles op juistheid via plots.

Consistentie binnen de data

Op basis van de uitvoer kan gecontroleerd worden of spectra en parameters die naar dezelfde locatie en aansturingscombinatie verwijzen ook daadwerkelijk dezelfde waarden opleveren. Dit is een *consistentie controle binnen de data*. Hiertoe worden de 2D-spectra geïntegreerd tot 1D spectra en vergeleken met de (in naamgeving) corresponderende door SWAN uitgevoerde 1D spectra en spreiding. Tevens worden de 1D spectra geïntegreerd tot de belangrijkste parameters (golfhoogte en golfperiode) zoals die genoemd zijn in Tabel 3. Bij deze vergelijking mag een maximaal verschil getolereerd worden van 5% bij de verschillen in 1D- en 2D-spectra. In de golfhoogte en golfperiode parameters mag ook maximaal 5% verschil worden geconstateerd. Voor de spreiding is een maximum verschil van 5 graden aangegeven. De verschillen zijn een gevolg van een andere integratiemethode. Zo is in [10] de spectrale staart niet meegenomen.

Convergentie

Met de TEST-optie in SWAN kan extra uitvoer naar het PRINTbestand worden geschreven in door de gebruiker aangegeven punten. Deze kunnen worden opgegeven als roosterindex punten, danwel als coördinaten. Het gaat om informatie over het convergentiegedrag in deze punten. Hiernaast kan ook via de rekentijd en de betreffende standaardmeldingen in de SWAN PRINTbestanden een uitspraak over de convergentie worden gedaan voor het gehele gebied (zie [9]). Met deze testoptie wordt ook andere informatie zoals de transmissie coëfficiënten kt_{glad} en kt_{ruw} (voor bijvoorbeeld IJmuiden) en via patch aangepaste golfrichtingen (zie paragraaf 3.2) naar de PRINTbestand geschreven.

Visuele controle op juistheid via plots

Bij de visuele controles gaat het om inspectie van het tweedimensionale beeld van een parameter. Hiertoe zijn blockbestanden direct gevisualiseerd. De visuele controles zijn de enige die niet kunnen worden geautomatiseerd. Wel zijn de bevindingen van deze controles bijgehouden.

b) Controles met het controletool

De KustDB2006 database [5] voor HR-2006 is voorzien van een controle- en visualisatieapplicatie. De betreffende controles moeten plaatsvinden *na* de standaardcorrecties! In de database is een veld aangemaakt dat bijhoudt of er data is aangepast op grond van de correcties.

Controletool

Het controletool dat met de database is ontworpen, richt zich met name op de fysische controles en controles op consistentie met de omgeving. Om deze controles te kunnen uitvoeren is de extra uitvoer nodig zoals die in hoofdstuk 4.1 is beschreven. Deze extra uitvoer ten behoeve van de controle is in de KustDB2006 database opgeslagen en vrij opvraagbaar. In het document over de bouw van de database [28] wordt hier uitvoerig op ingegaan. Hiernaast zijn er voor de fysische controles nog meer extra gegevens nodig, zoals de bodemhelling of de dijknormaal. In de database is hiervoor in het ontwerp al ruimte gereserveerd. Deze gegevens moeten door de gebruiker van de database éénmalig worden toegevoegd, teneinde de fysische controles goed te kunnen uitvoeren.

Testresultaten

In [10] is voor de beide periodestochasten uit Tabel 2 een controlestrategie uitgetest voor de uitkomsten van de SWAN berekeningen. In [30] is deze methodiek geoptimaliseerd en voor beide periodestochasten consistent doorgevoerd.

Voor de tests gelden de volgende uitgangspunten:

- De test moeten worden uitgevoerd na het toepassen van de standaardcorrectie.
- Droogval moet als eerste worden getest. Als een punt droogvalt voor een bepaalde conditie, kunnen alle andere tests voor deze conditie achterwege blijven.
- Er mogen geen mutaties worden uitgevoerd aan de gegevens tijdens de testprocedure. Immers met aanpassingen op basis van de uitkomst van individuele tests zou de volgorde van uitvoeren van de tests binnen een strategie van belang kunnen zijn, en daarmee invloed hebben op de basisgegevens in de database.
- Vergelijking met 'buurpunten' binnen een verzameling uitvoerpunten is alleen zinvol als deze daadwerkelijk bij elkaar in de buurt liggen en niet droogvallen. Ook de ligging van obstakels zoals strekdammen moet worden meegenomen. Door afscherming van achtergelegen gebieden kan binnen de set van de getallen voor havens en dammen inconsistentie ontstaan voor wat betreft golfhoogte, periode en richting.

Op basis van uitkomsten na de eerste tests (zie [10]) bleek het verstandig de controles te beperken tot fysisch relevante situaties (zie Tabel 6). Dit resulteert in 72 (= 4 x 6 x 3) sleutelcombinaties per stochast.

Tabel 6

Fysisch realistische
mogelijke combinaties

Windsnelheid	Windrichting (graden)	Waterstand	Periode (s)
25	210	4	$E(T_{m-1,0}) - 10\%$
30	240	5	$E(T_{m-1,0})$
35	270	6	
40	300		
	330		
	360		

De boven en –ondergrenzen van de diverse parameters en parameter-verhoudingen zijn deels bepaald op basis van [22] en deels op basis van metingen van februari en oktober 2002. Hierna zijn deze grenzen en marges beproefd in [10]. De uiteindelijke grenzen zoals toegepast voor de controles in [30] zijn samengevat in Tabel 7.

Tabel 7

Onder- en bovengrenzen,
marges voor controles in
controletool

Controle op	ondergrens	bovengrens	maximaal verschil	eenheid
golfhoogte (H_s)	0,05	9		meter
waterdiepte (d)	0,05	32		meter
periode T_{m02}	0,8	13		seconde
periode $T_{m-1,0}$	1	15		seconde
periode T_{pm}, T_{pb}, T_{pbeq}	1	18		seconde
Dspr	10	81		graden
golfrichting	0	360		graden
H_s/d	0,004	0,80		-
H_s/W_{len}	0,0004	0,06		-
$dH_s(x,y)$ met buurpunten			30%	meter
$dH_s(x,y)$ met toenemende windsnelheid			0,05	meter
$dH_s(x,y)$ met toenemende waterstand			0,05	meter
trend (Dissip, Hs/dep)			0,01	Joule/(meter) ²

Voor de testuitkomsten dient het volgende te worden opgemerkt.

- Er is een evenwicht gezocht voor de grenzen en marges in de tests. Te ruim gekozen grenzen, of te grote toegestane marges zullen nooit overschreden worden en voegen derhalve niets toe. Te streng gestelde criteria leidt tot onterechte afkeuring van uitkomsten in de uitvoerpunten.
- Er wordt gebruik gemaakt van de parameterverhouding H_s/W_{len} in plaats van de in SWAN beschikbare uitvoerparameter Steepness, omdat deze laatste gebaseerd is op de lokale T_{m02} , logischerwijs nog zonder correctie (zie paragraaf 4.3.1). Ter aanvulling: golflengte W_{len} wordt gebaseerd op T_{pm} die niet standaard gecorrigeerd wordt.

Visualisatie

De visuele controles met de visualisatietool van de database zijn er met name op gericht om een beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van de uitkomsten van de SWAN berekeningen in de diverse uitvoerpunten. Tevens kunnen parameterelden worden beschouwd. De stappen genomen om een bepaalde visualisatie te realiseren, worden gelogd en zijn zodoende reproduceerbaar. Het persoonlijke oordeel van de gebruiker van deze tool kan tevens worden genoteerd.

4.3.3. Uiteindelijk oordeel

In [30] is per periodestochast een algemeen oordeel gevormd over de status van gegevens in de uitvoerpunten op basis van de in paragraaf 4.3.2 genoemde controles. In een tweetal zeer uitgebreide uitkomsten-tabellen voor de controles van parameters en parameterverhoudingen, wordt op basis van het aantal goedgekeurde punten een score toegekend volgens de indeling uit Tabel 8.

.....
Tabel 8

Score-indeling toetspunten

Score	Excellent	Goed	Redelijk	Slecht	Geen oordeel
percentages goedgekeurde punten	100%	95 tot 99%	80 tot 94%	1 tot 79%	0% (dit is het geval voor 100% droogval)

Voor de consistentiecontroles is per periodestochast een aparte tabel geproduceerd. Het algemene beeld is dat de resultaten uit deze consistentietabel overeenkomen met het beeld van de controles op evidente fouten, parameters en parameterverhoudingen. Afgekeurde punten zijn nader beschouwd. In het algemeen zijn de afwijkingen verklaarbaar, bijvoorbeeld door de ligging van uitvoerlocaties ten opzichte van strekdammen, of van ondieptes.

De resultaten uit deze exercitie kunnen helpen bij het beoordelen van de uitkomsten in de vervolgstap van de productieketen voor de Hydraulische Randvoorwaarden (zie Hoofdstuk 1). Eventuele afwijkingen van het verwachte patroon bij het bepalen van maatgevende randvoorwaarden kunnen hiermee mogelijk mede worden verklaard.

N.B. Het gaat om de harde keringen. Als het oordeel voor de betreffende keringen hier goed is, kunnen de HR2006 voor Hollandse Kust met een gerust gevoel worden vastgesteld in de aangegeven beoogde uitvoerlocaties. Ook voor de Brouwersdam, het Flaauwe werk en de Haringvlietdam kan op basis van de uitgevoerde tests een uitspraak worden gedaan over de consistentie en het algemene beeld van de uitkomsten van de berekeningen in de beoogde uitvoerlocaties (zie [30]). Voldoet een uitvoerlocatie niet, dan kan met behulp van de aanvullende informatie zoals besproken in paragraaf 4.1.2 een alternatief worden gezocht. Ook voor deze alternatieve uitvoerlocatie dienen vervolgens alle genoemde correcties en controles uit hoofdstuk 4.3 te worden uitgevoerd.

4.4 Samenvatting

Uitvoerpunten

In grote lijnen samengevat komt het er op neer dat uitvoerlocaties voor het hele rekengebied.

- om de 250 meter kustlangs zijn gedefinieerd, en wel
- op een afstand van 100 meter uit de kruin van de dijk of op de NAP –20m, de NAP –10m en de NAP -5m lijn bij de duinen.

In deze uitvoerlocaties zijn naast diverse parameters 2D- en 1D-spectra beschikbaar.

Ten behoeve van de controle op juistheid van de gegevens in de uitvoerlocaties

- zijn voor alle uitvoerlocaties langs de kust, kustdwars raaien gedefinieerd, waarop diverse parameters worden gedefinieerd, direct door SWAN danwel na een postprocessingslag.
- zijn in alle raaipunten 1D spectra beschikbaar
- zijn in uitvoerlocaties zelf ook 2D spectra beschikbaar.

Voor de gebieden bij de harde waterkeringen en op een uitgedund rooster is 2D informatie van de verschillende parameters opgeslagen in de vorm van blockbestanden. Tevens zijn er raaien gedefinieerd op de NAP –20, -10 en –5 meterlijn, op diverse meetpunten, bij kunstwerken en bij havendammen en –mondingen. Hier is tabeluitvoer voor diverse parameters, en 1D spectra-informatie beschikbaar.

Ten aanzien van de voor de VTV [1] te gebruiken piekperiode is gekozen voor T_{pm} (voor definitie zie [24]). Echter andere definities zoals T_{pb} , T_{pbeq} of de T_p zijn ook beschikbaar.

Automatische generatie invoer en dataverwerking

Alle aanmaak van in- en uitvoer bestanden ten behoeve van de berekeningen voor de HR2006 is geautomatiseerd. Hiertoe zijn diverse scripts toegepast en opgeleverd.

De vorm van de uitvoer is afgestemd met de KustDB2006 database en -applicatie.

Voor datatransport van de grote hoeveelheden data is een portable extern geheugen aangeschaft.

Correctiefactoren en controles

Op de uitkomsten van de SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust is allereerst de standaardcorrectie toegepast volgens Tabel 5. Vervolgens zijn voor de fysisch realistisch geachte stochastcombinaties (zie Tabel 6) controles uitgevoerd op evidente fouten, parameterverhoudingen en consistentie volgens op voorhand gestelde boven- en ondergrenzen (zie Tabel 7). Het uiteindelijke oordeel is bepaald op basis van de score van het aantal goedgekeurde uitkomsten, per uitvoerpunt, per periodestochast (zie Tabel 8). Voor de uitgebreide beoordelingstabellen wordt verwezen naar [30].



Aan
HR2006 betrokken

Van
M. Zijlema
Datum
10 augustus 2005
Onderwerp

Doorkiesnummer
-
Bijlage(n)
-

Vergelijking tussen kromlijng en rechthoekige rekenroosters

Doel

Het doel van dit onderzoek is om na te gaan of SWAN berekeningen op verschillende rekenroosters leidt tot overeenkomende oplossingen gegeven de identieke randvoorwaarden, instellingen en bodemschematisaties. Het betreft een kromlijng rekenrooster vervaardigd voor HR2006 en drie geneste rechthoekige rekenroosters afkomstig uit het project voor bepaling van de golfrandvoorwaarden voor Rand2001.

Inleiding

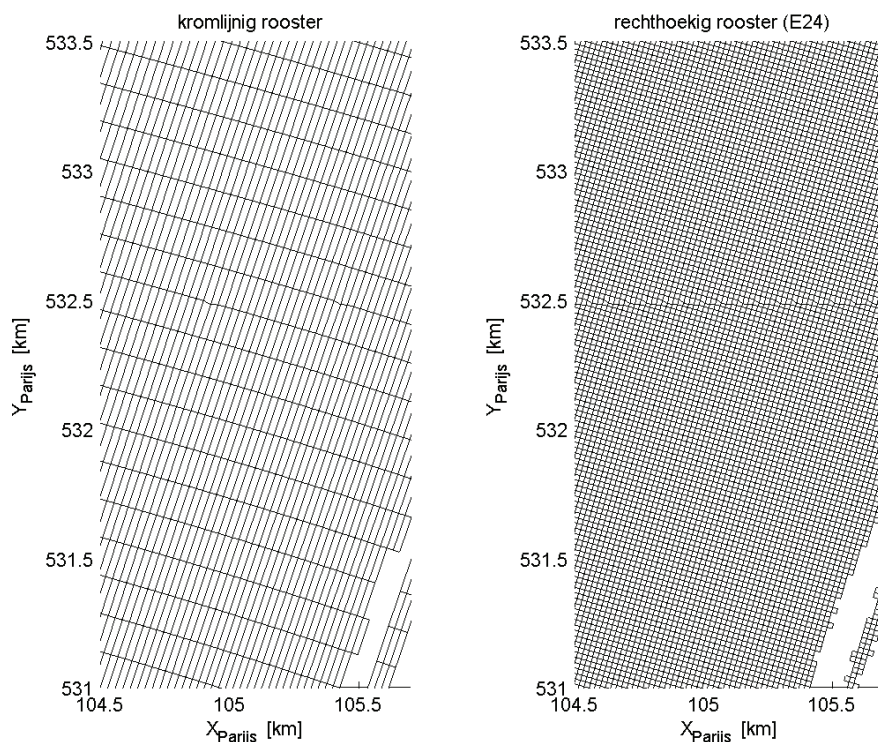
In het project "SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust" worden een 252-tal SWAN berekeningen uitgevoerd voor de Hollandse Kust. Dit gebeurt op een kromlijng rekenrooster. Dit rooster is zodanig gemaakt dat het aan alle eisen voldoet die nodig zijn voor SWAN berekeningen. In het werkdocument [2] wordt daar een uitgebreid verslag gedaan.

Enige jaren geleden zijn enkele rechthoekige rekenroosters vervaardigd ten behoeve van SWAN berekeningen voor het bepalen van de golfrandvoorwaarden voor Rand2001. Deze roosters vormen een reeks van geneste rechthoekige rekenroosters.

Hoewel de kromlijng en rechthoekige roosters veel van elkaar verschillen ten aanzien van de resolutie, eigenschappen van het rooster (zoals verdichting, zg. celaspectratio's, etc.) kunnen met beide type roosters toch vrijwel dezelfde SWAN resultaten worden verkregen. Hiermee wordt dan aangegeven dat de resultaten min of meer roosteronafhankelijk zijn. Het doel van dit onderzoek is om na te gaan of SWAN berekeningen op verschillende rekenroosters leidt tot overeenkomende rekenresultaten. Uitgangspunt voor de vergelijking is dat de randvoorwaarden, instellingen en bodemschematisaties gelijk zijn. Verschillende (golf)parameters als functie van de afstand langs een raai voor de kust van Petten en omgeving verkregen met verschillende roosters worden met elkaar vergeleken.

Rekenroosters

Het kromlijng rekenrooster van 1980 × 768 cellen heeft een min of meer constante maaswijdte in kustlangse richting (ongeveer 100m) en kustdwars neemt de maaswijdte af van 900m op de zeerand tot 30 m bij de kust. De rechthoekige rekenroosters hebben een resolutie van respectievelijk 500, 100 en 20m. Ze worden aangeduid als respectievelijk N02, K12 en E24 roosters. Figuur 1 geeft de verschillen aan tussen het kromlijng rekenrooster en het fijnste rechthoekige rekenrooster (E24).



Figuur 1. Gebruikte rekenroosters.

Duidelijk is te zien dat de cellen in het kromlijinig rooster langgerekt zijn. Om na te gaan of dit mogelijk een effect heeft op de modelresultaten is er een verfijnde kromlijinig rooster aangemaakt waarbij het aantal roostercellen kustlans is verdubbeld. Dit rooster heeft in totaal 3960×768 cellen.

Bodemschematisaties

Voor zowel de kromlijinig als de rechthoekige rekenroosters zijn bodems gegenereerd. Voor beide type rekenroosters is een bodem gemaakt op basis van metingen, zie [1]. Uitgangspunt zijn de originele bodemwaarden welke vervolgens op beide type rekenroosters worden “geprikt”. Op deze wijze wordt voor beide type roosters met dezelfde bodem gewerkt. Deze methode staat beschreven in [1].

Resultaten

Voor iedere rekenrooster zijn twee berekeningen gemaakt. De eerste berekening betreft de case met 2m waterstand, 25m/s windsnelheid en windrichting van 240° (Nautisch) en de tweede berekening betreft de case met 6m waterstand, 40m/s windsnelheid en windrichting van 300° (Nautisch). Beide cases worden aangeduid met respectievelijk K25D240L020P2 en K40D300L060P2. In dit memo wordt de vergelijking tussen de berekeningen besproken met als uitgangspunt dat de randvoorwaarden en instellingen (zowel fysisch als numeriek) identiek zijn.



Figuur 2a en 2b laten het verloop van de bodem en verschillende golfparameters van case K25D240L020P2 zien langs de raai, waarbij Figuur 2b is ingezoomd op de laatste vier kilometer voor de kust van Petten.

Met uitzondering van K12 rooster komen de bodems van alle rekenroosters nagenoeg met elkaar overeen. Reden van afwijking met betrekking tot K12 rond $x=35\text{km}$ is onbekend. In de laatste 10km voor de kust komt de bodem op het K12 en E24 rooster exact overeen met de bodem op de kromlijnige roosters. De geconstateerde verschillen tussen de bodem op N02 rooster en op de overige roosters is een gevolg van de resolutie van het N02 rooster die te grof blijkt te zijn.

De roostereigenschappen cq. numerieke aspecten van de verschillende roosters en de geconstateerde bodemverschillen hebben de volgende effecten op de verschillende golfparameters. De verschillen in golfhoogte binnen de laatste 4km voor de kust zijn marginaal terwijl in het gebied 4 tot 20km uit de kust ze toenemen tot ongeveer 5%. De verschillen in de periodematen zijn langs de gehele raai tot Petten ongeveer constant en bedragen 2% tot 3%. Ook de verschillen in gemiddelde golfrichting en richtingsverspreiding zijn relatief klein. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door verschil in refractie door verschillen in bodemligging in langsrichting. Opvallend is dat de verdubbeling in het aantal roosterzellen kustlangs van het kromlijnig rooster géén effect heeft op de modelresultaten.

Figuren 3 tot en met 6 laten het verloop van de bodem en verschillende golfparameters van case K25D240L020P2 zien in de laatste vier kilometer voor de kust op verschillende raaien ten zuiden van Petten. Let op dat op sommige raaien de resultaten van E24 rooster ontbreken doordat ze buiten het gebied vallen. De figuren geven alle hetzelfde beeld, namelijk de verschillen in zowel golfhoogte als in periodematen zijn marginaal waarbij het grootste verschil wordt veroorzaakt door de bodem op N02 rooster die van overige bodems afwijkt. De effecten van verschillende roostereigenschappen op de golfparameters zijn relatief kleiner. Verschillen tussen de modelresultaten van kromlijnig 1980×768 en die van kromlijnig 3960×768 zijn nihil hetgeen betekent dat het effect van langgerekte cellen te verwaarlozen is.

Tot slot laten Figuren 7 tot en met 10 laten het verloop van de bodem en verschillende golfparameters van case K25D240L020P2 zien in de laatste vier kilometer voor de kust op verschillende raaien ten noorden van Petten. Behalve de resultaten van N02 rooster zijn de verschillen tussen de resultaten van de overige rekenroosters marginaal.

Figuur 11a en 11b laten het verloop van de bodem en verschillende golfparameters van case K40D330L060P2 zien langs de raai, waarbij Figuur 11b is ingezoomd op de laatste vier kilometer voor de kust van Petten. Uit deze figuren blijkt dat de verschillen in de roostereigenschappen vrijwel géén effect hebben op de modelresultaten. Verder zijn deze geconstateerde verschillen kleiner dan die van de case K25D240L020P2. Daarnaast is door de hogere waterstand het effect van de bodem kleiner en daarmee zijn ook de verschillen



tussen de golfrichting en de richtingsverspreiding van verschillende roosters ook kleiner vergeleken met de case K25D240L020P2.

Figuren 12 tot en met 15 laten het verloop van de bodem en verschillende golfparameters van case K40D330L060P2 zien in de laatste vier kilometer voor de kust op verschillende raaien ten zuiden van Petten en Figuren 16 tot en met 19 idem maar dan voor raaien ten noorden van Petten. Afgezien van de resultaten van N02 rooster zijn de verschillen tussen de modelresultaten van overige roosters opnieuw marginaal. Ook de verschillen tussen die van kromlijng roosters 3960 × 768 en 1980 × 768 zijn uiterst marginaal.

Conclusies

In dit memo is een verslag gedaan naar de vergelijking tussen modelresultaten verkregen op verschillende rekenroosters gegeven de identieke randvoorwaarden, instellingen en bodemschematisaties. De roosters zijn een kromlijng rekenrooster vervaardigd voor het HR2006 project en drie geneste rechthoekige rekenroosters afkomstig uit het project voor bepaling van de golf randvoorwaarden voor Rand2001. De gebruikte rekenroosters verschillen in resolutie, verdichting en celaspectratio's. Deze verschillen kunnen aanleiding geven tot verschillende modelresultaten. Het doel van het onderhavige onderzoek is vast te stellen hoe groot deze verschillen zijn. Er is gekeken naar het verloop van verschillende golfparameters zoals golfhoogte en periodematen langs verschillende raaien tot 20 km uit de kust van Petten en omgeving. Twee cases zijn in beschouwing genomen, te weten een milde en een extreme stormsituatie. De uitkomst van het onderzoek is dat de geconstateerde verschillen tussen de modelresultaten verkregen op verschillende rekenroosters marginaal zijn met uitzondering van het grofste rechthoekige rekenrooster (N02). Ook is gebleken dat verdere verfijning in het kromlijng rooster kustlangs aanbrengen niet nodig is.

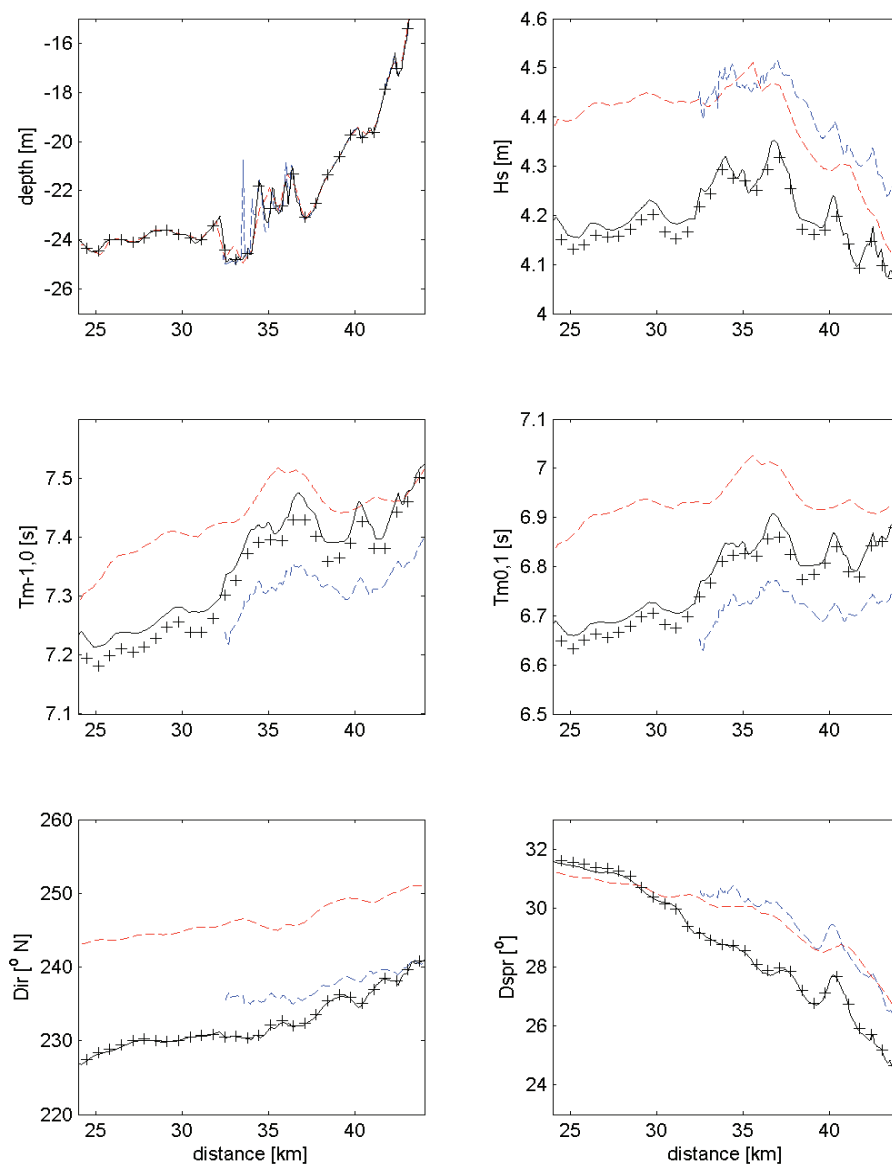
De conclusie is dat modelresultaten verkregen op het kromlijng rekenrooster voor HR2006 evengoed behaald kan worden op een reeks van geneste rechthoekige roosters maar met dat verschil dat bij het gebruik van kromlijng rooster géén sprake is van nesting. Dit vereenvoudigt het uitvoeringsproces waarbij kans op gemaakte fouten relatief kleiner wordt.

Literatuur

- [1] Walburg, A.M. (2005). Constructie van de bodem voor het rekenrooster van SWAN t.b.v. de HR2006. Werkdocument RIKZ/KW/2005.106w.
- [2] Zijlema, M. (2005). Rekenrooster voor de Hollandse Kust ten behoeve van HR2006. Memo 2005.



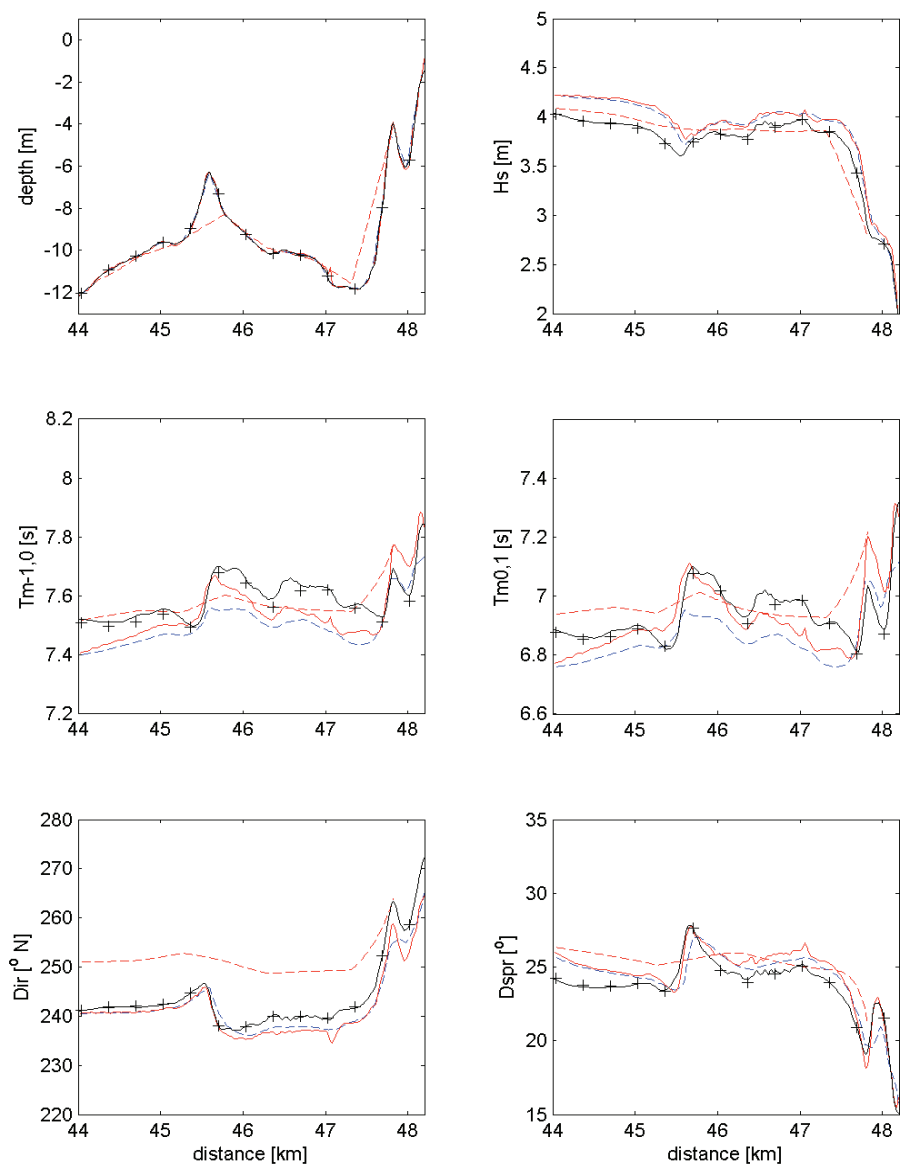
Location Petten, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 2a. Verloop van verschillende grootheden langs de raai van 20 km nabij Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



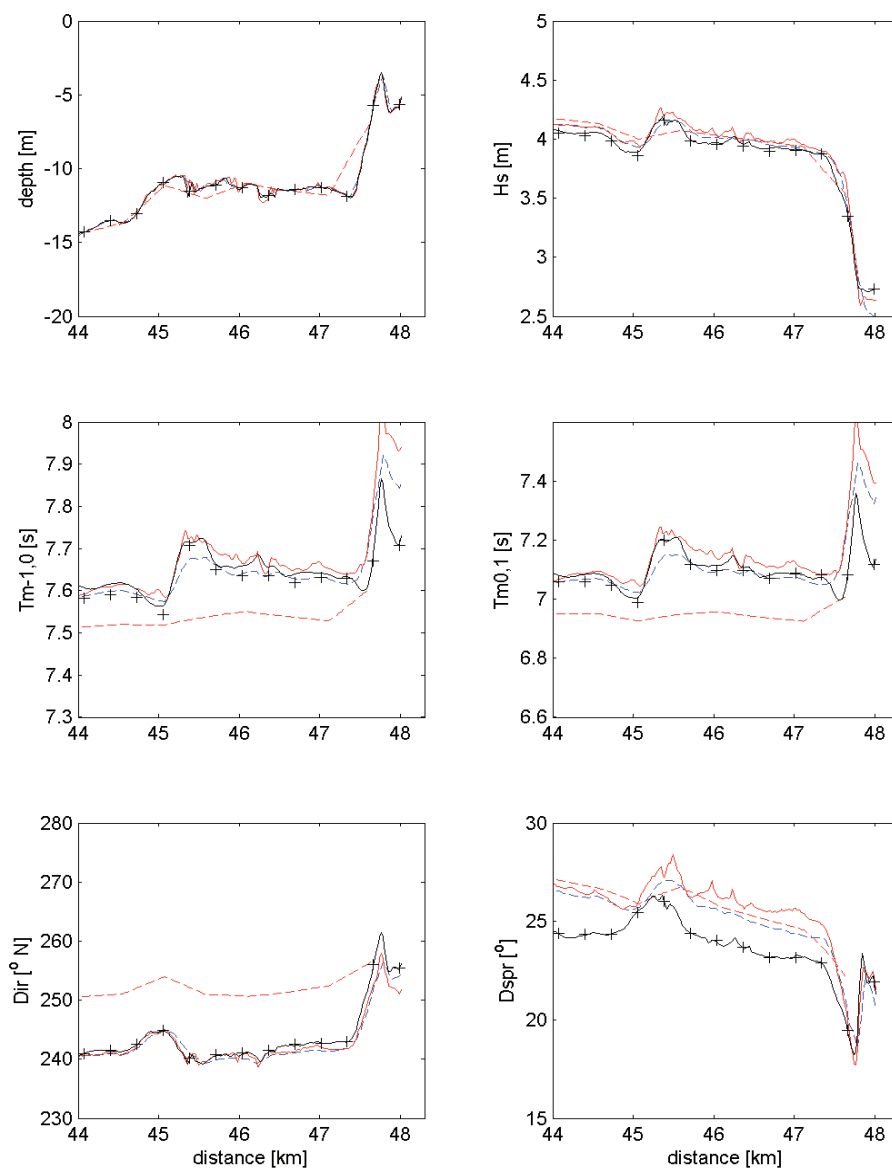
Location Petten, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 2b. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km nabij Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



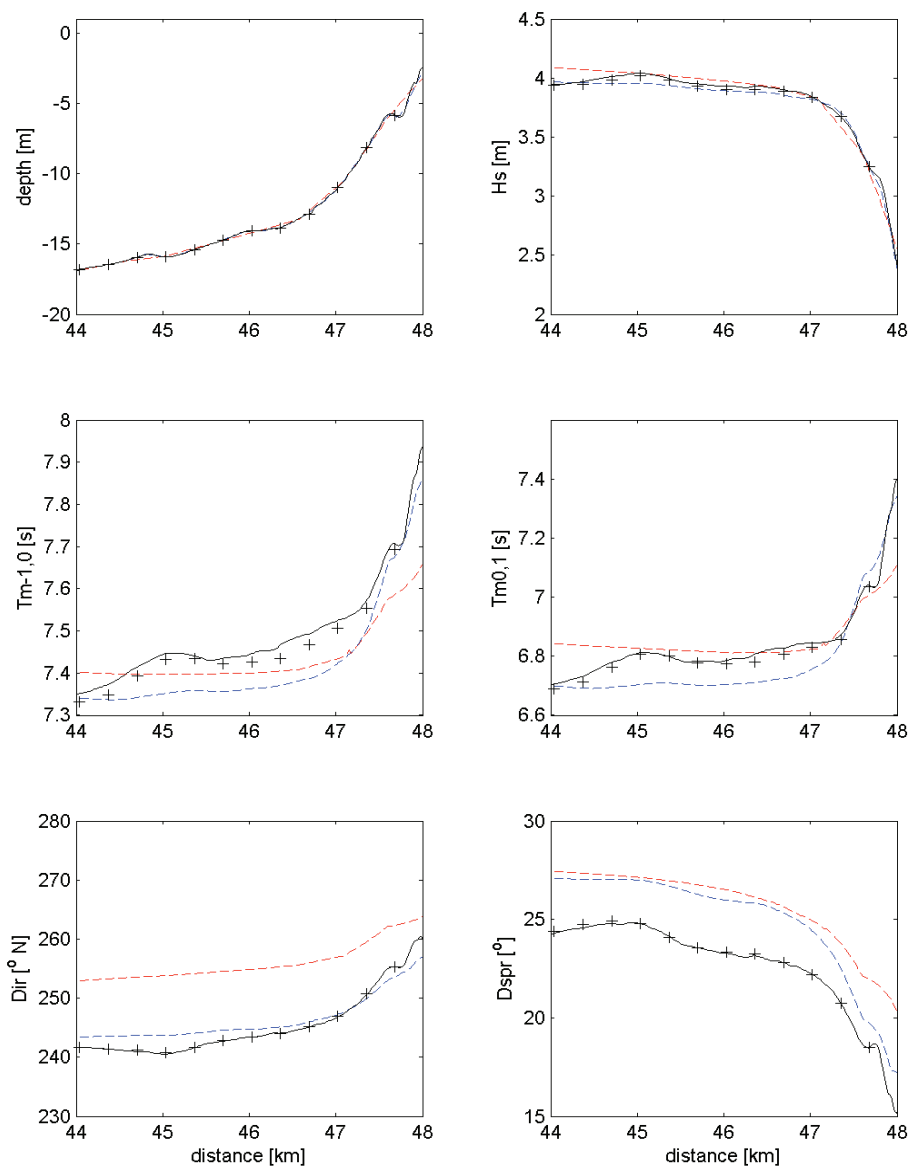
Location 1 km south, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 3. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 1km ten zuiden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 × 768, + + + + + = kromlijng 3960 × 768.



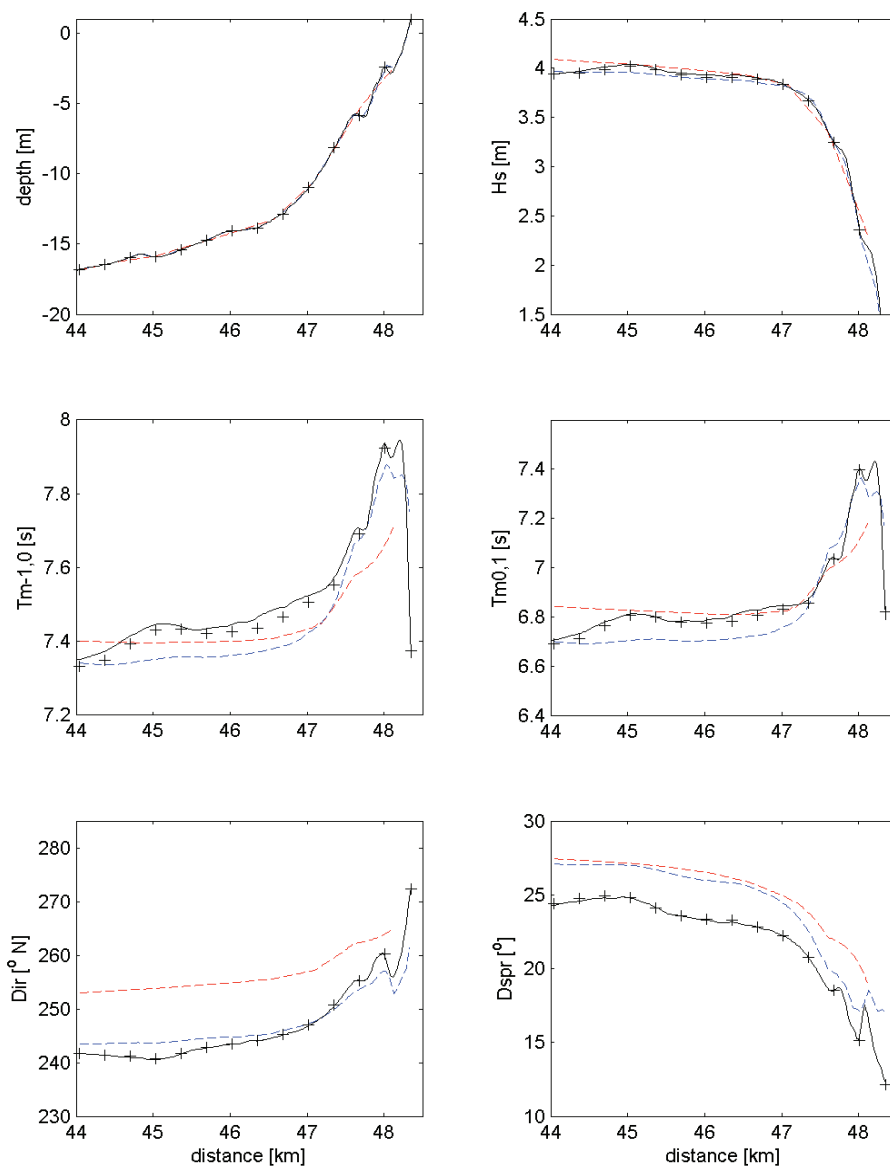
Location 5 km south, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 4. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 5km ten zuiden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: --- = N02, --- = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, +++++ = kromlijng 3960 x 768.



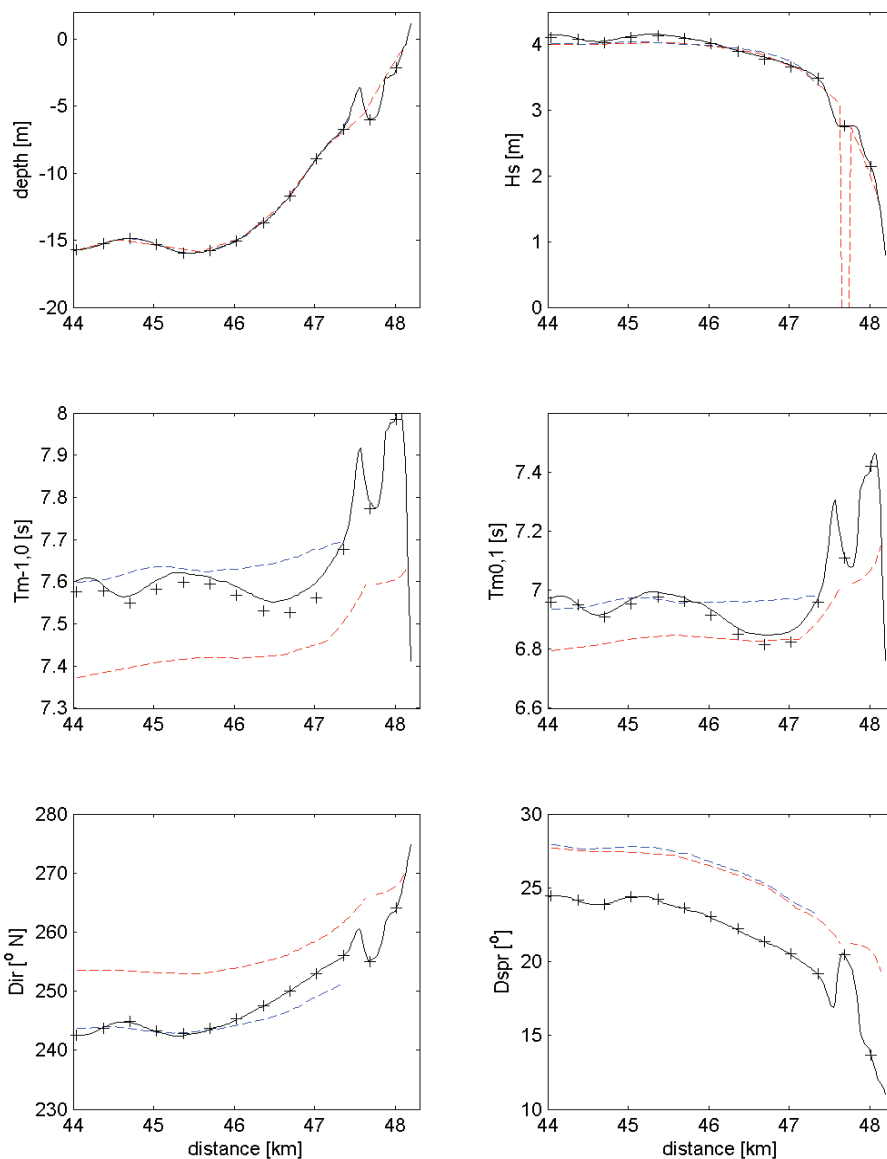
Location 10 km south, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 5. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 10km ten zuiden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: --- = N02, --- = K12, --- = E24, — = kromlijng 1980 x 768, +++++ = kromlijng 3960 x 768.



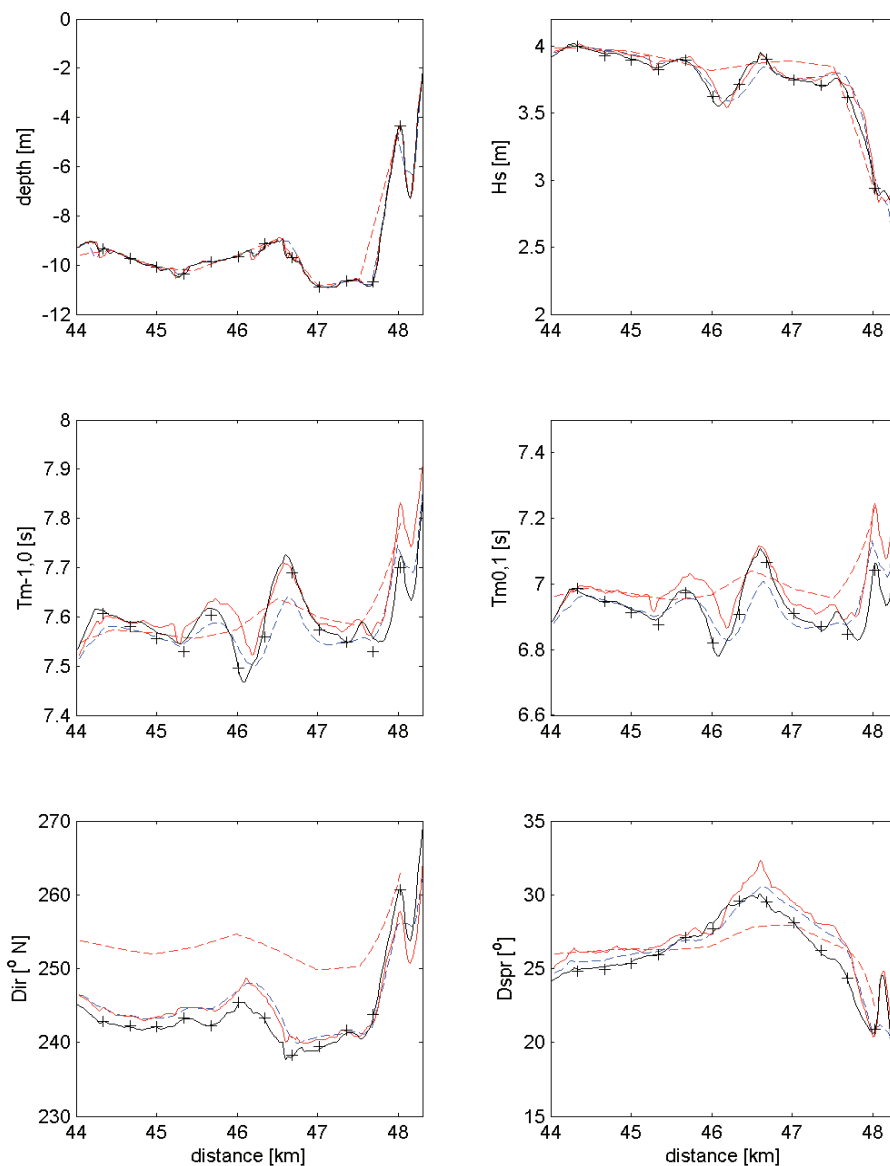
Location 20 km south, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 6. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 20km ten zuiden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 × 768, + + + + + = kromlijng 3960 × 768.



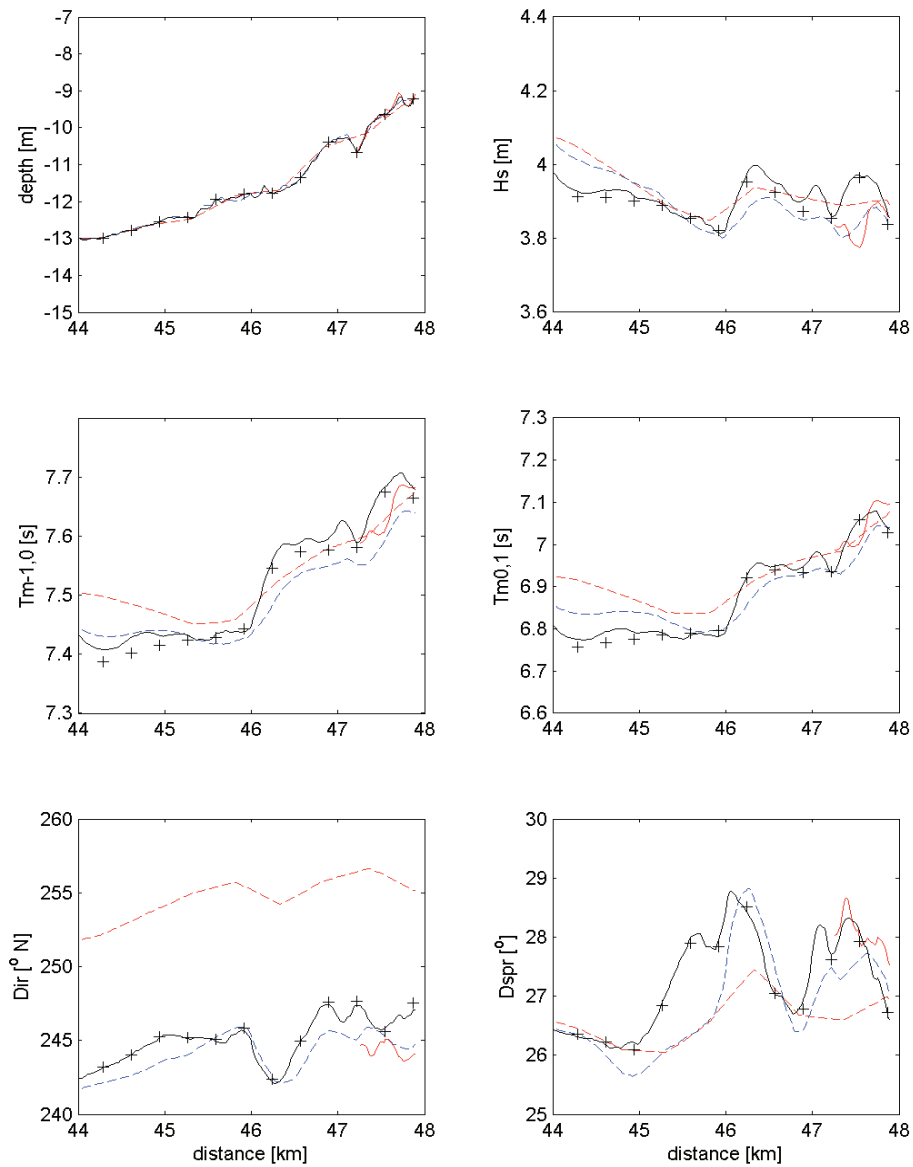
Location 1 km north, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 7. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 1km ten noorden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



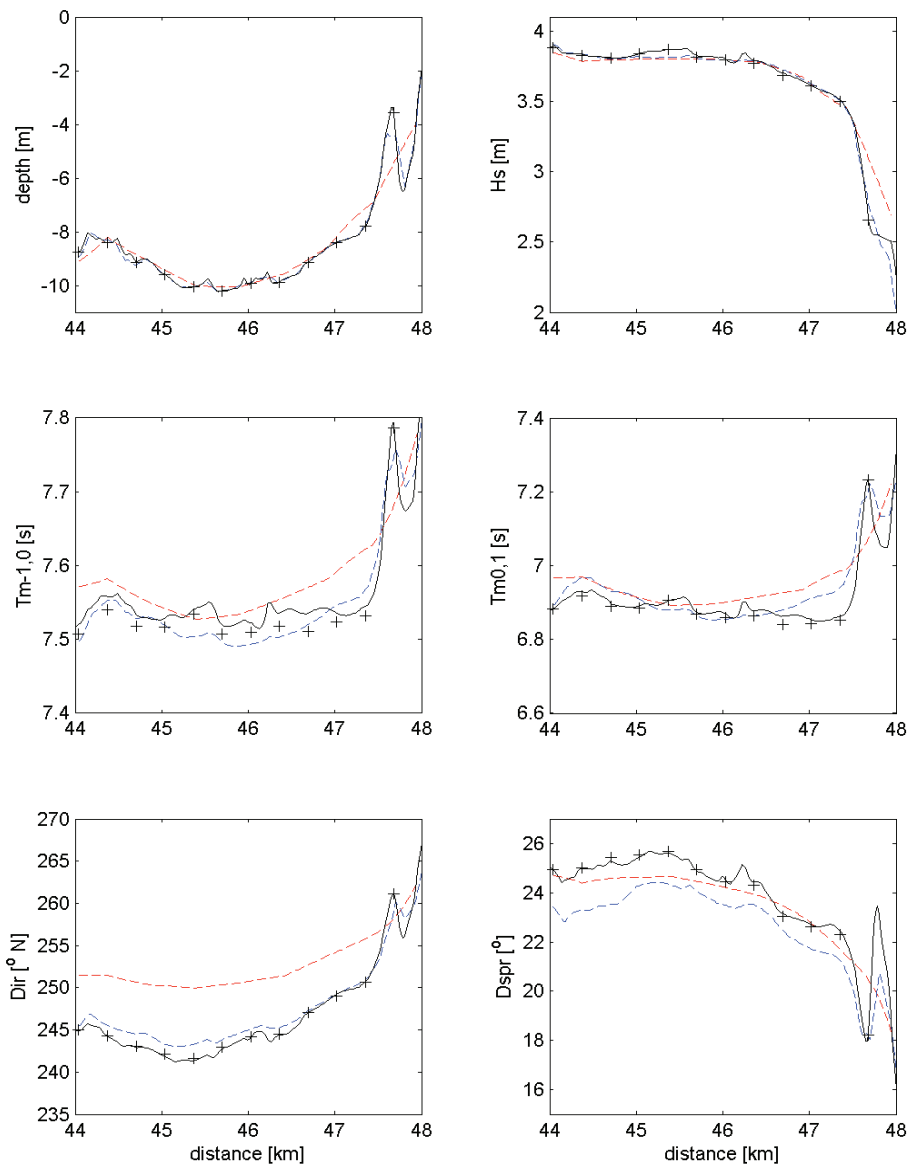
Location 5 km north, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 8. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 5km ten noorden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



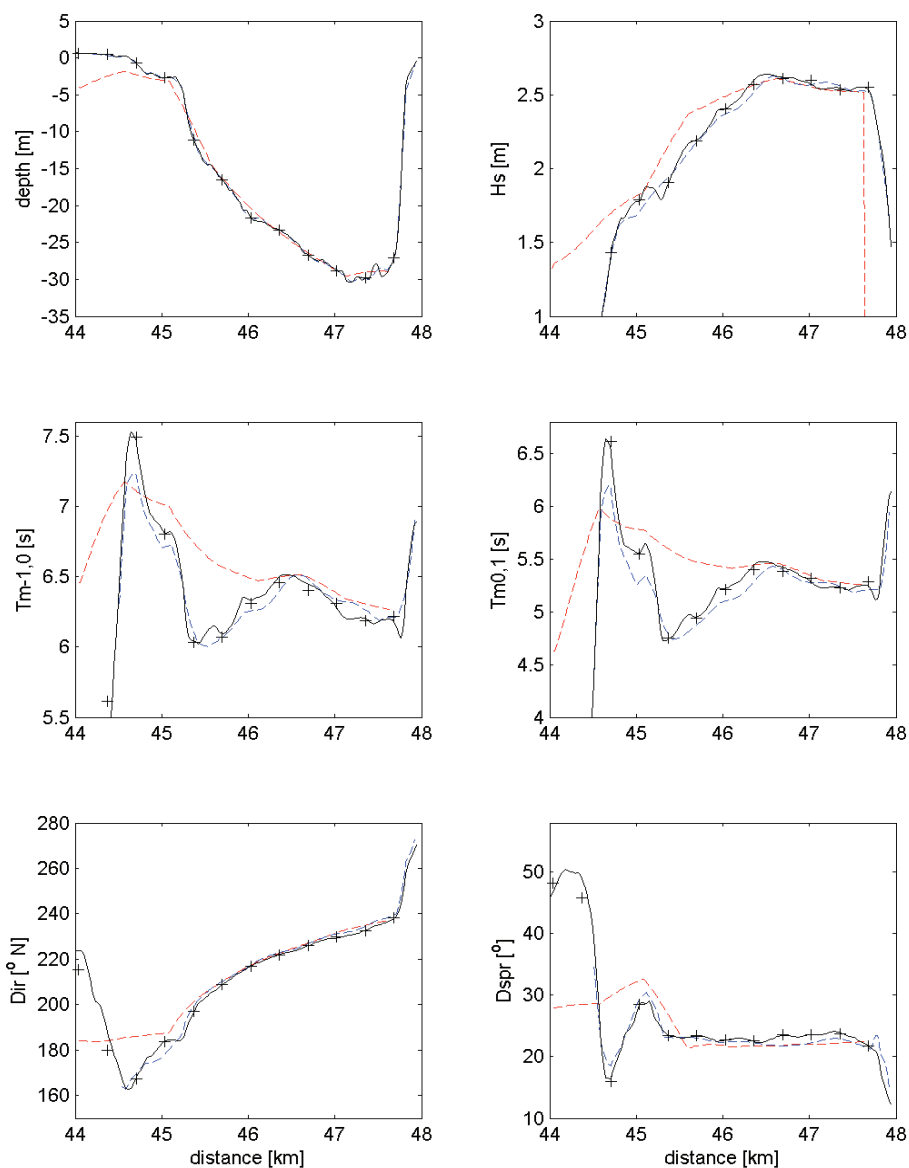
Location 10 km north, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 9. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 10km ten noorden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: --- = N02, --- = K12, --- = E24, — = kromlijng 1980 × 768, +++++ = kromlijng 3960 × 768.



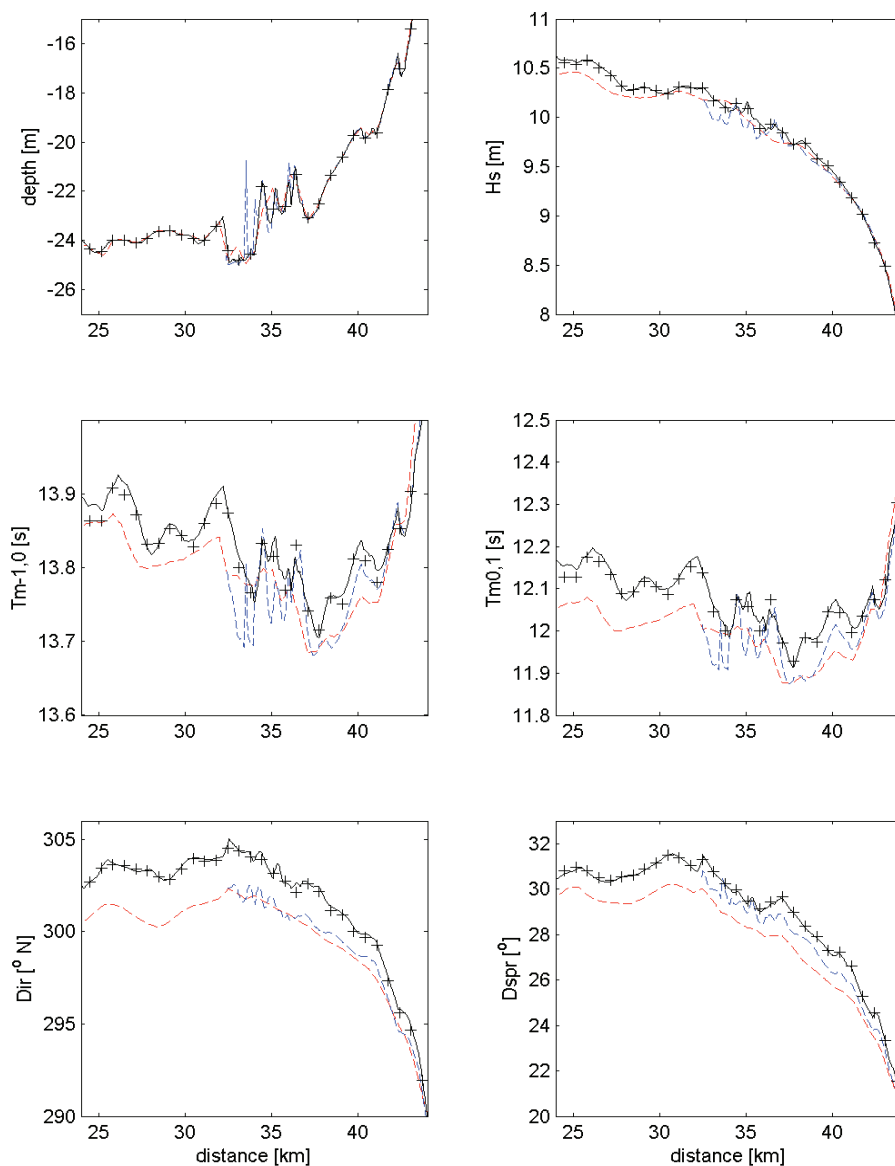
Location 20 km north, $\zeta = 2$ m, $U_{10} = 25$ m/s, dir = 240° N



Figuur 10. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 20km ten noorden van Petten voor de situatie K25D240L020P2. Resultaten van verschillende roosters: --- = N02, --- = K12, --- = E24, — = kromlijng 1980 × 768, +++++ = kromlijng 3960 × 768.



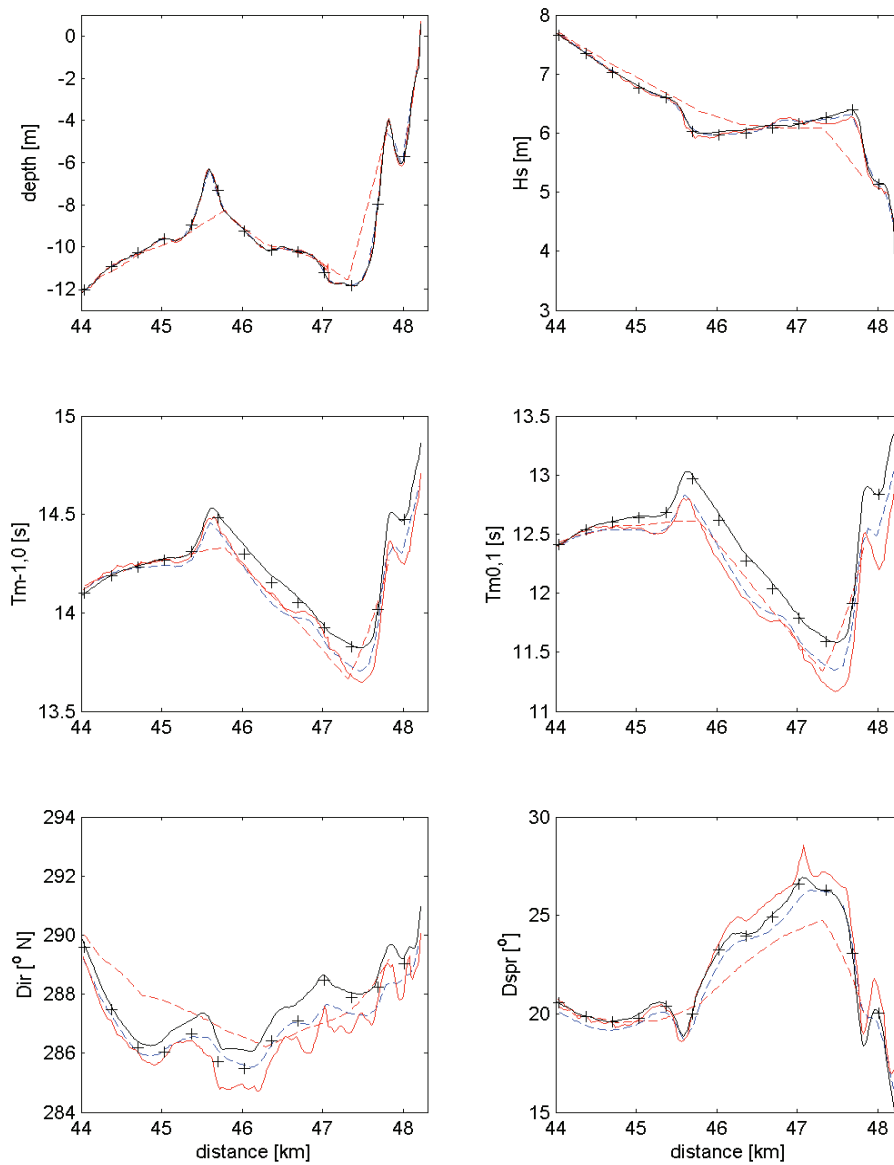
Location Petten, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 11a. Verloop van verschillende grootheden langs de raai van 20 km nabij Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



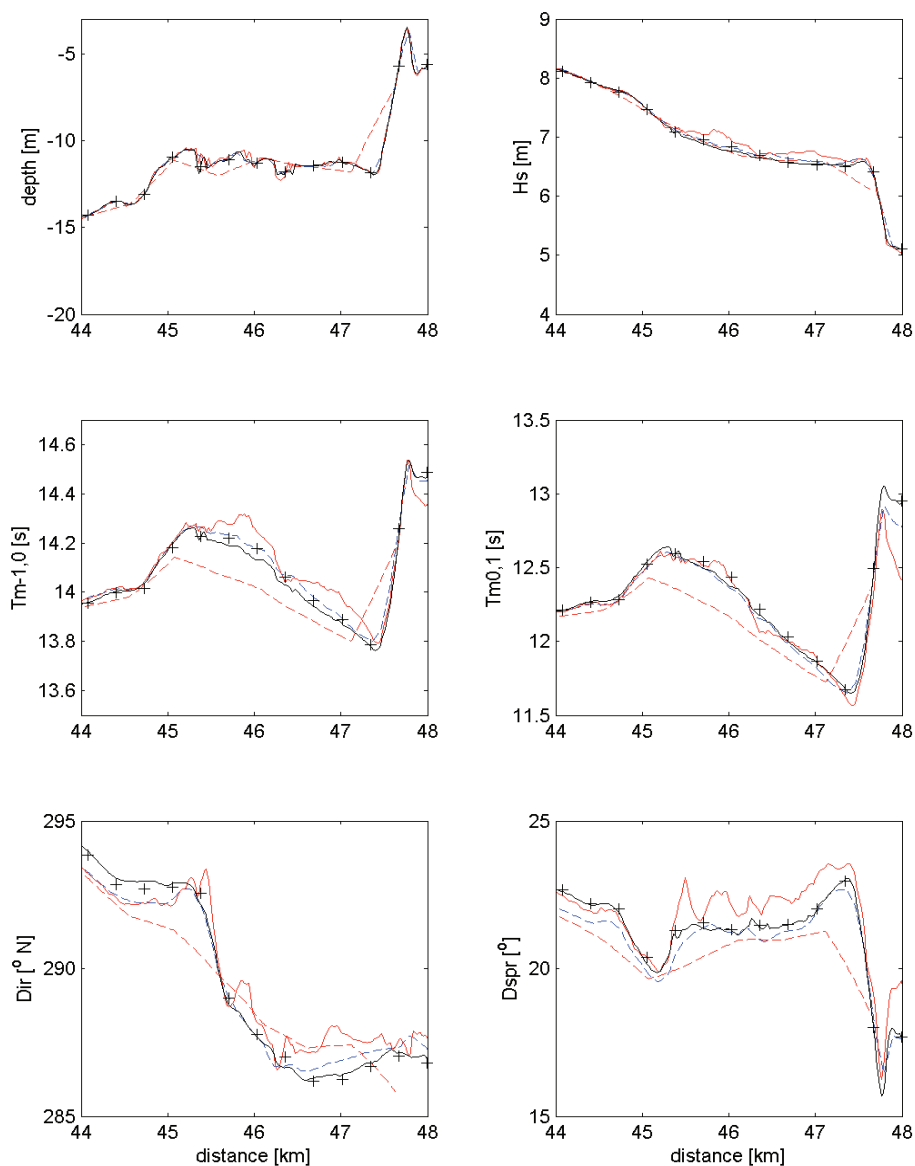
Location Petten, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 11b. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km nabij Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijnig 1980 x 768, + + + + + = kromlijnig 3960 x 768.



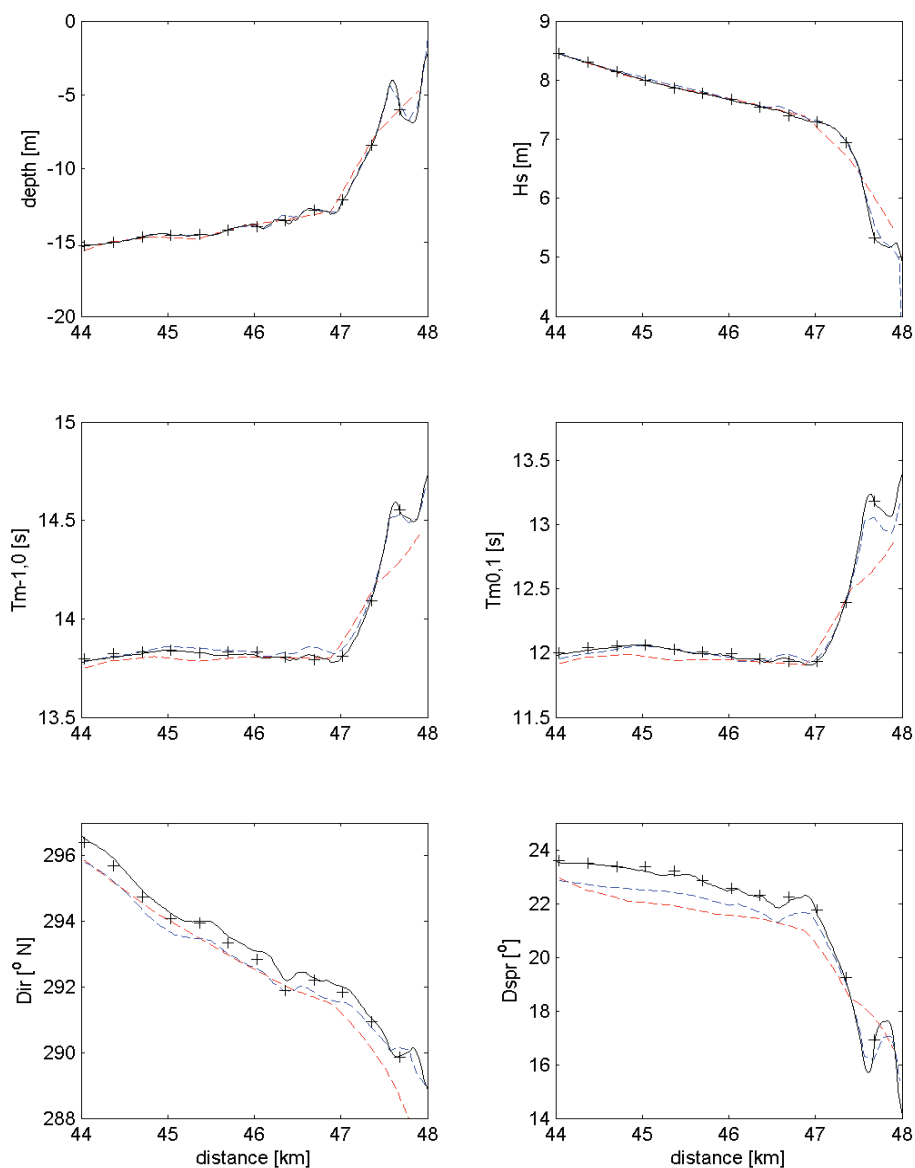
Location 1 km south, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 12. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 1km ten zuiden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + = kromlijng 3960 x 768.



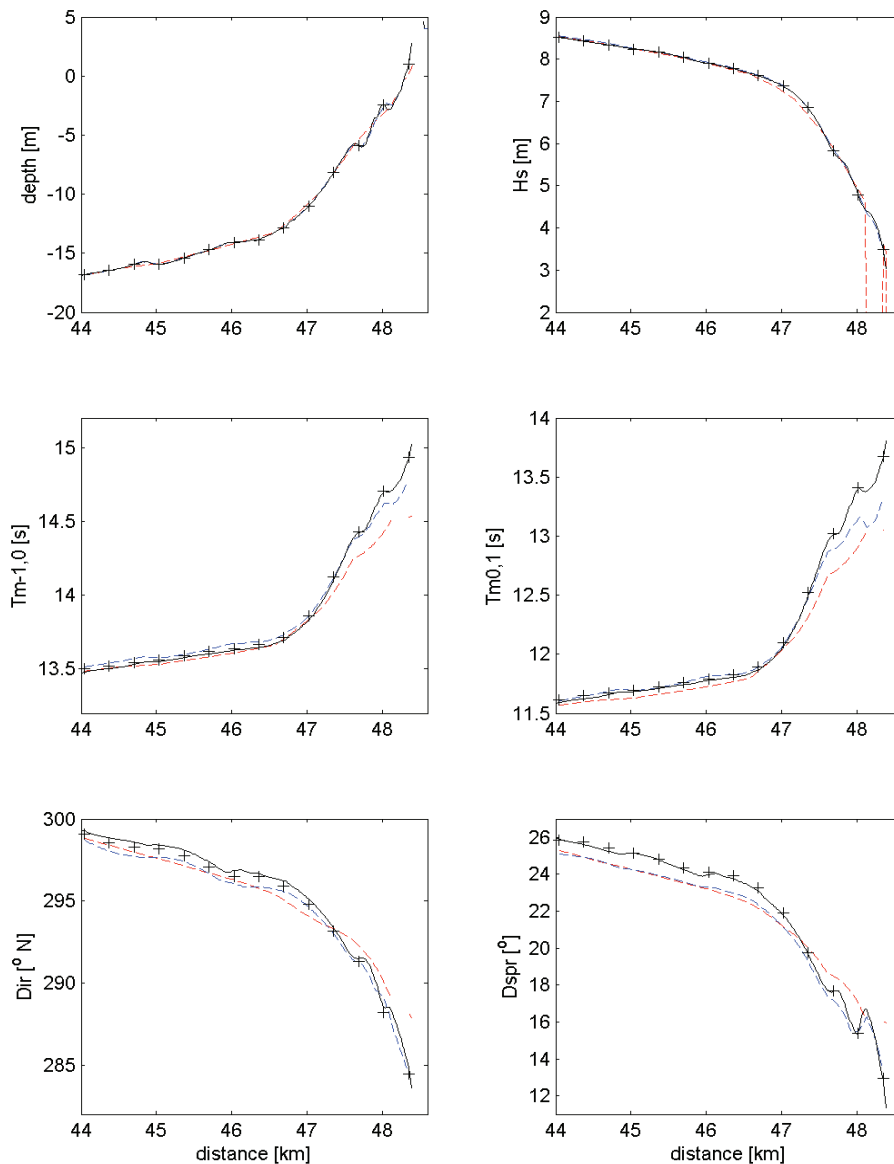
Location 5 km south, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 13. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 5km ten zuiden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: --- = N02, --- = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, +++++ = kromlijng 3960 x 768.



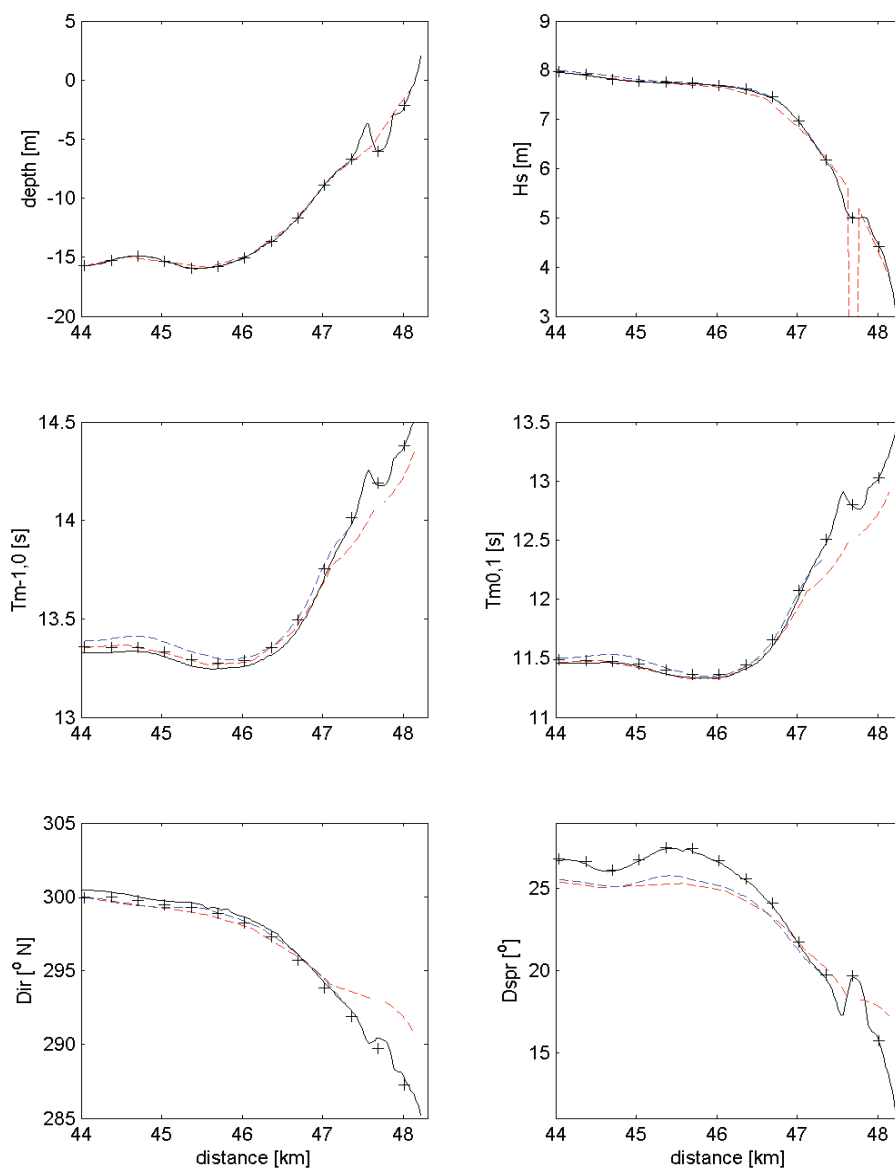
Location 10 km south, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 14. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 10km ten zuiden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 × 768, + + + + + = kromlijng 3960 × 768.



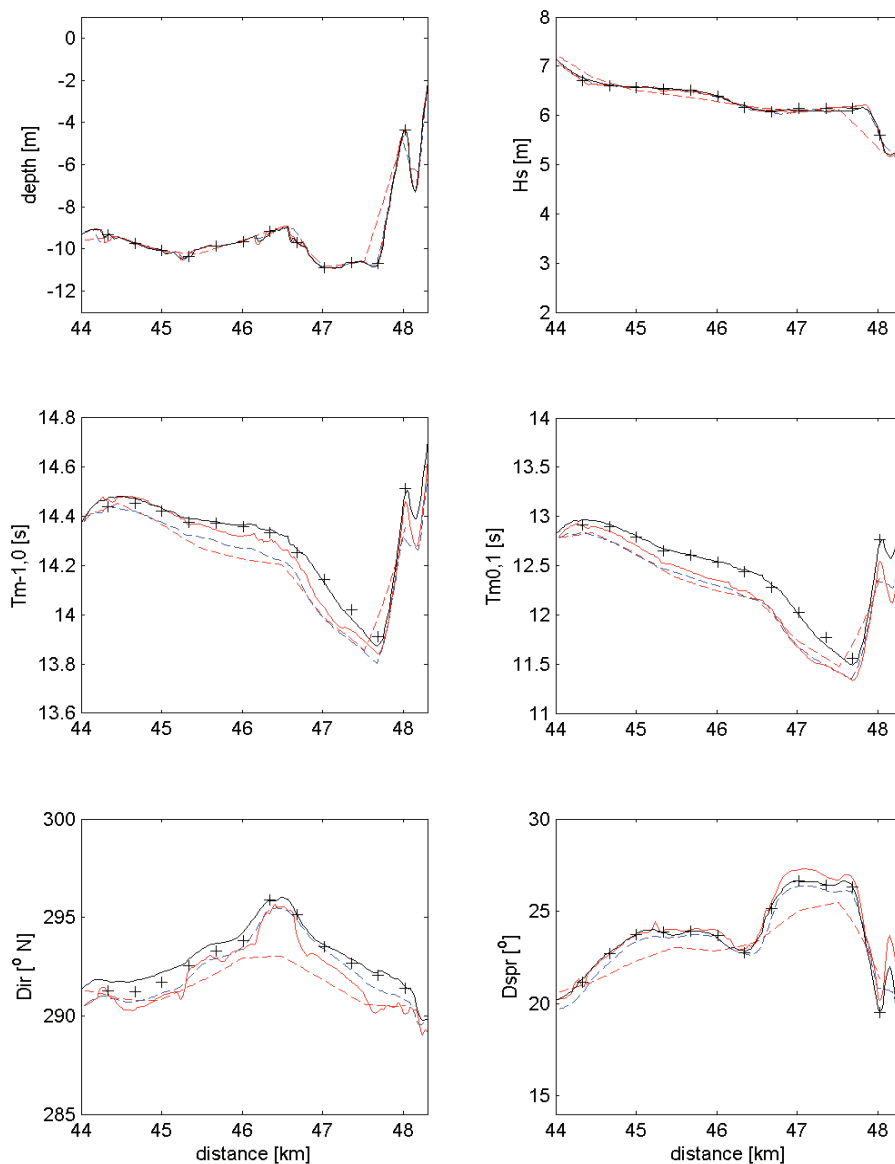
Location 20 km south, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 15. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 20km ten zuiden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 × 768, + + + + = kromlijng 3960 × 768.



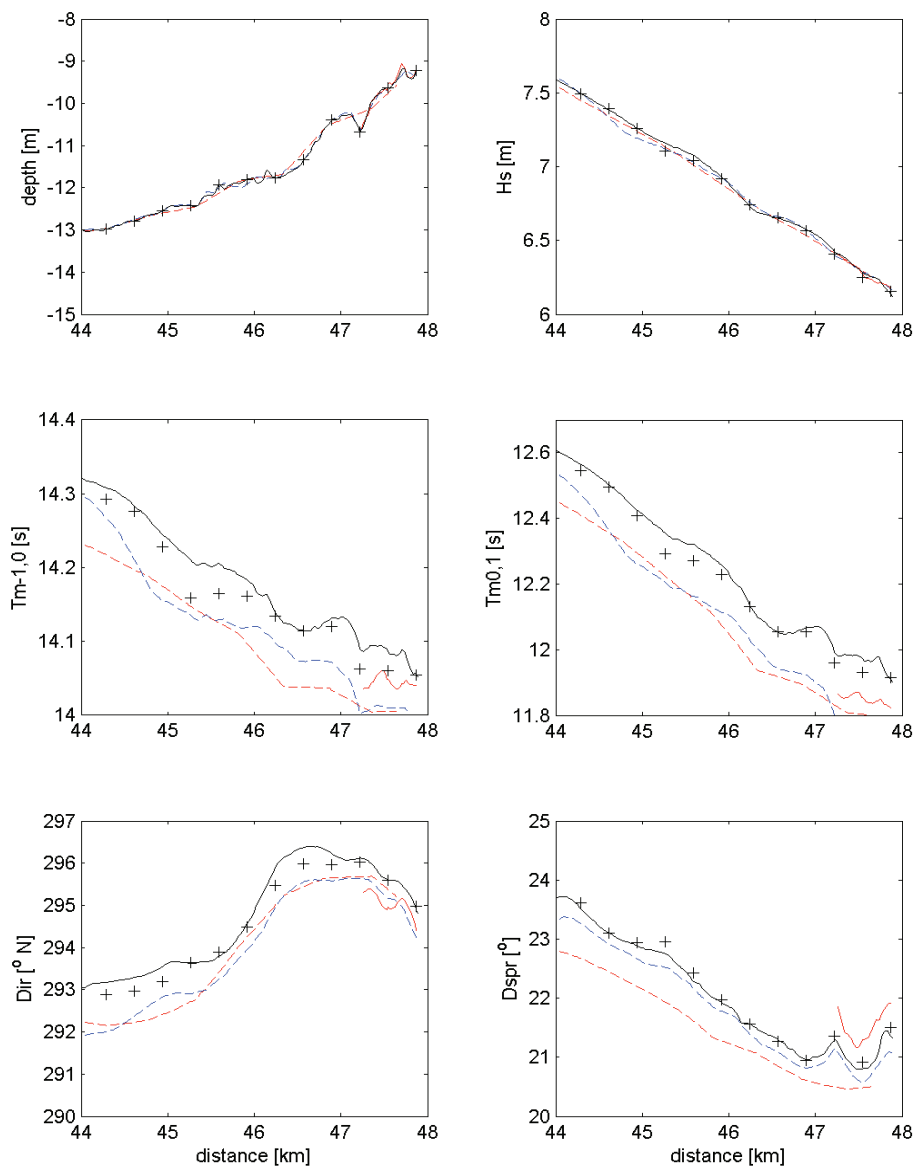
Location 1 km north, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 16. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 1km ten noorden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



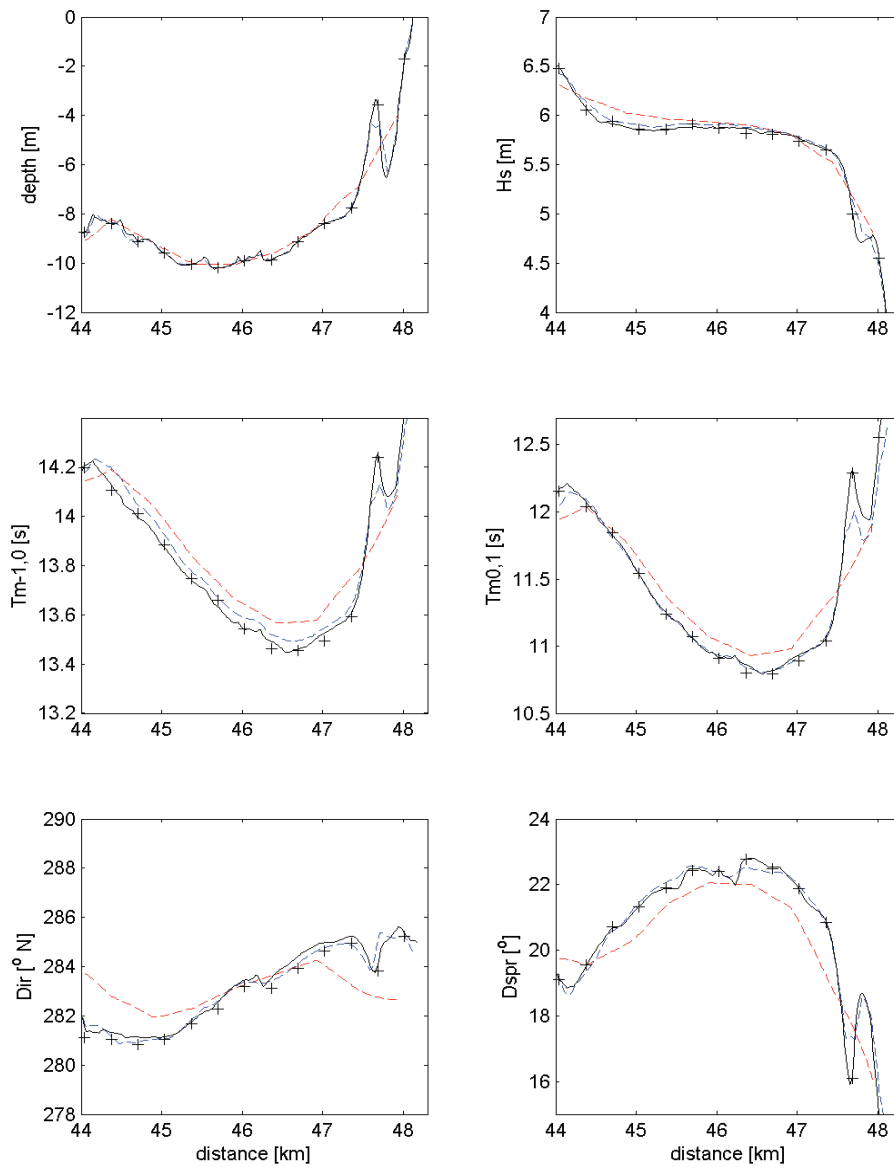
Location 5 km north, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 17. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 5km ten noorden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 x 768, + + + + + = kromlijng 3960 x 768.



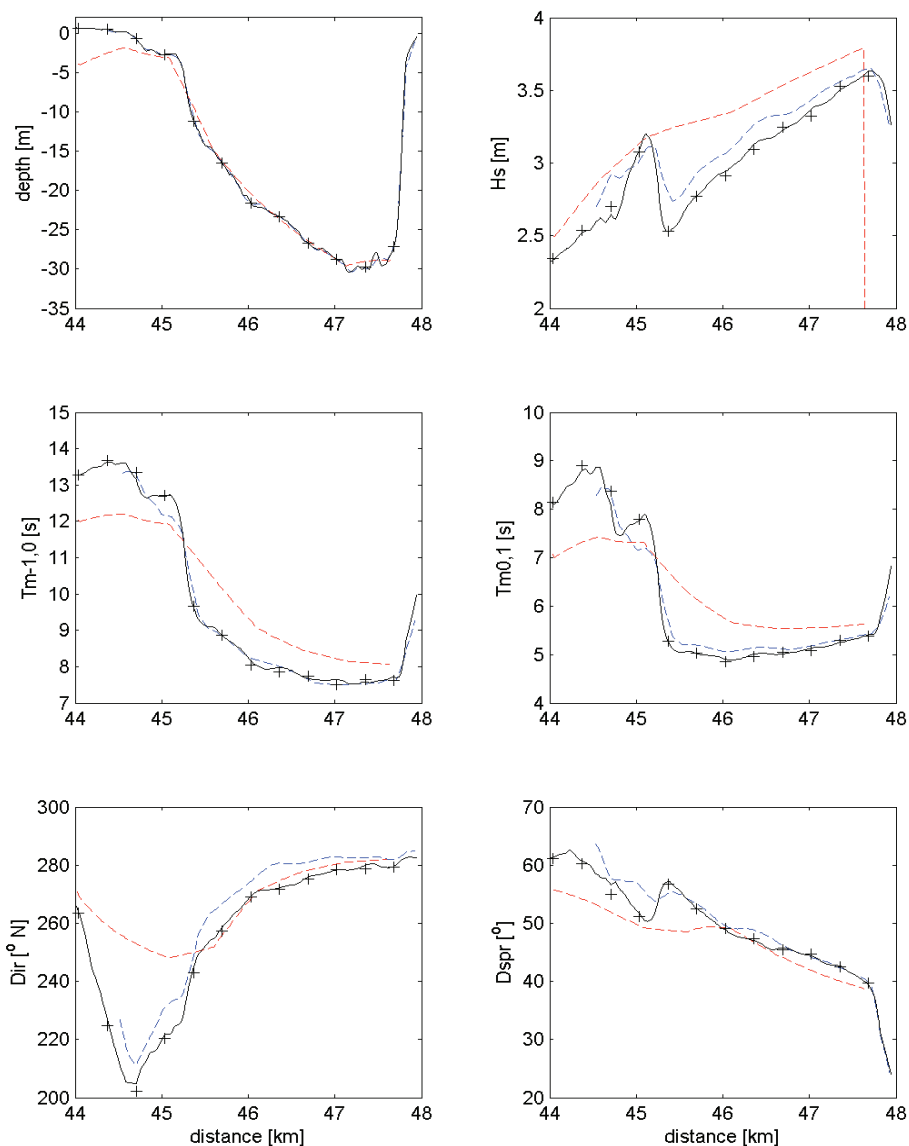
Location 10 km north, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 18. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 10km ten noorden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijnig 1980 x 768, + + + + + = kromlijnig 3960 x 768.



Location 20 km north, $\zeta = 6$ m, $U_{10} = 40$ m/s, dir = 300° N



Figuur 19. Verloop van verschillende grootheden langs de raai in laatste 4km en 20km ten noorden van Petten voor de situatie K40D300L060P2. Resultaten van verschillende roosters: - - - = N02, - - - = K12, — = E24, — = kromlijng 1980 × 768, + + + + + = kromlijng 3960 × 768.



Aan
HR2006 betrokkenen

Van
M. Zijlema
Datum
3 januari 2006
Doorkiesnummer

-
Bijlage(n)

-
Onderwerp

Verschillen in gebruikte bodems van HR2006 en RAND2001

Doel

Het doel van dit memo is inzichtelijk te maken in hoeverre er verschillen zijn tussen de gebruikte bodemschematisaties van RAND2001 en HR2006.

Inleiding

In het project "SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust" worden een 252-tal SWAN berekeningen uitgevoerd voor de Hollandse Kust. Dit gebeurt op een kromlijinig rooster. Bij dit rooster is een bodemschematisatie vervaardigd. In het werkdocument [1] wordt daar een uitgebreid verslag gedaan. In Figuur 1 zijn de dieptewaarden op het kromlijinig SWAN rooster weergegeven.

Enige jaren geleden zijn binnen de projecten DIJKBEKLEDINGEN en INVENT door het RIKZ bodemschematisaties gemaakt van alle Nederlandse estuaria en kustwateren.

Deze bodemschematisaties zijn vervolgens gebruikt bij het bepalen van de golfrandvoorwaarden voor 2001 met behulp van SWAN (zg. RAND2001). De werkwijze staat uitgebreid beschreven in het rapport van Svasek [2]. De golfberekeningen zijn uitgevoerd op een reeks van rechthoekige roosters.

Om de verschillen tussen de resultaten van HR2006 en RAND2001 op de juiste waarde te kunnen schatten is het van belang om de verschillen in de gebruikte bodems in de SWAN berekeningen van HR2006 en die van RAND2001 inzichtelijk te maken.

Verschillen in gebruikte bodems

Voor RAND2001 zijn er berekeningen uitgevoerd op een aantal rechthoekige roosters die qua omvang kleiner zijn dan het kromlijinig rooster welke voor



HR2006 is toegepast. In dit memo zullen we in eerste instantie het grootste en tevens grofste (500m × 500m) rechthoekig rooster die voor RAND2001 is gebruikt als uitgangspunt nemen. Dit rooster wordt N02 genaamd. Om het verschil met het gebied binnen het kromlijng rooster mogelijk te maken zou er aldus interpolaties van de dieptewaarden op de punten van het rechthoekig rooster binnen het kromlijng rooster moeten worden uitgevoerd. Een betere methode is echter om uit te gaan van de originele bodemwaarden en die vervolgens “te prikken” op het rechthoekige rooster N02. Deze methode staat beschreven in [1] en is in dit kader opnieuw toegepast voor het rechthoekig rooster N02. Het resultaat is weergegeven in Figuur 2. De gebruikte bodemwaarden voor de RAND2001 berekeningen zijn weergegeven in Figuur 3.

In Figuur 4 is het verschil tussen de gebruikte bodems van HR2006 en RAND2001 geplote. In de kustnabije zone (zeg vanaf -20 m lijn tot de kust) is het verschil ogenschijnlijk niet zo groot. We komen terug op dit punt. Daarentegen is in de buitenzone het verschil significant groot (ongeveer 25%). Dit verschil kan mogelijk worden verklaard door het feit dat de vaklodingen in de loop der jaren sterk verbeterd is. Er zijn uiteraard ook andere mogelijke verklaringen voor het geconstateerde verschil zoals de keuze in de bodemligging (gemiddelde omstandigheden of rekening houden met mogelijke zeespiegelstijging, etc.), interpolatietechnieken, etc.

We bestuderen vervolgens de gebruikte bodems langs de gesloten kust welke tevens de Hondsbossche en Pettemer Zeeweringen omvat. Hiervoor gebruiken we het fijnste beschikbare rooster van RAND2001, t.w. het rechthoekige rooster D63 (20m × 20m). Op dit rooster zijn de bodemgegevens van HR2006 geprikt volgens de methode zoals beschreven in [1]. Het verschil tussen de gebruikte bodems van HR2006 en RAND2001 is weergegeven in Figuur 5. Slechts aan de kust zijn de verschillen relatief het grootst. De verschillen variëren van minimaal +1m tot +7m. Nabij de kust is de bodemdiepte van de HR2006 berekeningen groter dan die van RAND2001. Dit komt omdat voor HR2006 de *gemiddelde* bodemdiepte (en derhalve veelal dieper dan in werkelijkheid) is gebruikt terwijl in RAND2001 berekeningen gekozen is voor de werkelijke bodem gebaseerd op lozingen van 1995⁹. Naar verwachting zullen de met HR2006 berekeningen verkregen significante golfhoogtes groter zijn dan die van RAND2001.

In Figuur 6 is het verschil in bodems tussen HR2006 en RAND2001 rondom Hondsbossche Zeewering weergegeven. Dit is een uitsnede van het D63 rooster (20m × 20m). Ongeveer 100m uit de kust is er sprake van een maximale verschil van 7m in diepte tussen HR2006 en RAND2001. Aan de “teen van de dijk” (ongeveer 50m verderop) is er een verschil van ongeveer 2m in diepte tussen de nieuwe en oude bodems. Bij een verschil van 2m in diepte en een windsnelheid van 40 m/s kan het verschil in golfhoogte ruwweg oplopen tot 90cm. Figuur 7 toont de verschillen in gebruikte bodems van HR2006 en RAND2001 rond Pettemer Zeewering (op basis van D63 rooster). Nabij de kustlijn is het verschil ongeveer +1m. Dit geeft aanleiding tot ruwweg 0.5m hogere golfhoogtes in de HR2006 berekeningen ten opzichte van de RAND2001 berekeningen bij een windsnelheid van 40 m/s.

⁹ Ten tijde van het project RAND2001 waren de bodemgegevens van 1995 het meest recent.



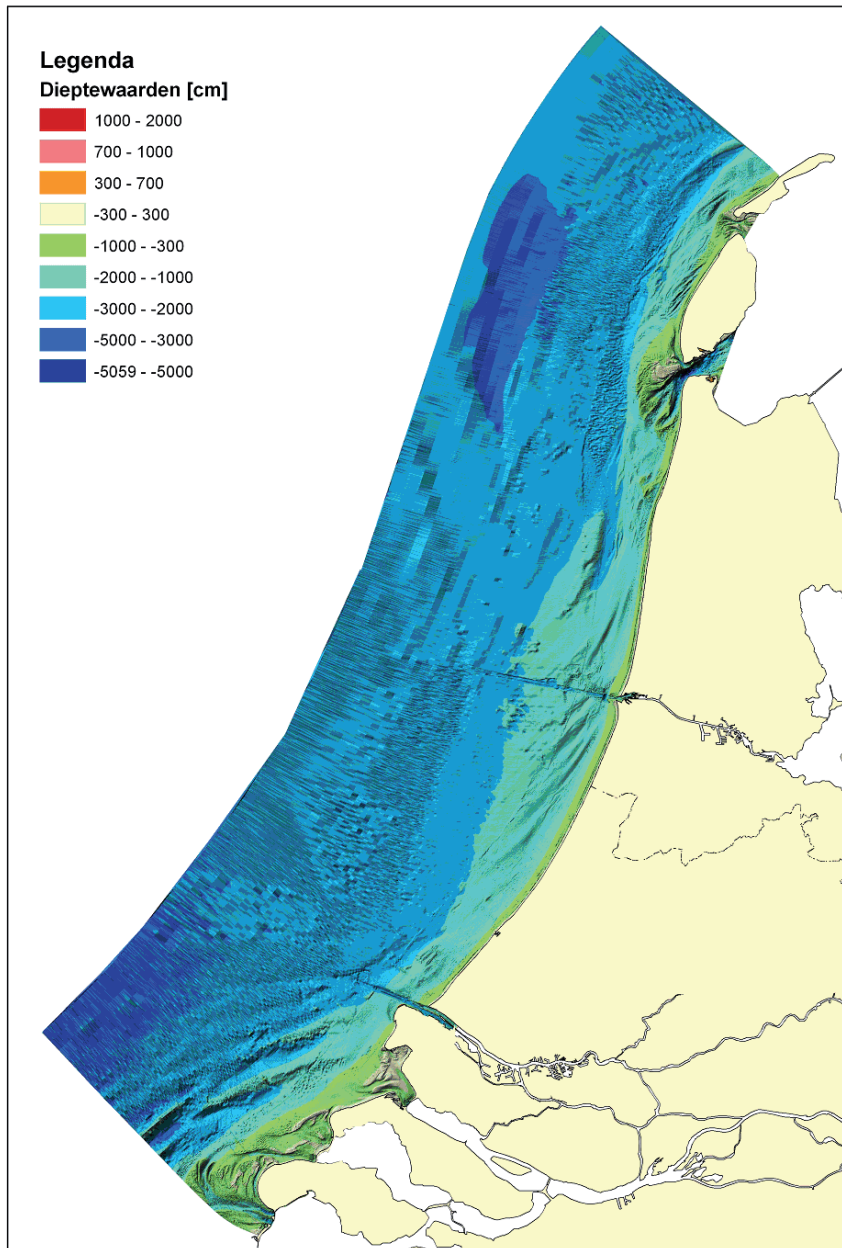
Samenvatting en conclusies

Er is een vergelijking gemaakt tussen de gebruikte bodems voor RAND2001 en HR2006 berekeningen. Uit deze vergelijking komt naar voren dat met name in de buitenzone (vanaf -20m lijn tot diep water) significante verschillen zijn geconstateerd ($\pm 25\%$).

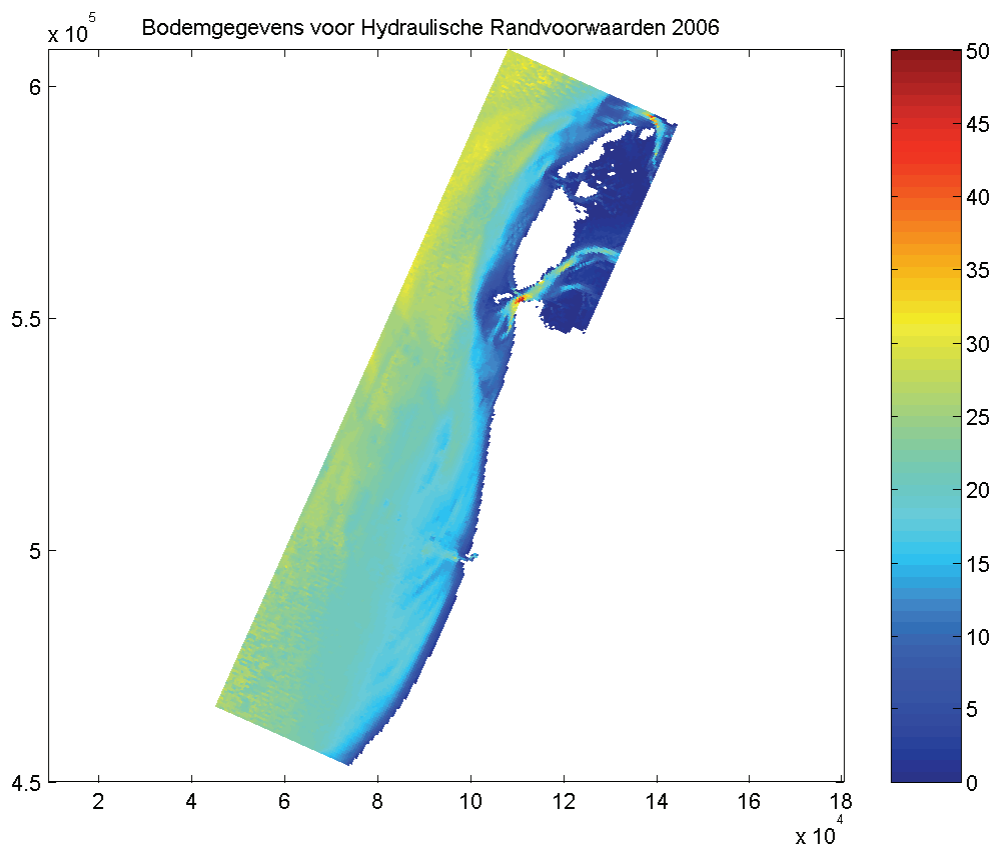
Nabij de kust nabij de Hondsbossche en Pettemer Zeeweringen zijn er absolute maximale verschillen van respectievelijk 7m en 4m tussen HR2006 en RAND2001 geconstateerd. Aan de teen van de dijk is er sprake van een verschil in diepte van 1 tot 2m. Naar verwachting zullen onder extreme situaties (windsnelheid van 40 m/s) de met HR2006 berekeningen verkregen significante golfhoogtes rond de betreffende zeeweringen ongeveer 0.5m tot hooguit 1m hoger zijn dan die van RAND2001.

Literatuur

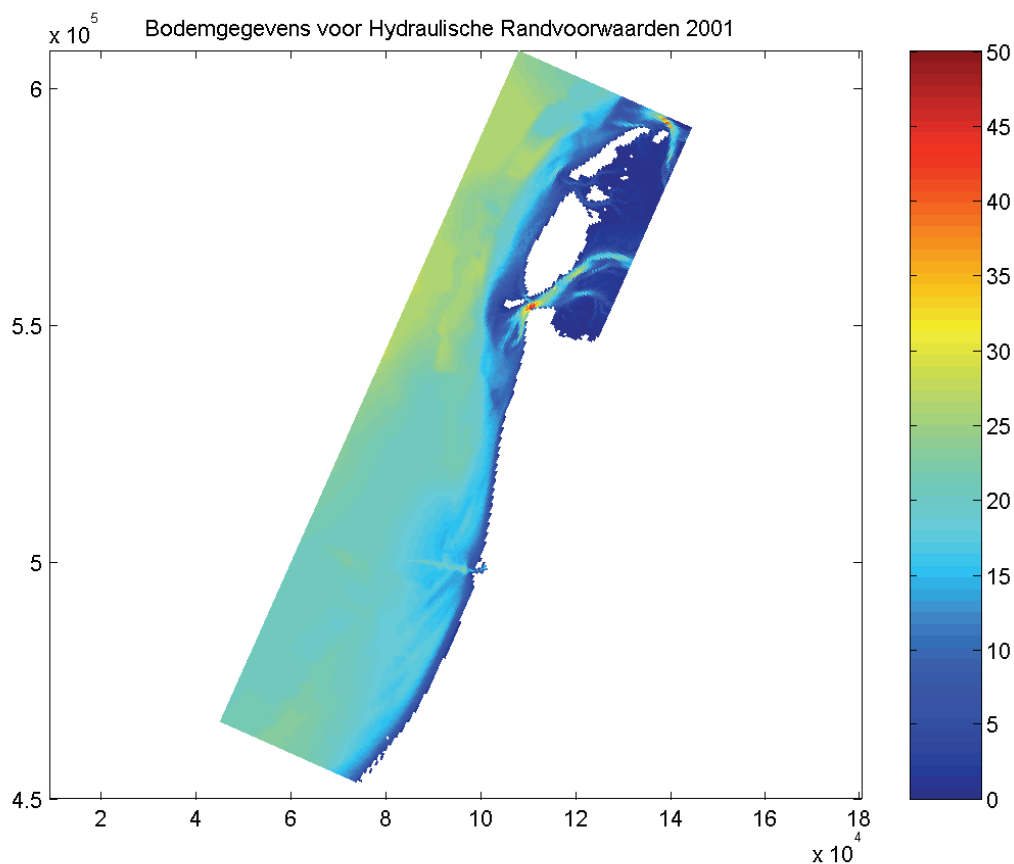
- [1] Walburg, A.M. (2005). Constructie van de bodem voor het rekenrooster van SWAN t.b.v. de HR2006. Werkdocument RIKZ/KW/2005.106w.
- [2] Svasek (1999). Rapportage behorende bij de CD "Kustbodems". Rapport d.d. 6 oktober 1999.



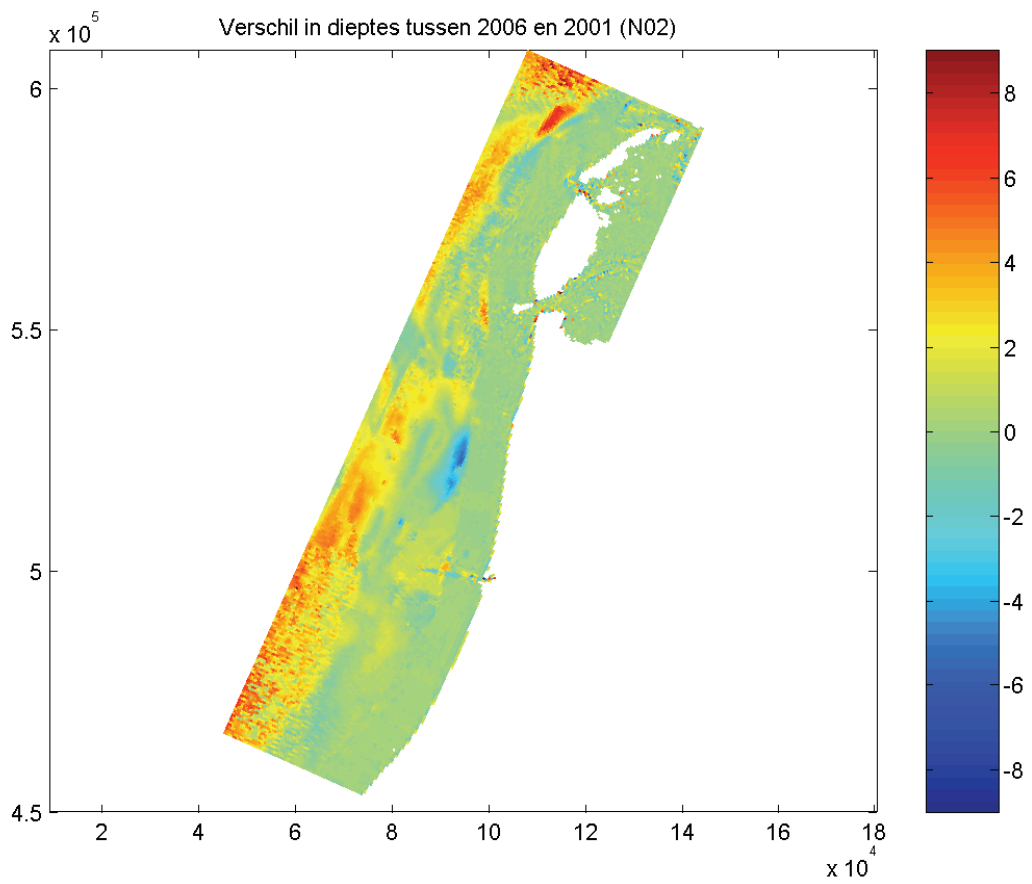
Figuur 1. De dieptewaarden op het kromlijng SWAN rooster.



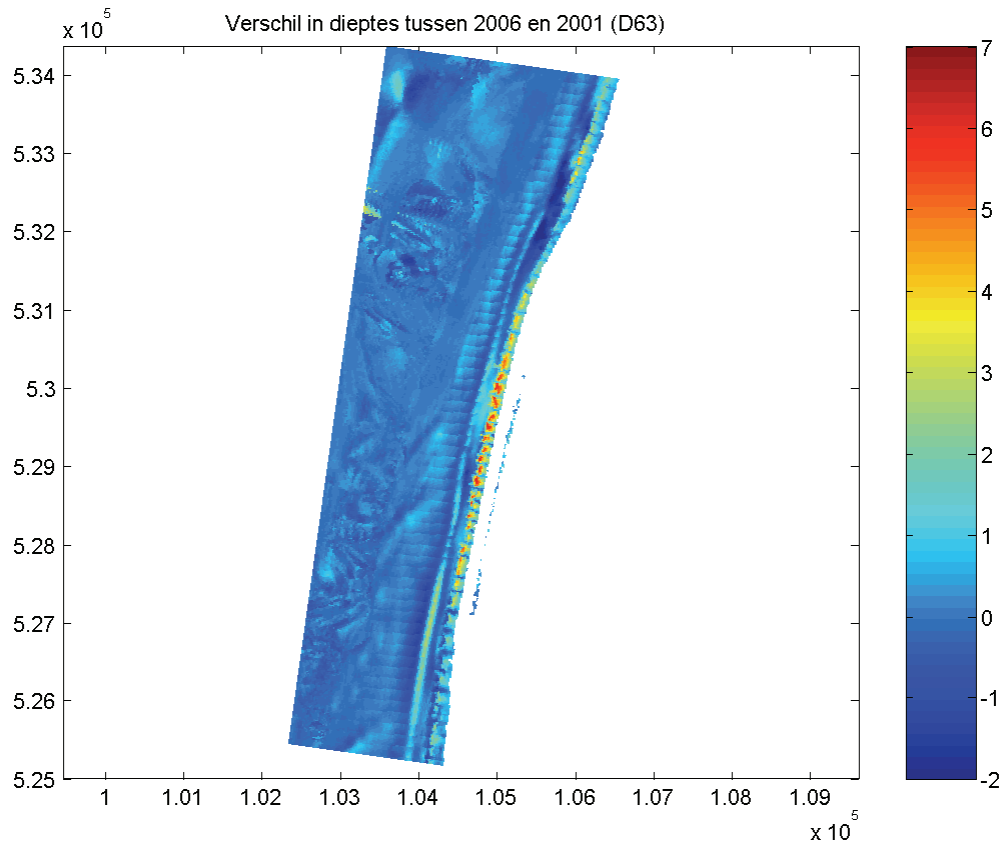
Figuur 2. De dieptewaarden (in meters) op het rechthoekig N02 rooster (500m x 500m) zoals gebruikt voor HR2006 berekeningen.



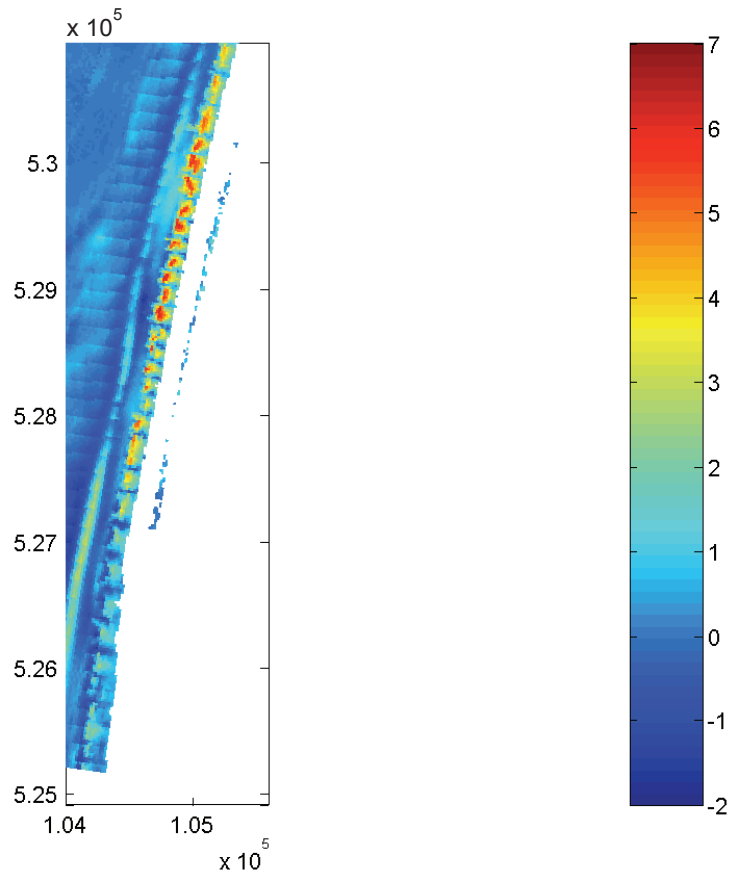
Figuur 3. De dieptewaarden (in meters) op het rechthoekig N02 rooster (500m × 500m) zoals gebruikt voor RAND2001 berekeningen.



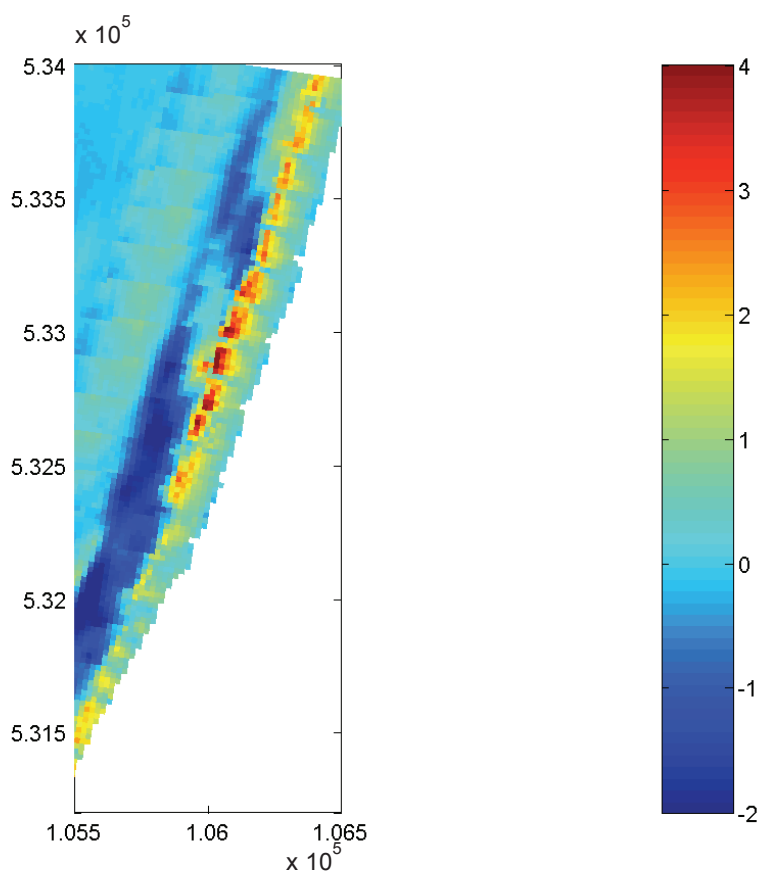
Figuur 4. Verschil in dieptewaarden (in meters) tussen die van 2006 en 2001 op het rechthoekig N02 rooster (500m x 500m).



Figuur 5. Verschil in dieptewaarden (in meters) tussen die van 2006 en 2001 op het rechthoekig D63 rooster (20m x 20m).



Figuur 6. Verschil in dieptewaarden (in meters) tussen die van 2006 en 2001 rondom Hondsbossche zeewering.



Figuur 7. Verschil in dieptewaarden (in meters) tussen die van 2006 en 2001 rondom Pettemer zeewering.



Memo

Aan

-

Nr

HIJOS-2005-003-T

Janssen, J.P.F.M

Datum

14-2-2005

Doorkiesnummer

-

Bijlage(n)

-

Onderwerp

Golftransmissie IJmuiden (t.b.v. randvoorwaardenberekeningen RIKZ)

De havenhoofden bij IJmuiden zijn ondoorlatend en bovendien ruw. De golftransmissie wordt derhalve zowel door het ondoorlatende karakter als door de ruwheid beïnvloed. Er zijn hiervoor geen standaard formules beschikbaar. Wel kunnen onder- en bovengrenzen worden aangegeven op basis van bestaande formules.

Als bovengrens geldt de formule voor gladde lage (ondoorlatende) havendammen.

Als ondergrens geldt de formule voor lage breuksteen havendammen.

Voorgesteld wordt om **beide** formules mee te nemen in de bepaling van de golfrandvoorwaarden achter de havendammen om zodoende een onder- en bovengrens voor de randvoorwaarden vast te kunnen stellen.

Golftransmissie voor gladde lage havendammen (lit [1])

Voor de transmissiecoëfficiënt C_t geldt:

$$C_t = \left(-0.3 R_c / H_s + 0.75 \left(1 - e^{-0.5 \xi_p} \right) \right) \cos^{2/3} \beta \quad (1)$$

Hierin is

R_c = kruinhoogte boven stilwaterniveau [m],

H_s = significante golfhoogte aan de teen van de constructie [m]

$\xi_p = \tan(\alpha) \sqrt{H_s / L_0}$ waarbij α de taludhelling is en L_0 de diepwatergolflengte bij de piekperiode T_p

β = golfinvalshoek t.o.v. de havendam (0° = loodrecht op de dam)



Memo

(Opm: als T_p geen uitvoerparameter is dan uitgaan van de relatie $T_p/T_m = 1,3$)

De begrenzingsen voor de formule zijn:

Minimum waarde $C_t = 0,075$

Maximum waarde $C_t = 0,8$

$1 < \xi_p < 3$; $0^\circ \leq \beta \leq 70^\circ$;

Als ξ_p en/of β buiten de grenzen vallen dan de grenswaarden aanhouden.

Voor de **golfrichting** achter de dam (β_t) geldt het volgende:

$$\beta_t = \beta_i \quad \text{voor } \beta_i \leq 45^\circ$$

$$\beta_t = 45^\circ \quad \text{voor } \beta_i > 45^\circ$$

met β_i = golfrichting voor de dam.

Transmissie bij ruwe lage (smalle) havendammen (lit[2])

Voor de transmissiecoëfficiënt C_t geldt voor relatief smalle dammen:

$$C_t = -0.4 R_c / H_s + 0.64 (B/H_s)^{-0.31} \left(1 - e^{-0.5 \xi_p} \right) \quad (2)$$

met B = kruinbreedte in meters.

(zie voor overige symbolen de definities bij formule (1))

Minimum waarde: $C_t = 0,075$

Maximum waarde: $C_t = 0,8$.

De formule is geldig voor $B/H_s < 10$. Voor hogere waarden $B/H_s = 10$ aanhouden.

Voor de **golfrichting** achter de dam geldt:

$$\beta_t = 0.8 \beta_i.$$

Situatie IJmuiden

Voor het Noorderhavenhoofd is de kruinhoogte NAP +3,5 m en voor het

Zuiderhavenhoofd is dit NAP +4,0 m.

De kruinbreedte is in beide gevallen 7m.

Voor de taludhelling van de dammen uitgaan van 1:1,75. Voor de koppen

(laatste 50 m van de dam) 1:3 hanteren.

Bronvermelding:

1. Briganti, R., J.W. van der Meer, M. Buccino and M. Calabrese (2003). "Wave transmission behind low crested structures". *ASCE, Proc. Coastal Structures, Portland, Oregon*.
2. Van der Meer, J.W. B. Wang, A. Wolters, B. Zanutti, M. Kramer (2003). "Oblique wave transmission over low-crested structures". *ASCE, Proc. Coastal Structures, Portland, Oregon*.



Aan
HR2006 betrokkenen

M. Zijlema
Datum
13 februari 2006
Doorkiesnummer
-
Bijlage(n)
-

Onderwerp
**Vergelijking tussen resultaat van P3 berekeningen en resultaat van
extrapolatie vanuit P1 en P2 berekeningen**

Doel

Het doel van dit memo is vaststellen of de geëxtrapoleerde SWAN resultaten op basis van P1 en P2 berekeningen vergelijkbaar zijn met de resultaten van de P3 berekening.

Inleiding

Voor het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) bestaande uit waterstanden en enkele golfparameters (H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02}) in de zg. toetspunten (i.e. uitvoerlocaties vanaf ongeveer 100m uit de teen van de dijk) dient met behulp van SWAN een vertaalslag gemaakt te worden van de golven op diep water naar ondiep water. De noodzakelijkheid van deze vertaling komt voort uit het feit dat slechts op diep water (op ongeveer -20m dieptelijn) golfmeetgegevens beschikbaar zijn.

Om de vertaalslag mogelijk te maken dient SWAN aangestuurd te worden met twee type randvoorwaarden. De zg. "externe" randvoorwaarden bestaande uit waterstand, windsnelheid en windrichting, die tezamen een (storm)conditie representeren en de zg. "interne" randvoorwaarden in de vorm van golfhoogte H_{m0} en "gemiddelde" golfperiode $T_{m-1,0}$ in enkele offshore meetstations met de grootste kans van optreden gegeven de stormconditie (i.e. combinatie van de waterstand en wind). Deze interne randvoorwaarden worden ook wel de diepwaterrandvoorwaarden genoemd. In totaal zijn er 252 hydraulische condities.

De diepwaterrandvoorwaarden die aansluiten bij de in te voeren combinatie van de waterstand en wind worden bepaald op basis van waarnemingen in enkele offshore stations (ELD, YMW, EUR, etc.) door middel van de regressie-analyse. Voor details zie [2]. Met deze diepwaterrandvoorwaarden in combinatie met



hydraulische conditie (waterstand, windsnelheid en windrichting) kan vervolgens SWAN worden aangestuurd. Deze aansturing geschiedt aan de hand van een randvoorwaardenmethode welke uitgebreid staat beschreven in [1]. Met deze methode wordt de randvoorwaarden afgeleid welke op de zeerand van het rooster voor de Hollandse Kust worden voorgeschreven zodanig dat de diepwaterrandvoorwaarden in de offshore meetstations worden gereproduceerd. Het resultaat van de SWAN berekening representeert de gemiddelde situatie, dwz. de verwachtingswaarde van de hoogte en periode van de golven nabij de teen van de dijk gegeven de stormconditie.

Er is echter sprake van een zekere spreiding rond de verwachtingswaarde van de door SWAN berekende golfparameters. De spreiding wordt met name gekenmerkt door de stochastische karakter van $T_{m-1,0}$. Om het effect hiervan door te rekenen in de hydraulische randvoorwaarden en uiteindelijk in de faalmechanismen (golfoploop, golfoverslag, bekleding, etc.) dient de SWAN berekeningen herhaald te worden waarbij de golfperiode $T_{m-1,0}$ op diep water met een zekere percentage verminderd dan wel vermeerderd te worden. Hierdoor verandert tevens het spectrum ter plaatse van de offshore meetstations. De overige karakteristieken van het spectrum zoals de golfhoogte en gemiddelde golfrichting blijven echter onveranderd.

De SWAN berekeningen aangestuurd door de diepwaterrandvoorwaarden welke als gemiddelde stochast (i.e. $T_{m-1,0}$) worden beschouwd worden aangeduid met de code "P2". De door verlaagde en verhoogde $T_{m-1,0}$ aangestuurde SWAN berekeningen worden respectievelijk met "P1" en "P3" weergegeven. In principe dient aldus voor iedere hydraulische conditie drie SWAN berekeningen te worden uitgevoerd, t.w. P1, P2 en P3 wat in totaal neerkomt op 756 berekeningen voor alle condities.

In het HR2006 project wordt slechts een serie van twee SWAN berekeningen per hydraulische conditie uitgevoerd, namelijk P1 en P2. De reden is tweërlei.

1. In verband met de beperkte doorlooptijd en de gegeven planning is het niet mogelijk alle drie de berekeningen per hydraulische conditie uit te voeren.
2. Naar verwachting zal de toepassing van de eerdergenoemde randvoorwaardenmethode problemen geven bij de P3 berekeningen (verhoogde stochast $T_{m-1,0}$). De problemen zullen zich voornamelijk voordoen daar waar de diepwaterrandvoorwaarden niet in de offshore stations kunnen worden gereproduceerd als gevolg van de dieptebeperking. Zie ook [1]. Gezien de planning is het te risicovol om de P3 berekeningen uit te voeren met mogelijk alle gevolgen van dien.

De P3 berekeningen worden aldus niet uitgevoerd. Om echter de resultaten van de P3 berekeningen te verkrijgen nemen we aan dat het resultaat van een P2 berekening een gemiddelde is van die van P1 en P3 van de overeenkomstige stormconditie. Op basis hiervan kan het resultaat van de P3 berekening worden geschat middels de volgende extrapolatie:

$$\text{"P3"} \approx 2 \times \text{"P2"} - \text{"P1"} \quad (1)$$



In dit memo wordt nagegaan in hoeverre deze aanname geldig is zodat het terecht is om het resultaat van de P3 berekening af te schatten met behulp van de gegevens van P1 en P2 berekeningen en de formule (1).

Werkwijze

Voor de validatie van formule (1) beschouwen we voor enkele stormcondities een reeks van 1D SWAN berekeningen. Gegeven de windrichting construeren we een raai waarvan de richting gelijk is aan die van de wind en de bijbehorende bodem uit het 2D schematisatie voor de Hollandse Kust. Per conditie voeren we drie berekeningen uit, t.w. P1 (verlaagde stochast $T_{m-1,0}$), P2 (gemiddelde stochast $T_{m-1,0}$) en P3 (verhoogde stochast $T_{m-1,0}$). De volgende stormcondities worden in beschouwing genomen:

1. K15D240L010: windsnelheid = 15m/s, windrichting = 240o Nautisch en waterstand = 1m
2. K15D300L010: windsnelheid = 15m/s, windrichting = 300o Nautisch en waterstand = 1m
3. K25D300L030: windsnelheid = 25m/s, windrichting = 300o Nautisch en waterstand = 3m
4. K30D300L040: windsnelheid = 30m/s, windrichting = 300o Nautisch en waterstand = 4m
5. K35D300L050: windsnelheid = 35m/s, windrichting = 300o Nautisch en waterstand = 5m
6. K40D240L060: windsnelheid = 40m/s, windrichting = 240o Nautisch en waterstand = 6m
7. K40D300L060: windsnelheid = 40m/s, windrichting = 300o Nautisch en waterstand = 6m

Bij de keuze van deze condities zijn alleen de relevante windrichtingen genomen (t.w. zuidwesten en noordwesten) en enkele windsnelheden in de range van 15 – 40 m/s met de “bijpassende” waterstanden.

Voor de P1 berekeningen wordt het stochast $T_{m-1,0}$ in de drie meetstations ELD, YMW en EUR met 10% verlaagd. Dit is voldoende om de spreiding in berekende parameter $T_{m-1,0}$ en de gevolgen voor de faalmechanismen zichtbaar te maken. In dit memo zullen we wel kort ingaan op de gevoeligheid van de spreiding op de afschatting voor P3 berekeningen. Op basis van de randvoorwaardenmethodiek wordt opnieuw de zeerandvoorwaarden afgeleid welke aan het begin van de raai worden opgedrukt. Dit geldt evenzo voor de P3 berekeningen, echter dan 10% in $T_{m-1,0}$ in ELD, YMW en EUR verhoogd.

Resultaten

We vergelijken de SWAN resultaten van de volgende golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} afkomstig uit een P3 berekening met de afgeschatte parameters op basis van de resultaten van P1 en P2 berekeningen met behulp van formule (1). De golfparameters worden uitgezet tegen afstand tot de kust. Alleen de laatste 1km wordt in beschouwing genomen. In Figuur 1 wordt de vergelijking voor de conditie K15D240L010 weergegeven. Het blijkt dat op basis van extrapolatie de golfhoogte maximaal met 4% wordt overschat. Dicht bij de kust is de overschatting minimaal, te weten: minder dan 2%. Dit geldt evenzo voor de golfperiodes $T_{m-1,0}$ en T_{m02} welke met respectievelijk ongeveer 3.5% en 3% wordt overschat nabij de kust. De T_{pm} waarde nabij de kust wordt met ongeveer 8% overschat. Verder van de kust neemt de overschatting echter af tot 4%. Dit blijkt



echter een uitzondering te zijn in de condities die we hier beschouwen. In die gevallen blijkt de maximale afwijking voor T_{pm} langs de beschouwde raai van 1km 5% te zijn.

Veranderen we alleen van richting (van 240° naar 300° Nautisch) dan blijken in dit geval de geschatte golfparameters ietwat onderschat te zijn: H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_{m02} uit 50m voor de kust worden met respectievelijk 0.6%, 4.5% en 3%. Alleen T_{pm} wordt goed geschat.

Voeren we de windsnelheid op (met bijpassende waterstand) dan neemt het verschil tussen de op basis van P1 en P2 afgeschatte parameters en uit de P3 berekende corresponderende golfparameters niet toe. In sommige gevallen neemt het verschil zelfs af. Zie de Figuren 3 tot en met 7. In al die beschouwde gevallen is het maximale relatieve verschil voor alle beschouwde golfparameters 5%, met uitzondering van de geschatte T_{m02} bij conditie K40D300L060 welke met ruim 6% afwijkt van de uit P3 berekende T_{m02} .

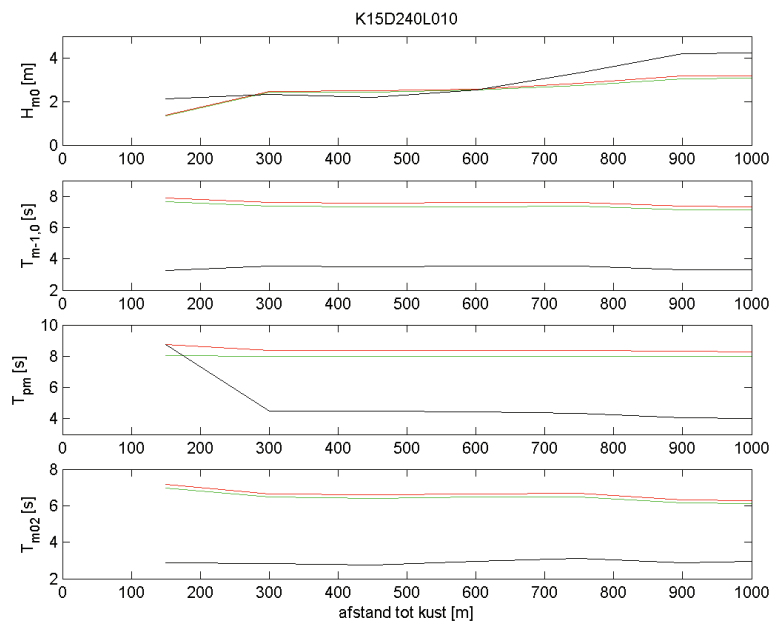
Tot slot bestuderen we het effect van de spreiding op de afschatting van de golfparameters. We beschouwen slechts de conditie K40D300L060. Er worden twee extra berekeningen uitgevoerd, te weten: P4 waarbij het stochast $T_{m-1,0}$ in de drie meetstations ELD, YMW en EUR met 20% verlaagd wordt en P5 waarbij hetzelfde stochast met 20% verhoogd wordt. In Figuur 8 zien we het resultaat. Ook hier blijkt het relatieve verschil tussen de geschatte en berekende golfparameters minimaal is (minder dan 5%). De verwachting is dat dit ook geldt voor de andere condities.

Conclusies

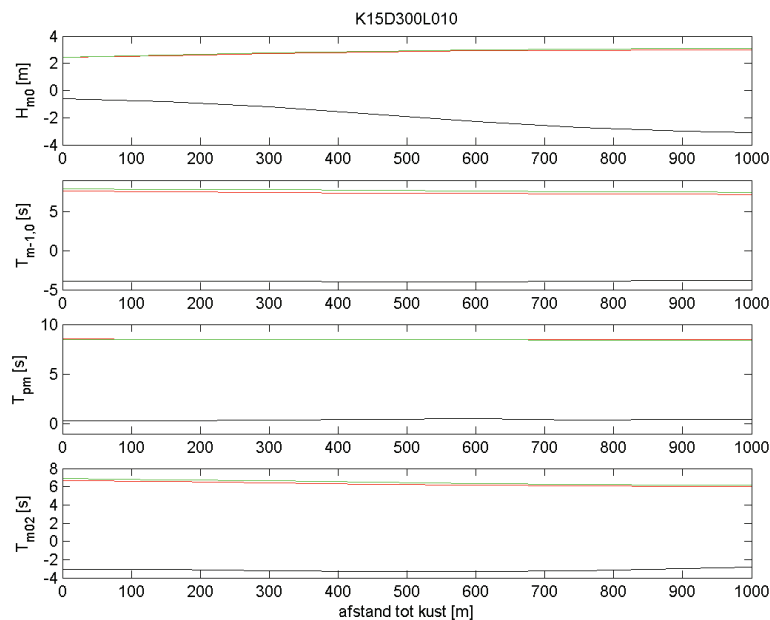
Ten behoeve van de HR-berekeningen met Hydra-K zijn de uitgevoerde SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust aangestuurd door de diepwaterstatistiek waaronder het stochast $T_{m-1,0}$ (P2) en het verlaagde stochast $T_{m-1,0} - 10\%$ (P1). Vanwege het beperkte tijdsbestek zijn de berekeningen met verhoogde stochast, $T_{m-1,0} + 10\%$ (P3), niet uitgevoerd. In plaats daarvan worden de resultaten geschat op basis van extrapolatie van de resultaten van P1 en P2. In dit memo is nagegaan in hoeverre dat geoorloofd is.

Op basis van enkele 1D SWAN berekeningen zijn enkele stormcondities doorgerekend waarbij het model is aangestuurd door drie eerdergenoemde stochasten (P1, P2 en P3). De resultaten van P3 zijn vergeleken met de schatting op basis van de resultaten van P1 en P2 middels extrapolatie (1). In nagenoeg alle gevallen blijken voor de beschouwde golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} nabij de kust de afwijking tussen de geëxtrapoleerde waarde op basis van P1 en P2 en die van P3 en niet groter te zijn dan 5%.

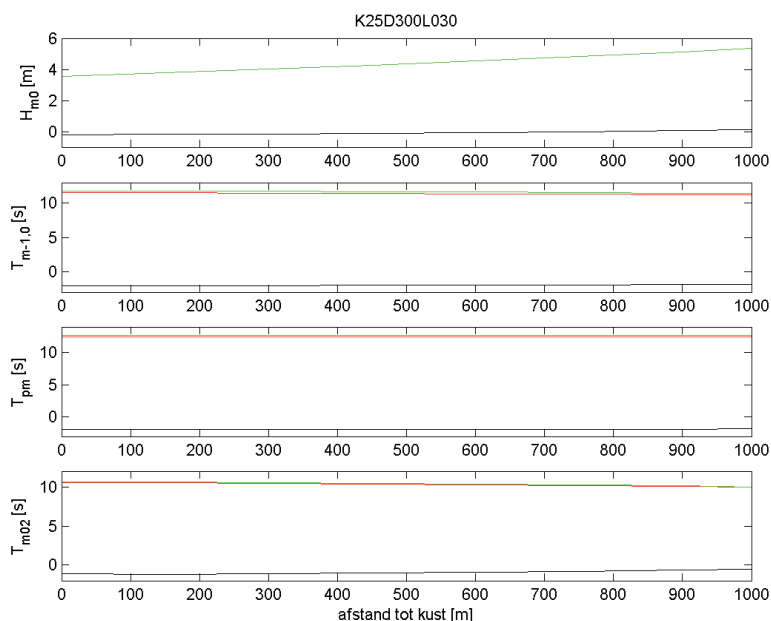
Op grond van dit resultaat kan geconcludeerd worden dat men kan volstaan met de resultaten van P1 en P2 berekeningen voor de HR-berekeningen met behulp van Hydra-K om zodoende de gevolgen van de spreiding in $T_{m-1,0}$ op de faalmechanismen in kaart te brengen.



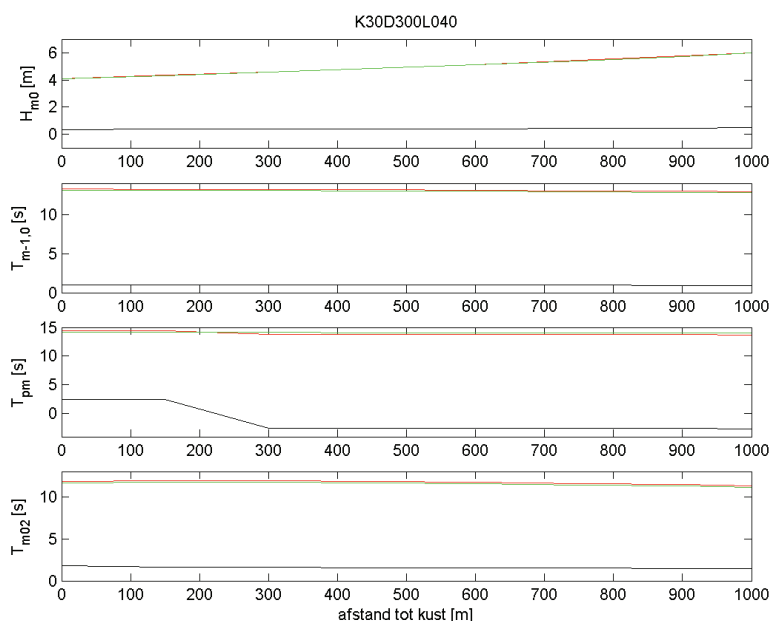
Figuur 1. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K15D240L010. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



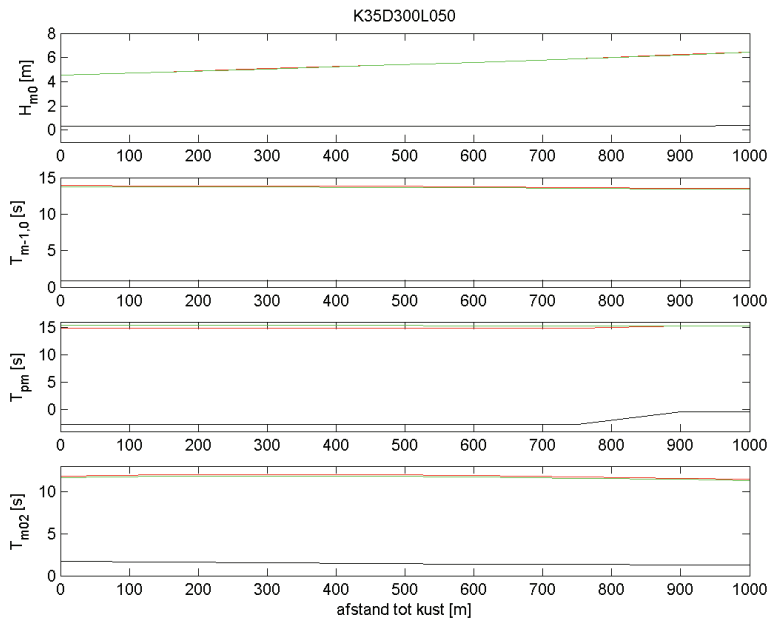
Figuur 2. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K15D300L010. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



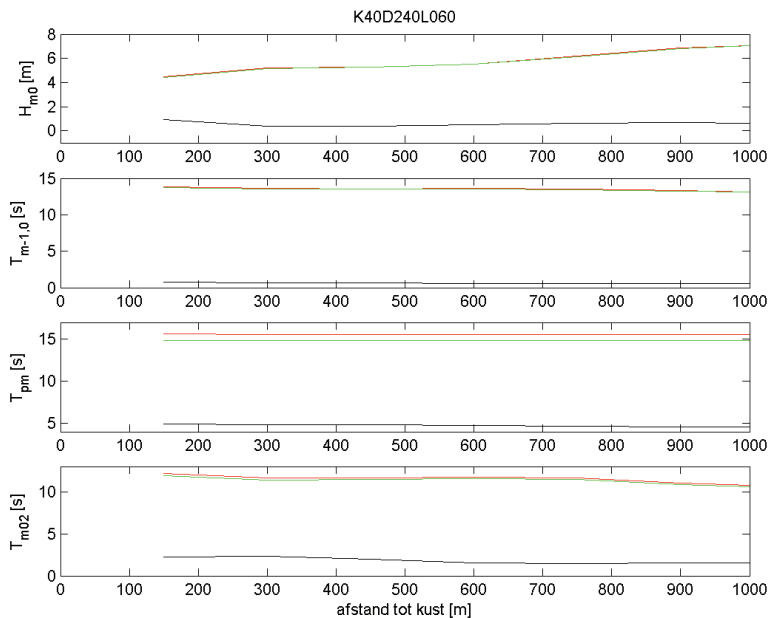
Figuur 3. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K25D300L030. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



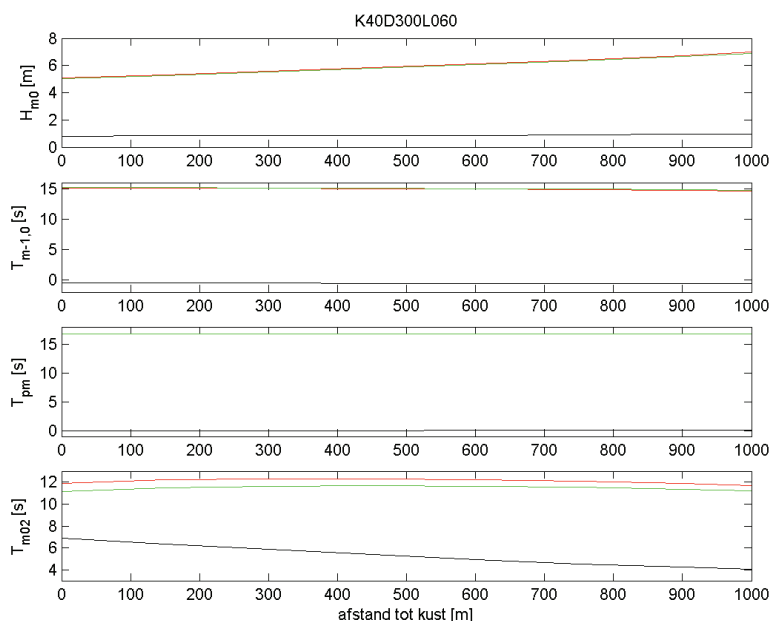
Figuur 4. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K30D300L040. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



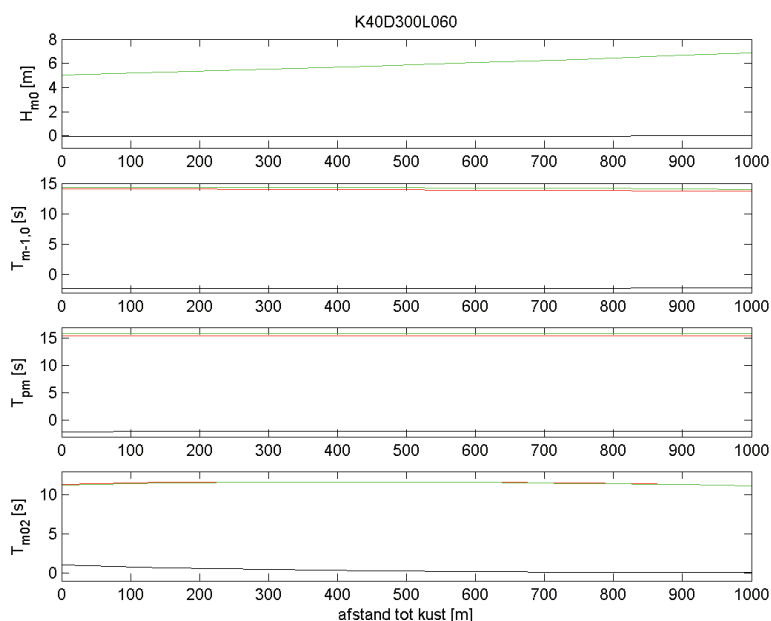
Figuur 5. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K35D300L050. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



Figuur 6. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K40D240L060. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



Figuur 7. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P1 en P2 berekeningen en resultaat van P3 berekening voor de situatie K40D300L060. Rood=extrapolatie, groen=P3 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P3 resultaat in percentages.



Figuur 8. Vergelijking tussen geëxtrapoleerde SWAN resultaat van drietal golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p op basis van P4 ($T_{m-1,0} -20\%$) en P2 berekeningen en resultaat van P5 berekening ($T_{m-1,0} +20\%$) voor de situatie K40D300L060. Rood=extrapolatie, groen=P5 berekening en zwart=relatieve verschil ten opzichte van P5 resultaat in percentages.



Referentielijst

- [1] Van Ledden, M., M.R. Westra, J. Groeneweg, I. Wenneker, O. Scholl (2005), *SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust*. Rapport Fase 1, 9P8603.A0.
- [2] Stijnen, J.W., M.T. Duits en B.I. Thonus (2005), *Diepwaterrandvoorwaarden (ELD, EUR, YM6, SCW en SON)*. Rapport PR841.



Aan
John de Ronde, Frank den Heijer en Joska Andorka
Gál

Van
M. Zijlema
Datum
23 mei 2005
Doorkiesnummer
-
Bijlage(n)

Onderwerp
Motivatie andere fysische SWAN instellingen in HR2006 project

Doel

Het doel van dit memo is helder te maken hoe men, ten behoeve van het construeren van 2D golfrandvoorwaarden voor het Kuststrook model, met andere (niet-standaard) fysische SWAN instellingen *alleen dan* de diepwaterstatistiek in een aantal sleutellocaties met voldoende nauwkeurigheid kan worden gereproduceerd.

Inleiding

In het project "SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust" dienen golfrandvoorwaarden op de open randen van het Kuststrook model te worden afgeleid zodanig dat de statistiek in 3 offshore meetstations, te weten Eierlandse Gat (ELD), IJmuiden (YMW) en Europlatform (EUR) met voldoende nauwkeurigheid gereproduceerd wordt. Deze meetstations liggen in het domein van het Kuststrook model.

In het verleden is gebleken dat SWAN bij het opleggen van randvoorwaarden last kan hebben van inspeeeffecten. Bij WL is om deze reden een methode ontwikkeld om de geschikte golfrandvoorwaarden op de modelrand af te leiden waarbij er géén inspeeeffecten aanwezig zijn én de statistiek in de betreffende offshore meetstations wordt gereproduceerd én de vorm van 1D spectrum op zowel de modelrand als op stations enkeltoppig is. De laatste eis wordt aannemelijk geacht.

De tweede genoemde eis blijkt echter lastiger te realiseren dan men had aangenomen. Op basis van enkele testberekeningen is namelijk geconstateerd dat de golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_p in de 3 betreffende offshore meetstations worden onderschat. Het vermoeden bestaat dat dit een gevolg is van de door SWAN berekende energiebalans, welke de onderliggende fysica beschrijft, die



als het ware “verkeerd uitpakt”. Dit hangt samen met de fysische instellingen in SWAN. In dit memo wordt uiteengezet hoe het probleem van de onderschatting zich voordoet bij het construeren van de golfrandvoorwaarden met behulp van de WL methode en hoe dit in verband wordt gebracht met de fysische SWAN instellingen. Vervolgens wordt een alternatief voorgesteld ten aanzien van de fysische instellingen zodanig dat de statistiek in de meetstations met voldoende nauwkeurigheid kan worden gereproduceerd. We sluiten dit memo af met een samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

Toelichting WL methode voor afleiden randvoorwaarden

Gegeven een windsnelheid en afstand tot de modelrand kan niet simpelweg een parametrisch spectrum worden opgelegd in termen van golfhoogte, golfperiode en eventueel de breedte van het spectrum. Immers, de fysica bepaalt een relatie tussen windsnelheid, strijklengte en golfparameters. Deze relatie staat bekend als golfgroei-kromme. In de literatuur zijn vele empirisch bepaalde golfgroei-krommen bekend. SWAN kent op basis van eigen fysica ook golfgroei-krommen welke op voorhand niet bekend zijn. Deze dienen dan ook te worden bepaald met behulp van 1D sommen.

De eis die wordt gesteld aan de parameters binnen het HR2006 project is dat de windsnelheid U_{10} en de golfperiode T_{m-10} zo goed mogelijk gelijk zijn aan de waarden bepaald met behulp van diepwaterstatistiek. Bij deze gegeven waarden dienen de strijklengte, golfhoogte H_{m0} en de piekperiode T_p te worden bepaald. De hieronder beschreven methodiek van WL zal moeten leiden tot randvoorwaarden die op iedere meetstation leidt tot golfperiode T_{m-10} die minimaal afwijkt van de waarde behorende bij de diepwaterstatistiek bij gegeven windsnelheid (kleiner dan 3%).

De eerste stap in de WL aanpak is het doorrekenen van een 1D-raai met een constante bodemligging waarvan de diepte gelijk is aan de bodemdiepte ter plaatse van het meetpunt. Voor iedere locatie wordt per windrichting de afstand van het meetpunt tot aan de offshore rand bepaald, lopend tegen de windrichting in. Vervolgens wordt voor iedere locatie, windsnelheid en waterdiepte de strijklengte bepaald waarvoor de door SWAN berekende golfperiode T_{m-10} zoveel mogelijk gelijk is aan de gemeten, geëxtrapoleerde golfperiode volgens de diepwaterstatistiek. De strijklengte wordt verminderd met de afstand tussen meetlocatie en offshore rand. Voor deze strijklengte wordt het berekende 2D spectrum opgelegd als randspectrum. Een belangrijke consequentie van deze aanpak is dat er per definitie enkelvoudige 1D/2D spectra worden gegenereerd. Hiermee komt men tegemoet aan de derde eis zoals gesteld in de Inleiding.

Beschouwing over case K25D240L020P2

We gaan de in het vorige paragraaf beschreven methode toepassen voor het bepalen van de 2D randspectrum op de modelrand nabij IJmuiden (als voorbeeld). We beschouwen de windsnelheid van 25 m/s met richting van 240 graden (Nautisch). De waterstand wordt constant verondersteld en is gelijk aan 2 m. Volgens de diepwaterstatistiek zoals afgeleid door HKV [2] zijn de golfparameters bij IJmuiden als volgt:

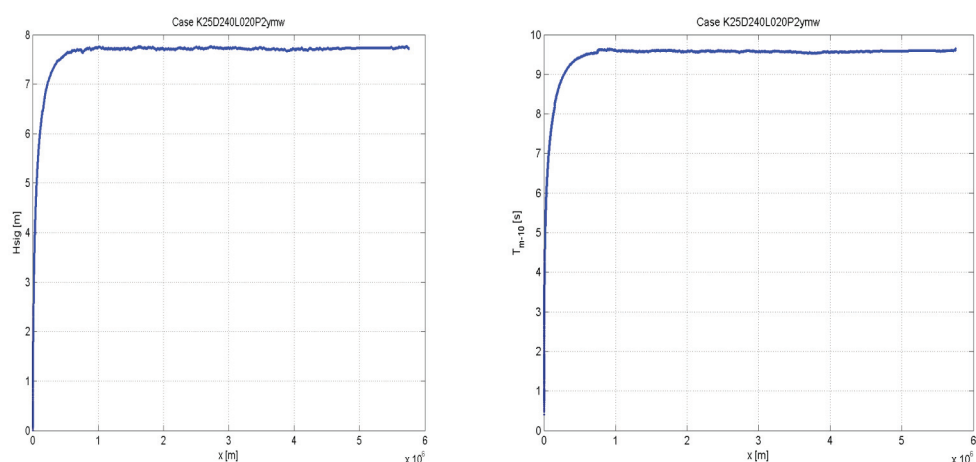
$$H_{m0} = 5.14 \text{ m}, T_{m-10} = 10.02 \text{ s en } T_p = 11.36 \text{ s.}$$



Een reeks van 1D sommen wordt uitgevoerd met SWAN waarbij de standaard instellingen voor fysische processen (wind, white-capping, quadruplets, breking, bodemwrijving en triads) worden toegepast. De resultaten zijn als volgt. Er is een 2D golfspectrum afgeleid met de WL methode zodanig dat de berekende golfparameters ter plaatse van IJmuiden als volgt zijn:

$$H_{m0} = 7.73 \text{ m}, T_{m-10} = 9.61 \text{ s en } T_p = 11.95 \text{ s.}$$

Ook op de randlocatie zijn deze waarden terug te vinden, hetgeen betekent dat er géén inspeleeffecten aanwezig zijn. De berekende golfparameters wijken echter af van de gemeten, geëxtrapoleerde waarden. Hier is er sprake van een overschatting van golfhoogte H_{m0} met 50%, onderschatting van T_{m-10} met 4% en overschatting van T_p met 5%¹⁰. In Figuur 1 zijn de golfgroeikrommen van H_{m0} en T_{m-10} geplot.



Figuur 1. Golfgroeikrommen van H_{m0} (links) en T_{m-10} (rechts) verkregen uit testcase K25D240L020 met standaard fysische instellingen van SWAN.

Een verklaring voor deze uitkomsten is als volgt. Op basis van de toegepaste empirische formuleringen voor fysische processen wordt een zodanige (stationaire) energiebalans gevormd dat, gegeven de forcering op de modelrand, de getoonde uitkomsten met betrekking tot golfparameters tot gevolg heeft. Om tot een goede resultaat te komen zou aldus de balans moet worden aangepast. Met andere woorden: de empirische formules of de bijbehorende instelcoëfficiënten van een aantal van de fysische processen zou moeten worden aangepast.

De onderschatting van de periodemaat T_{m-10} (en die van T_{m01}) blijkt samen te hangen met de white-capping formulering zoals die nu in SWAN wordt toegepast.

¹⁰ Achteraf is gebleken dat er sprake is van een onderschatting van de gemeten, opgeschaalde golfhoogte omdat het moment waarop de maximale golfhoogte H_{m0} optreedt en het moment waarop de maximale golfperiode T_{m-10} optreedt niet samenvallen. Bij het vaststellen van de diepwaterstatistiek is men uitgegaan van de maximale golfperiode T_{m-10} , hetgeen impliceert dat de gemeten, opgeschaalde golfhoogte doorgaans lager is dan de maximale waarde. Dit betekent dus wellicht dat de hier gevonden overschatting van 50% overschat wordt.



In lit. [3] wordt immers aangegeven dat deze formulering fysisch niet correct is ondanks de goede match met metingen. Fysisch gezien verwacht men bij hogere frequenties meer energie-dissipatie dan bij lagere frequenties. Dit blijkt niet het geval te zijn bij de toepassing van de huidige white-capping formulering met bijbehorende instellingen in SWAN. Hierdoor blijft ook een verhoging in de periodematen $T_{m-1,0}$ en T_{m01} uit¹¹.

De huidige white-capping formulering is gebaseerd op de zg. pulse-based model van Hasselman [1]. De formulering is gegeven als volgt:

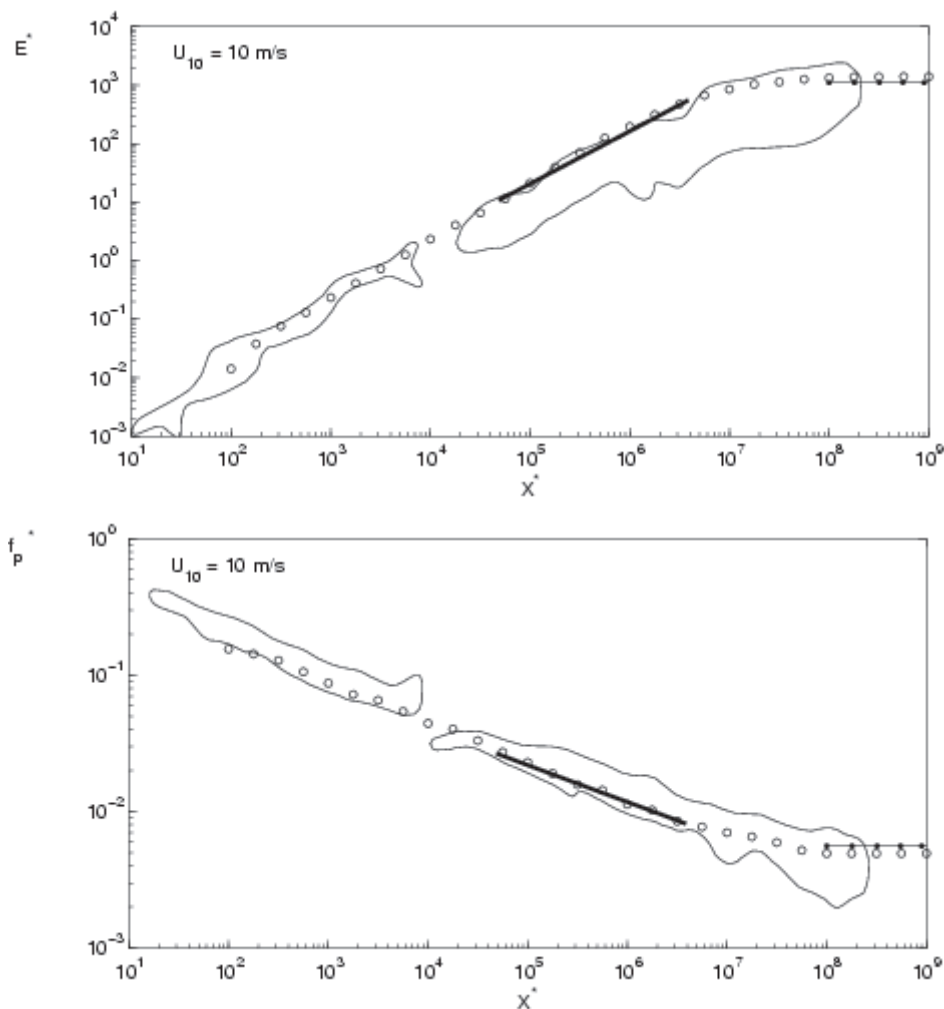
$$S_{wc}(\sigma, \theta) = -C_1 \left(\frac{s}{s_{pm}} \right)^m \sigma_m \left(\frac{k}{k_m} \right)^n E(\sigma, \theta) \quad (1)$$

met

- S_{wc} = white-capping bronterm als functie van frequentie σ en richting θ ,
- C_1 = instelcoëfficiënt, standaard = 2.36×10^{-5} ,
- s = steilheid,
- s_{pm} = gemiddelde steilheid behorende bij een Pierson-Moskowitz spectrum, standaard = $\sqrt{3.02} \times 10^{-3}$,
- m = instelcoëfficiënt, standaard = 4,
- σ_m = gemiddelde golffrequentie,
- k = golfgetal,
- k_m = gemiddelde golfgetal,
- n = instelcoëfficiënt, standaard = 1,
- E = golfenergie als functie van frequentie σ en richting θ .

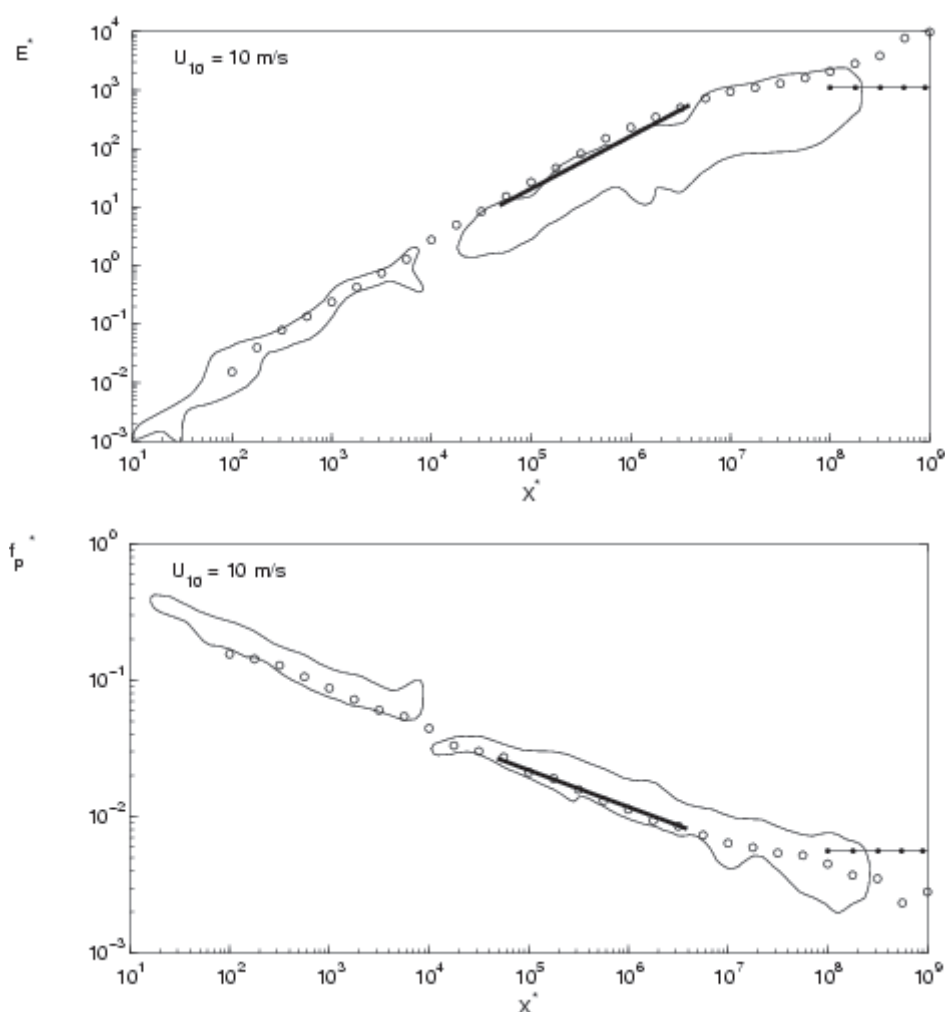
De waarden van de instelcoëfficiënten zijn zodanig afgeregeld dat de totale energie en piekfrequentie aansluiten op de volledig ontwikkelde Pierson-Moskowitz spectrum. Zie Figuur 2.

¹¹ De relatie tussen de geconstateerde onderschatting in T_{m-10} en T_{m01} ten opzichte van de meting en de onjuiste verdeling van energie-dissipatie over het frequentiebereik als gevolg van de huidige white-capping formulering is inmiddels onderkend (zie o.a. lit. [3]) en momenteel wordt bij de TU Delft via een promotieonderzoek hard aan gewerkt om dit te verbeteren.



Figuur 2. Golfgroei-krommen van dimensieloze energie en piekfrequentie als functie van dimensieloze strijklengte verkregen met standaard instelcoëfficiënten in white-capping formulering. o = SWAN resultaat, = Kahma-Calcoen fit, - - - - = Pierson-Moskowitz fit, —•—•—• = Wilson fit.

Rogers *et al.* (2003) deed een gevoeligheidsonderzoek met betrekking tot het effect van de coëfficiënt n in Formule (1) op de white-capping term en op de uiteindelijke performance van SWAN [3]. De motivatie voor dit onderzoek is dat er een vermoeden bestaat dat de huidige white-capping formulering in SWAN mogelijk een structurele onderschatting van de gemiddelde golfperiode veroorzaakt. Dit hangt samen met de fysisch onjuiste verdeling van de energie-dissipatie over het frequentiebereik. Uit hun onderzoek blijkt dat de toename van n van 1 tot 2 leidt tot een verbeterde voorspelling van de golfenergie bij lagere frequenties. Uiteindelijk blijkt $n = 2$ de beste resultaten te geven voor wat betreft de voorspelling van de gemiddelde golfperiode. Het probleem is alleen dat een aanpassing aan de coëfficiënt n plegen zonder de andere coëfficiënt C_1 aan te passen respectievelijk een overschatting van de energie en onderschatting van de piekfrequentie geeft in de Pierson-Moskowitz limiet. Zie Figuur 3.



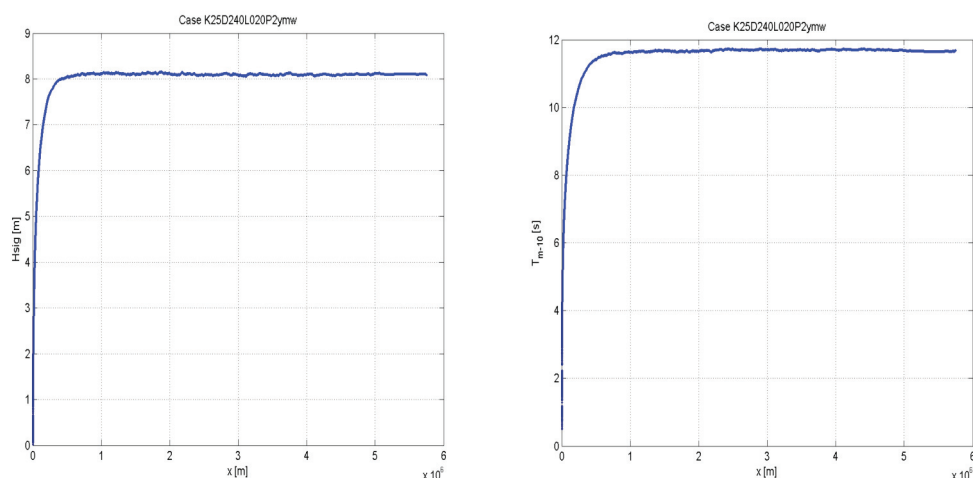
Figuur 3. Golfgroei-krommen van dimensieloze energie en piekfrequentie als functie van dimensieloze strijklengte verkregen met $n = 2$ in white-capping formulering. o = SWAN resultaat, = Kahma-Calcoen fit, -.-.- = Pierson-Moskowitz fit, ——— = Wilson fit.

Echter, in het HR2006 project zijn we niet geïnteresseerd in de Pierson-Moskowitz condities maar meer in het bereik van dimensieloze strijklengtes van $10^5 < X^* < 5 \times 10^6$ (zg. Kahma-Calcoen bereik). We nemen derhalve het voorstel van Rogers *et al.* over.

We herhalen de reeks van 1D sommen waarbij nu de coëfficiënt n is aangepast van 1 naar 2. De berekende golfparameters in IJmuiden zijn:

$$H_{m0} = 7.25 \text{ m}, T_{m-1,0} = 10.02 \text{ s} \text{ en } T_p = 10.86 \text{ s}.$$

Er is nu sprake van een significante verbetering: $T_{m-1,0}$ wordt correct gereproduceerd en T_p wordt onderschat met 4.4%. H_{m0} wordt overschat met 41%. De bijbehorende golfgroei-krommen zijn weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Golfgroei-krommen van H_{m0} (links) en $T_{m-1,0}$ (rechts) verkregen uit testcase K25D240L020 met standaard fysische instellingen van SWAN met uitzondering van white-capping waarin $n=2$ is gekozen.

Dat de piekperiode nog steeds van de gemeten, geëxtrapoleerde waarde afwijkt kan op tweeërlei manieren worden verklaard:

1. De WL-methodiek voor het genereren van 2D randvoorwaarden is erop gericht om de strijklengte te bepalen waarvoor geldt dat $T_{m-10}^{\text{statistiek}} = T_{m-10}^{\text{golfgroei-kromme}}$. Vervolgens wordt de afstand tussen de meetlocatie en randlocatie van deze strijklengte afgetrokken zodat daarmee het 2D spectrum kan worden gevonden. De piekperiode T_p wordt hier aldus beschouwd als een vrije parameter (evenals H_{m0}).
2. De T_p waarde wordt in SWAN niet als een continue functie van frequentie beschouwd. Afhankelijk van de resolutie van het frequentiebereik (die logaritmisch bepaald wordt) kan aldus de T_p -waarde afwijken van wat het zou moeten zijn. Hoe grover de resolutie hoe groter de afwijking. Dit probleem kan ten dele worden opgelost door in plaats van T_p de zg. T_{pm} -waarde te gebruiken.

Beschouwing over case K35D300L050P2

We beschouwen nu een wat extremere situatie. De windsnelheid is 35 m/s met richting van 300 graden (Nautisch). De waterstand is gelijk aan 5 m. Volgens de diepwaterstatistiek [2] zijn de golfparameters bij IJmuiden als volgt:

$$H_{m0} = 7.95 \text{ m}, T_{m-1,0} = 12.47 \text{ s en } T_p = 14.14 \text{ s.}$$

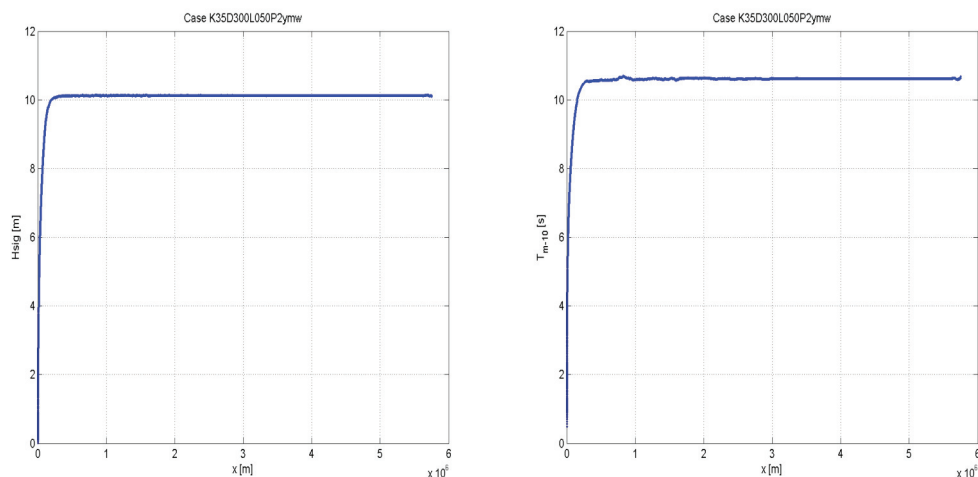
Een reeks van 1D sommen wordt uitgevoerd met SWAN waarbij opnieuw de standaard instellingen voor fysische processen worden toegepast. De berekende golfparameters ter plaatse van IJmuiden zijn:

$$H_{m0} = 10.12 \text{ m}, T_{m-1,0} = 10.63 \text{ s en } T_p = 13.15 \text{ s.}$$

Opnieuw is er sprake van forse afwijkingen van de gemeten, geëxtrapoleerde waarden. Hier is sprake van een overschatting van golfhoogte met 26% en



onderschatting van $T_{m-1,0}$ en T_p met respectievelijk 15% en 7%. Bijbehorende golfgroei-krommen zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Golfgroei-krommen van H_{m0} (links) en $T_{m-1,0}$ (rechts) verkregen uit testcase K35D300L050 met standaard fysische instellingen van SWAN.

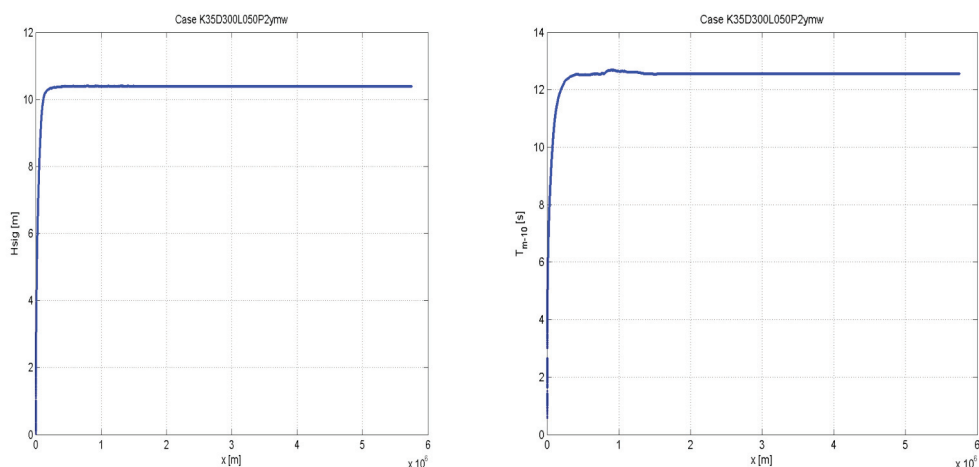
We herhalen de 1D sommen waarbij nu de coëfficiënt n in Formule (1) is aangepast van 1 naar 2. De berekende golfparameters in IJmuiden zijn:

$$H_{m0} = 10.19 \text{ m}, T_{m-1,0} = 11.83 \text{ s en } T_p = 13.15 \text{ s.}$$

Nu blijkt dat er nauwelijks een verbetering is opgetreden ten opzichte van de vorige exercitie. Uit nader onderzoek blijkt dat in zulks geval ook triads moet worden uitgeschakeld om te voorkomen dat er teveel energie naar hogere frequenties worden gepompt welke een onderschatting van $T_{m-1,0}$ tot gevolg heeft. Dit wordt bevestigd door deze som te herhalen waarbij echter triads wordt uitgeschakeld. De nu berekende golfparameters in IJmuiden zijn:

$$H_{m0} = 10.37 \text{ m}, T_{m-1,0} = 12.47 \text{ s en } T_p = 14.46 \text{ s.}$$

Alleen de golfperiode T_p wijkt af van de gemeten, geëxtrapoleerde waarde; er is nu sprake van een onderschatting van slechts 2% in plaats van 7%. Daarentegen is het resultaat van H_{m0} verslechterd; de afwijking bedraagt nu 30%. In Figuur 6 zijn de golfgroei-krommen geplot.



Figuur 6. Golfgroei-krommen van H_{m0} (links) en $T_{m-1,0}$ (rechts) verkregen uit testcase K35D300L050 met standaard fysische instellingen van SWAN met uitzondering van white-capping waarin $n=2$ is gekozen en triads welke zijn uitgeschakeld.

Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

In het project “SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust” dienen golfrandvoorwaarden op de modelrand te worden afgeleid zodanig dat de diepwaterstatistiek in 3 offshore meetstations, t.w. Eierlandse Gat (ELD), IJmuiden (YMW) en Europlatform (EUR) met voldoende nauwkeurigheid gereproduceerd wordt. Bij WL is een methode ontwikkeld om de geschikte golfrandvoorwaarden op de modelranden af te leiden waarbij er géén inspeleeffecten aanwezig zijn én de statistiek in de betreffende offshore meetstations met voldoende nauwkeurigheid wordt gereproduceerd én de vorm van 1D spectrum op zowel de modelranden als op stations enkeltoppig is.

Op basis van de huidige fysische instellingen in SWAN blijkt het niet mogelijk te zijn randvoorwaarden te construeren zodanig dat de diepwaterstatistiek in de 3 meetstations met voldoende nauwkeurigheid kan worden gereproduceerd. Met name de huidige white-capping formulering blijkt een bottleneck te zijn. Deze formulering zorgt namelijk voor een onjuiste verdeling van energie-dissipatie over het frequentiebereik, te weten even zoveel dissipatie bij zowel lagere als bij hogere frequenties. Hierdoor worden de gemiddelde periodematen $T_{m-1,0}$ en T_{m01} onderschat. Bij het construeren van de 2D golfrandvoorwaarden voor het Kuststrook model met behulp van de aanpak van WL wordt echter geëist dat de diepwaterstatistiek ($T_{m-1,0}$ en T_p) gereproduceerd moet worden met een onnauwkeurigheid van ten hoogste 3%. Gegeven de onderschatting van de periodematen als gevolg van de toepassing van de huidige white-capping formulering én gegeven de gestelde eis van reproductie van de statistiek met een marge van 3% kan dit alleen maar gerealiseerd worden door een andere formulering voor white-capping of andere fysische instellingen voor white-capping te kiezen om toch aan de gestelde eis te voldoen.

In de literatuur is een voorstel gedaan ten aanzien van de verbetering van de white-capping proces die bij HR2006 project de voorkeur geniet omdat het een minimale aanpassing betreft. Slechts één parameter, de zg. n -switch, dient te



worden gewijzigd. Op basis van tweetal testcases blijkt dat deze aanpassing een bevredigde resultaat geeft in de zin dat de diepwaterstatistiek in de 3 offshore meetstations kan worden gereproduceerd met afwijkingen van ten hoogste 3%.

De voorgestelde aanpassing blijkt echter in een aantal gevallen niet voldoende te zijn. Er kan alsnog een onderschatting van de periodematen zich voordoen. De meest voor de hand liggende verklaring is dat dit veroorzaakt wordt door triads. Dit wordt bevestigd door een testberekening met SWAN waarin triads is uitgeschakeld. Het uitschakelen van triads in SWAN stuit op weinig bezwaren daar de betrouwbaarheid van de huidige triadformulering zeer twijfelachtig is.

In het kader van HR2006 project is het aldus aan te bevelen om de SWAN berekeningen uit te voeren met andere fysische instellingen, te weten de n -switch in de white-capping formulering en het uitzetten van triads.



Literatuur

- [1] Hasselman, K. (1974). On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. *Bound.-Layer Meteor.*, **6**, pp. 107–127.
- [2] HKV (2004). Hydra-K voor HR2006. Concept rapport, december 2004.
- [3] Rogers, W.E., P.A. Hwang, D.W. Wang (2002). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional scale applications. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, pp. 366–389.



Aan
HR2006 betrokkenen

Van

M. Zijlema

Datum

31 januari 2006

Doorkiesnummer

-

Bijlage(n)

-

Onderwerp

Voorstel correctiefactoren voor Hollandse Kust SWAN berekeningen in HR2006 project

Doel

Het doel van dit memo is een onderbouwd voorstel voor de toepassing van (standaard) correctiefactoren op de significante golfhoogte H_{m0} en enkele periodematen $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} zoals berekend met SWAN versie 40.41ABa, voor alle harde waterkeringen langs de Hollandse Kust.

Inleiding

Voor de vaststelling van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 worden hydraulische randvoorwaarden ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van waterkeringen langs zoutwater gebieden door het RIKZ in 2006 berekend. De algemene aanpak bestaat uit het gebruik van basisstatistiek van de relevante parameters op diep water, het uitvoeren van een groot aantal berekeningen van diep water naar de teen van harde waterkeringen met behulp van het numeriek golfmodel SWAN, en het vervolgens combineren van deze gegevens binnen het probabilistisch rekenmodel Hydra-K voor het bepalen van de maatgevende belastingparameters nabij de teen van de waterkering.

Er bestaat echter twijfel over de mate van nauwkeurigheid van de SWAN resultaten. Zo is bekend dat met de huidige 3e generatie mode¹² in combinatie met surfbreking, triads en bodemwrijving¹³ zoals toegepast in SWAN de

¹² Deze mode beschrijft de fysische processen op diep water, onafhankelijk van elkaar, als volgt: windgroei mbv. de Snyder *et al.* (1981) aanpak, whitecapping op basis van het pulse-based mechanisme van Hasselman (1974) en viergolf wisselwerking mbv. de DIA aanpak van Hasselman *et al.* (1985).

¹³ Deze drie ondiep water processen worden gemodelleerd op basis van respectievelijk het bore-dissipatie model van Battjes en Jansen (1978), de LTA aanpak van Eldeberky en Battjes (1995) en de JONSWAP methode van Hasselman *et al.* (1973), zoals voorgesteld in Booij *et al.* (1999).



golfteriodematen $T_{m-1,0}$ en T_{pm} structureel onderschat worden (Rogers et al., 2003, Van der Westhuysen et al., 2006). De oplossing wordt hier gezocht in het bepalen van een correctie op de met SWAN berekende golfterioden voor locaties langs de Hollandse Kust.

Een eerder toegepaste correctie op de golfteriode zoals die met SWAN 30.62 werd verkregen voor RAND2001 was om 1 seconde toe te voegen aan de berekende golfteriode T_{pm} in de Oosterschelde (Kamsteeg et al., 2001). De geconstateerde onderschatting van ongeveer 10% in T_{pm} is eerder waargenomen in uitgevoerde golfberekeningen in de Westerschelde, zoals gerapporteerd in Kamsteeg et al. (1998).

Hoewel de absolute periode correctie van 1 seconde karakteristiek is voor een aantal locaties in estuaria, geldt dit wellicht niet voor de gesloten Nederlandse kust. De achterliggende reden is dat daar andere fysische processen, zoals breken en niet-lineaire wisselwerkingen, een rol spelen dan in een estuarium met bijvoorbeeld doordringing van deining. Sinds een aantal jaren is het gebruikelijk de golfteriode-maat $T_{m-1,0}$ te gebruiken voor het beoordelen van de hoogte van dijken. Op basis van een eerste verkenning is voor de Hollandse Kust een correctiefactor van 1.2 toegepast, d.w.z. de door SWAN 30.62 berekende $T_{m-1,0}$ dient met 20% vermeerderd te worden (Jacobse et al., 2002).

In Zijlema (2005a) wordt aanbevolen om in het kader van HR2006 project de SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust uit te voeren met andere fysische instellingen, te weten de n -switch in de whitecapping formulering¹⁴ en het niet meenemen van triads. De achterliggende reden is dat slechts met deze aangepaste instellingen het dan mogelijk is om 2D golfrandvoorwaarden te construeren waarbij de diepwaterstatistiek in drietal vaste offshore stations (Eierlandse gat/ELD, IJmuiden/YMW en Europlatform/EUR) met voldoende nauwkeurigheid kan worden gereproduceerd. Daarnaast staat vast dat de structurele onderschatting van de periodematen door onder andere de huidige whitecapping formulering in SWAN wordt veroorzaakt (zie Rogers et al., 2003, Van der Westhuysen et al., 2006). Tot slot is bekend dat de huidige triadformulering in SWAN slechts beperkt toepasbaar is. Eén van de beperkingen is dat de formulering geen transfer van energie naar lagere frequenties geeft. Dit geeft aanleiding tot een onderschatting van de periodematen. In de praktijk is het beter (=minder erg) om dit proces uit te zetten in de modelberekeningen. Het weglaten geeft meestal een kleinere fout dan het meenemen ervan. Dit hangt mede samen met het feit dat deze formulering in SWAN niet in een behoudsvorm is geïmplementeerd. Dit betekent dat er kunstmatig energie in het model wordt gegenereerd en wel in de hogere harmonischen. Dit leidt aldus tot (extra) verlaging van de periodematen.

Beide aanpassingen, i.e. de n -switch in de whitecapping formule en het achterwege laten van triads kunnen mogelijk aanleiding geven tot overschatting

¹⁴ De standaard waarde 1 voor de parameter n wordt verhoogd naar 2. Dit leidt tot een verbeterde verdeling van de energie-dissipatie over het frequentiebereik. Dit heeft tot gevolg dat de golfenergie bij lagere frequenties beter voorspeld wordt en daarmee uiteindelijk ook de verbeterde voorspelling van de gemiddelde golfteriode. In sommige gevallen kan er sprake zijn van overschatting van de periodematen.



van T_{pm} en $T_{m-1,0}$. In dit memo wordt opnieuw de correctiefactoren afgeleid voor de berekende golfperioden $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} uit vergelijking met metingen. Daarnaast kan mogelijk een beperkte overschatting van de significante golfhoogte H_{m0} optreden doordat de golfsteilheid die SWAN berekent minder nauwkeurig wordt (zeker bij zeer lange strijklengtes > 1000km). In dit memo wordt derhalve voorgesteld eveneens een correctiemethode voor de significante golfhoogte af te leiden.

Strategie en uitgangspunten

In Alkyon (2005) zijn hindcasts uitgevoerd voor de Hollandse Kust bij Petten en de Westerschelde waarvoor metingen onder stormcondities beschikbaar zijn. In dit memo beperken we ons tot Petten. De selectie van tijdstippen voor de hindcasts is reeds in eerdere studies gedaan en deze zullen worden overgenomen. Voor Petten zijn dat 21 tijdstippen verdeeld over 5 stormdagen; zie Tabel 1 van Alkyon (2005). Van deze tijdstippen zijn metingen van een aantal golfparameters beschikbaar: 12 tijdstippen hebben betrekking op de periode januari/februari 1995 en de overige 9 tijdstippen hebben betrekking op de periode februari en oktober 2002. Bij de toepassing van de randvoorwaarde methode is echter gebleken dat de golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_p in zowel ELD als YMW van vrijwel alle tijdstippen van 1995 niet met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden gereproduceerd. Blijkbaar past óf de windsnelheid óf de bodemdiepte óf beide niet bij de gewenste situatie. De metingen van 2002 van ELD en YMW worden echter wel goed gereproduceerd, terwijl er met dezelfde bodemschematisatie wordt gewerkt. In Zijlema (2005b) is aannemelijk gemaakt dat de gemeten windsnelheden van 1995 inderdaad relatief te laag zijn. Derhalve zijn de metingen van 1995 als onbetrouwbaar beschouwd en in dit memo beperken we dan ook tot de metingen van februari en oktober 2002.

Een nadeel van het gebruik van veldmetingen is de onnauwkeurigheid van de invoer voor het SWAN model. Naast andere invoer komen de opgelegde bodemligging en windsnelheid niet altijd overeen met de werkelijke bodem en wind. In de hindcast studie van WL is geconcludeerd dat onnauwkeurige bodem- en windgegevens nabij de kust significante invloed hadden op de berekende waarden voor golfhoogte en periode (WL, 2003).

De Petten meetsite is op schaal nagebouwd in een golfgoot (WL, 1999). In deze golfgoot zijn zowel opgetreden stormsituaties als mogelijke extreme situaties gesimuleerd. De golfcondities vertonen een grote mate van variatie in golfhoogte, golfperiode en waterstand. Naast de stormen die gebaseerd zijn op de januari stormen van 1995, zijn een aantal theoretische (Jonswap-achtige) enkel- en dubbeltoppige spectra beschouwd. Deze extreme situaties zijn een benadering van de 'maatgevende' omstandigheden en vormen een aanvulling op de stormsituaties. Het voordeel van de gootexperimenten is dat bodemligging, stroming (niet aanwezig), wind (niet aanwezig) en waterstand exact bekend zijn en als zodanig als invoer voor de berekeningen kan worden gebruikt. Zodoende wordt de vergelijking tussen de modelresultaten met de berekeningen niet vertroebeld door 'foutieve' modelinvoer, wat wel het geval is wanneer veldmetingen worden beschouwd. Het nadeel is echter wel dat in gootsituaties géén richtingseffecten een rol spelen, terwijl in veldsituaties wel het geval is.



Met betrekking tot de aansturing van SWAN zoals die toegepast wordt voor de berekeningen ten behoeve van HR2006 zijn de volgende uitgangspunten genomen (zie ook Kieftenburg (2004) voor uitgebreide achtergrondinformatie):

- Het rooster is kromlijinig en is gebaseerd op het kromlijnige waterbewegings-model Kuststrook. Dat laatste rooster is verdicht in kustlangs- en kustdwarsrichting. Het rooster is zodanig verfijnd dat het kustlangs een celgrootte van ongeveer 100m heeft. Dwars op de kust is de celgrootte ongeveer 20m bij de kust, gradueel oplopend tot 100m langs diepwaterrand. Het totaal aantal roosterpunten bedraagt 1981×761 waarvan 44% actief zijn.
- Voor de sommen is gebruik gemaakt van de bodemgegevens zoals beschreven in Walburg (2005). Nabij de kust wordt gewerkt met de gemiddelde bodemdiepte en dus niet de werkelijke bodem ten tijde van de metingen. Dit kan aanleiding geven tot grotere golfhoogtes in de modelberekeningen.
- Aansturing op zeewaartse rand op basis van gemeten diep water golfrandvoorwaarden voor H_{m0} , T_{pm} en $T_{m-1,0}$ waarbij inspeleeffecten moeten worden gecompenseerd zodat de berekende waarden overeenkomen met de gemeten waarden in de offshore stations (Eierlandse Gat en IJmuiden).
- Wind met een verhang in 1 hoofdrichting, te baseren op metingen.
- Geen stromingen.
- Een vlakke waterstand, gebaseerd op de gemeten waterstand.
- De fysische instellingen voor SWAN zoals aanbevolen in Zijlema (2005a).
- De numerieke instellingen voor SWAN zoals aanbevolen in Alkyon (2004).
- De berekeningen worden of zijn uitgevoerd met SWAN 40.41ABa. Dit is de vigerende moederversie inclusief de bekende bugfixes A en B en uitgebreid met de geavanceerde formuleringen voor berekeningen aan transmissies rondom havendammen (patch a); zie Zijlema (2005c).

Op basis van deze aansturing zijn er hindcasts uitgevoerd waarbij de SWAN resultaten met de metingen in het veld (o.a. feb/okt 2002) en van gootproeven in enkele locaties rondom Petten zijn vergeleken. Deze resultaten zullen worden gebruikt voor het bepalen van de correctiewaarden voor H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} . Deze correctiefactoren worden geacht toepasbaar te zijn voor alle harde keringen langs de Hollandse Kust. Hierbij is namelijk aangenomen dat de fysica rondom Pettemer Zeewering representatief is voor alle overige keringen.

Resultaten

De resultaten worden weergegeven aan de hand van scatterplots die relatie tussen de gemeten waarde en de met SWAN berekende waarde van elk van de golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} . De statistische grootheden die in beschouwing worden genomen zijn:

$$\text{relatieve bias} = b = \frac{\overline{x - y}}{\overline{y}} \text{ en}$$



$$\text{relatieve standaard deviatie} = \frac{\sqrt{\frac{\left(\sum_{n=1}^N x_n - y_n - b\right)^2}{N-1}}}{\bar{y}}$$

met $\bar{x} = \sum_n x_n$ en $\bar{y} = \sum_n y_n$ de gemiddelde uit een set van N waarden van respectievelijk berekende en gemeten golfparameter (H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02}).

Met betrekking tot de metingen onderscheiden we in veldmetingen en gootmetingen. De in dit memo gebruikte veldmetingen bestaan uit gemeten golfparameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} van 4 stormmomenten van 23 februari 2002 (7:20 u, 10:20 u, 13:20 u en 19:20 u), 1 stormmoment van 26 oktober 2002 (7:00 u) en 2 stormmomenten van 27 oktober 2002 (14:20 u en 17:00 u). Overige details zijn te vinden in Alkyon (2005).

In dit memo is tevens gebruik gemaakt van de gootmetingen welke verdeeld zijn in twee groepen: een reeks gemeten onder normale stormcondities vergelijkbaar met de veldmetingen bij Petten van 1 en 2 januari 1995 (cases 1.01 tot en met 1.06) gecombineerd met diverse waterstanden en een reeks gemeten onder extremere condities (cases 2.23, 2.25, 2.41, 2.51 en 2.54) gebaseerd op Jonswap-achtige spectra (enkel- en dubbeltoppig) met een waterstand van NAP +4.70m. Deze cases zijn aangemerkt als 'maatgevend'. Zie Tabel 1. Overige details zijn te vinden in WL (1999).

Tabel 1. Overzicht piekperioden, golfhoogtes en waterstanden per case voor de Petten gootproeven.

Case	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	2.23	2.25	2.41	2.51	2.54
Tp (s)	11.1	11.1	16.7	16.7	14.3	10.0	12.0	14.5	7.0	9.0	18.0
Hm0 (m)	4.20	4.23	3.95	4.29	3.10	3.75	4.00	6.00	7.00	6.00	6.00
Swl (m)	2.10	2.01	2.18	1.64	1.60	2.00	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70

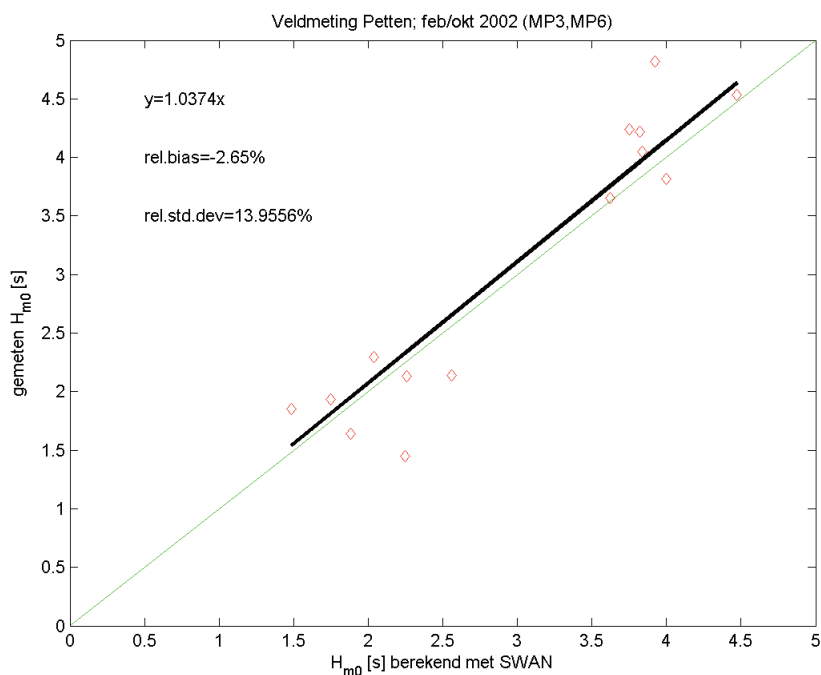
We beperken ons tot de locaties die representatief zijn voor de uitvoerpunten welke in de SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust ten behoeve van HR2006 worden beschouwd (enkele honderden meters ten opzichte van de kruin). In geval van beschikbare veldmetingen zijn dat MP3 en MP6 en in geval van gootmetingen zijn dat BAR, MP5 en MP6. Details zijn te vinden in Alkyon (2005).

De vergelijking met veldmetingen zijn weergegeven in Figuur 1-a tot en met 1-d. Een positieve relatieve bias geeft aldus een overschatting door SWAN weer. **Vanwege de beperkte hoeveelheid metingen die in dit memo zijn gebruikt voor het bepalen van de correctiefactoren voor de Hollandse Kust dient men de interpretatie van de resultaten met de nodige voorzichtigheid te betrachten.** Met name $T_{m-1,0}$ en T_{m02} blijken te worden overschat. Deze overschattingen hebben een trend die zich laat beschrijven met respectievelijk y

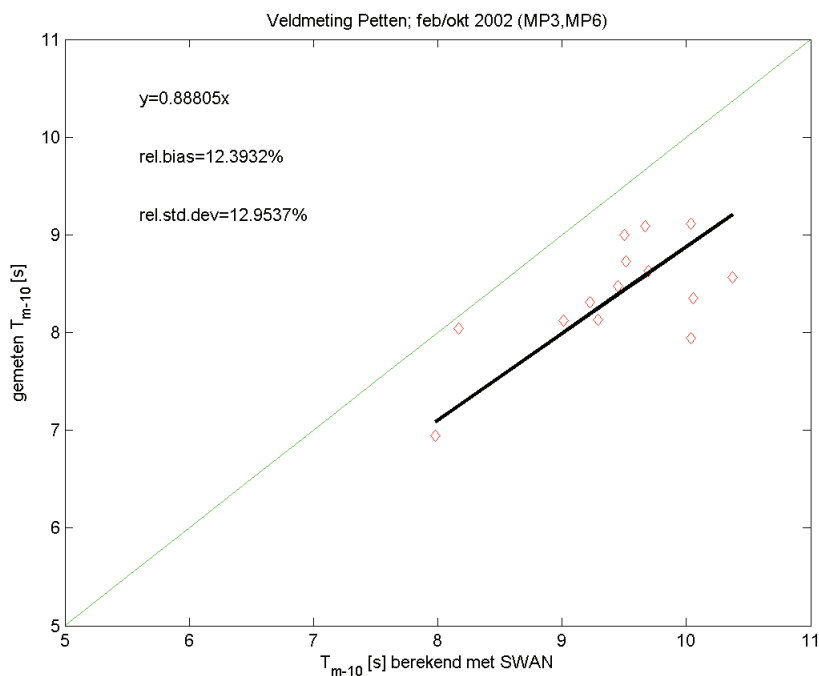


overschattingen hebben een trend die zich laat beschrijven met respectievelijk $y = 0.89x$ en $y = 0.73x$ waarbij x staat voor de SWAN berekening en y voor de meting. Dit is verklaarbaar doordat zowel de n -switch van whitecapping als het uitschakelen van triads relatief meer energie achterblijven in het laagfrequente deel van het spectrum. Wanneer we de standaard instellingen¹⁵ zouden gaan toepassen dan worden deze periodematen juist structureel onderschat. Zie Figuren 2-b en 2-c. Dit is algemeen bekend en de belangrijkste oorzaak lijkt samen te hangen met de standaard whitecapping formule van Komen (Booij *et al.* (1999)) zoals die in vrijwel alle golfmodellen wordt toegepast (WAM, WAVEWATCH, etc.). Opvallend is dat T_{m02} goed voorspeld wordt.

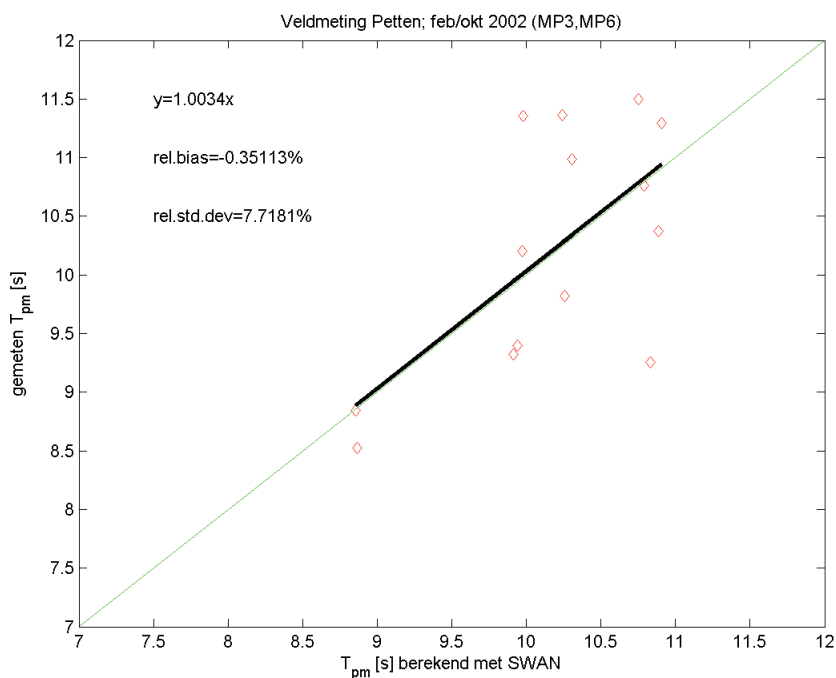
¹⁵ Zoals destijds voor RAND2001 is gedaan met de SWAN 30.62 berekeningen.



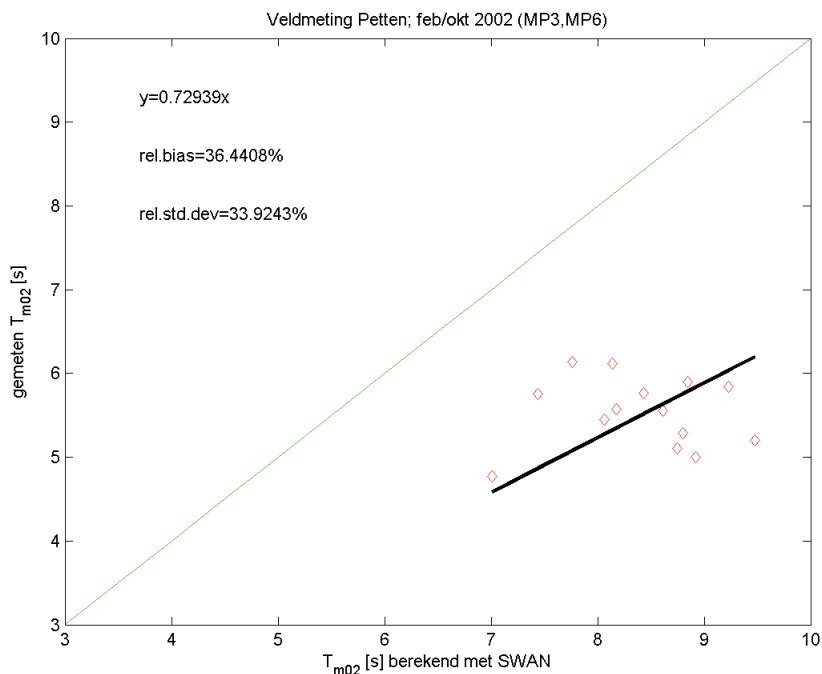
Figuur 1-a. Scatterplot H_{m0} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



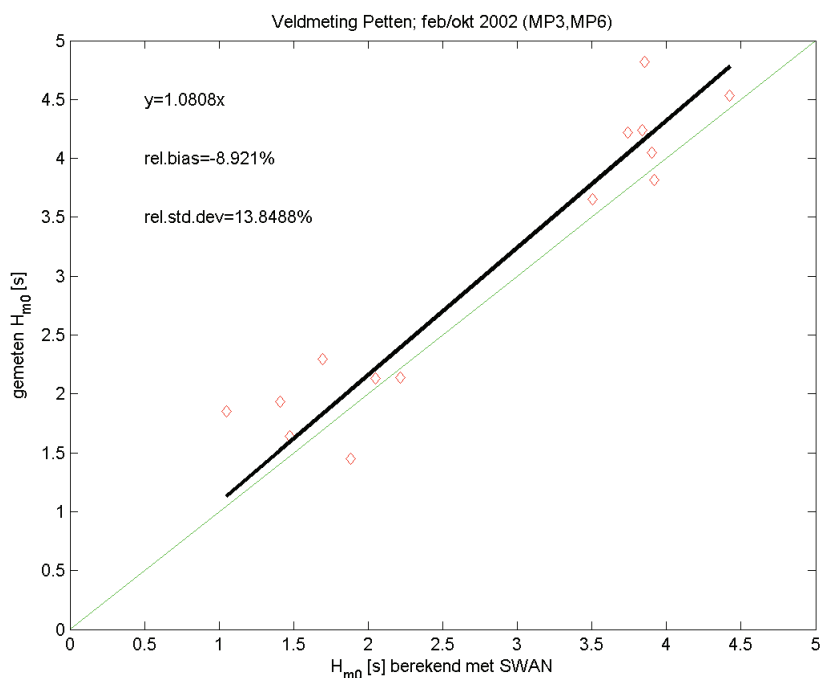
Figuur 1-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: veldmeting versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



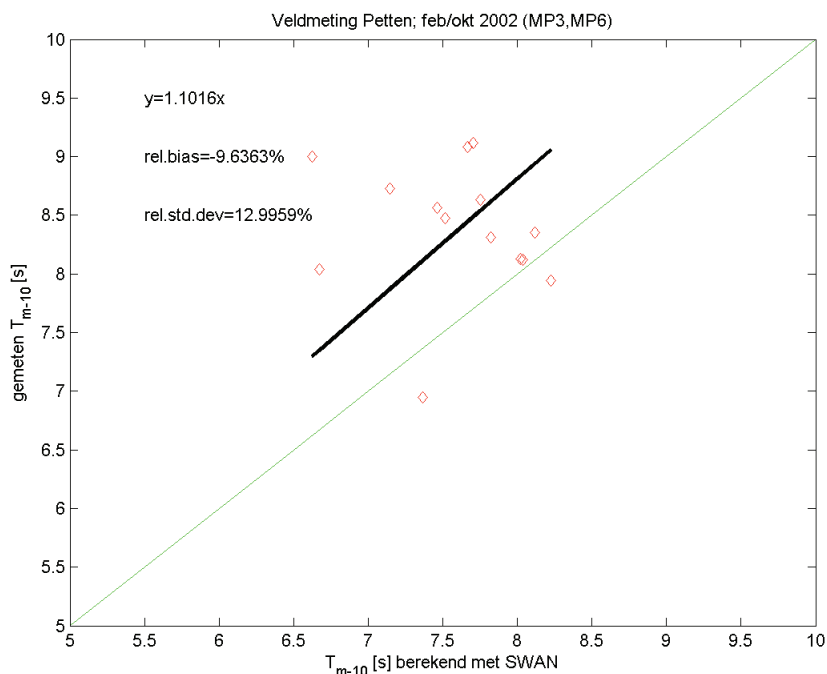
Figuur 1-c. Scatterplot T_{pm} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



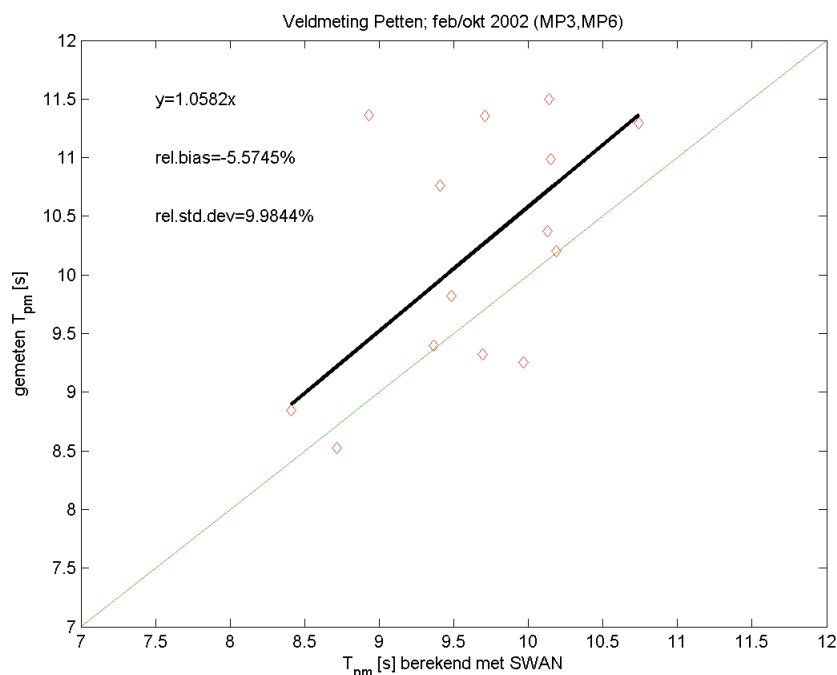
Figuur 1-d. Scatterplot T_{m02} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



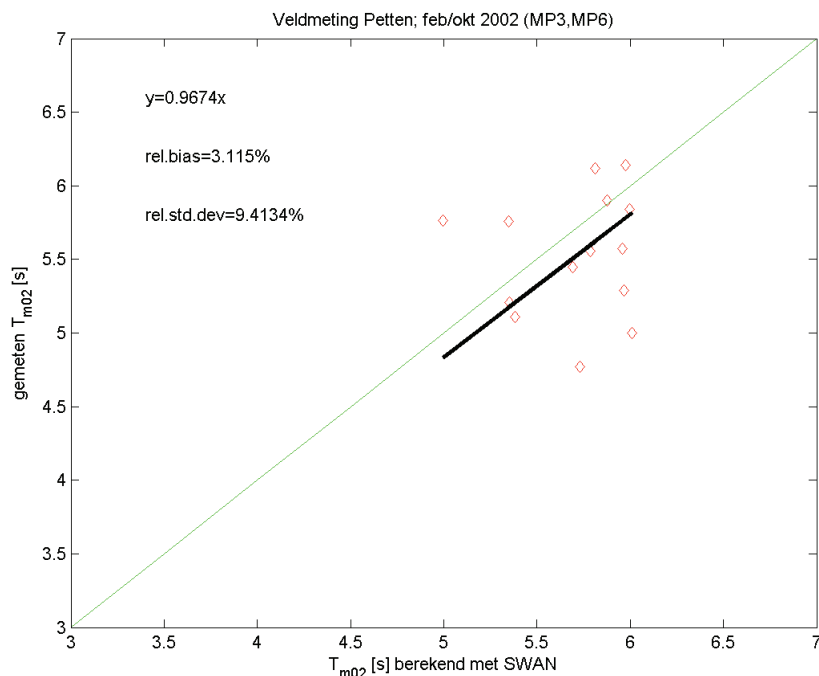
Figuur 2-a. Scatterplot H_{m0} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).



Figuur 2-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: veldmeting versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).



Figuur 2-c. Scatterplot T_{pm} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).



Figuur 2-d. Scatterplot T_{m02} : veldmeting versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).



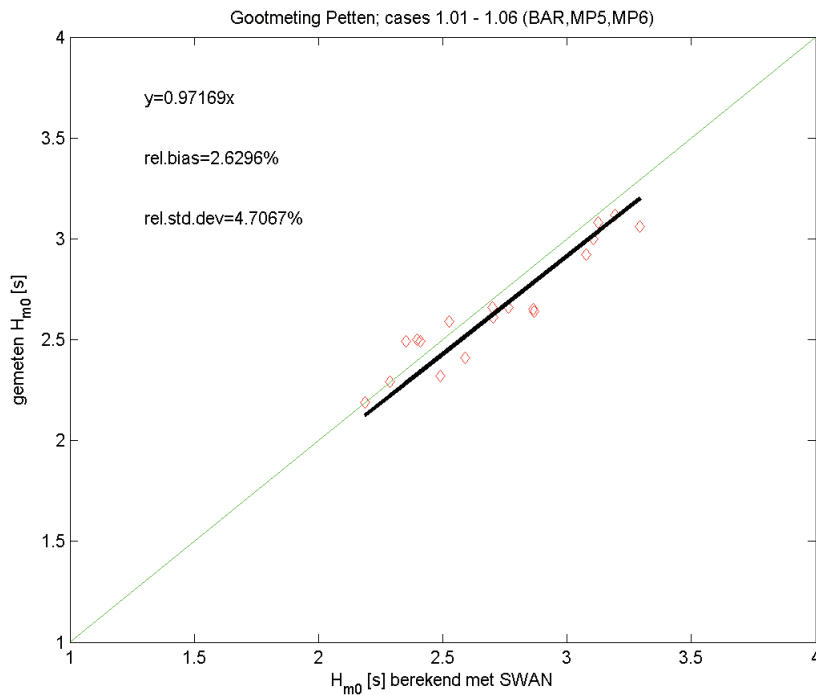
In de kustzone zal triads een dominante rol spelen. Naar verwachting zal de triadformulering in SWAN het genereren van hogere harmonischen in sterke mate overschatten en daarmee tot onderschatting van de periodematen. In welke mate deze onderschatting geschiedt zal aan de hand van de resultaten van de gootexperimenten bestudeerd worden. In deze experimenten worden namelijk de volgende fysische processen met SWAN gemodelleerd: whitecapping, surfbreking, bodemwrijving en triads¹⁶. Over het algemeen zal de bodemwrijving hier een ondergeschikte rol spelen doordat de golven hier relatief kort zijn (behalve wellicht onder extreme omstandigheden).

We beschouwen de vergelijking tussen de SWAN berekeningen en de gootmetingen voor de cases 1.01 tot en met 1.06. In de berekeningen zijn de standaard fysische instellingen toegepast (standaard whitecapping formule en triads). Doordat triads de enige vorm van golf wisselwerking in de berekeningen aanwezig is met als gevolg dat alle aanwezige laagfrequente energie uitsluitend naar hogere frequenties wordt gepompt zal dit leiden tot een flinke onderschatting van $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} zoals te zien in Figuren 3-b tot en met 3-d. Deze onderschatting bedraagt in de orde grootte 10% tot 20%. Zoals te zien in Figuur 3-a wordt de significante golfhoogte en daarmee de hoeveelheid energie goed berekend wat impliceert dat surfbreking goed wordt gemodelleerd.

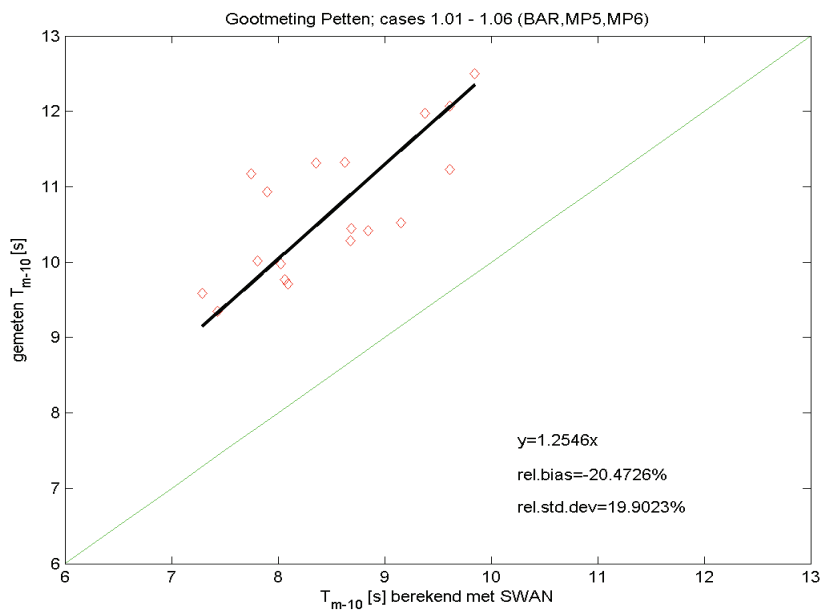
De getoonde onderschattingen ten opzichte van de gootmetingen zijn relatief groter dan die van vergelijk met de veldmetingen. Dit komt doordat met de driegolf én viergolf wisselwerkingen tezamen een andere periodeveranderingen met zich meebrengt met als resultaat een veel geringer onderschatting van de periodematen ten opzichte van de veldmetingen. Hierbij zullen met name de 'lange-golf' periodematen $T_{m-1,0}$ en T_{pm} nog relatief zwaar onderschat worden (orde -10%) terwijl de 'korte-golf' periodemaat T_{m02} in geringere mate zal worden onderschat cq. overschat (cf. Figuren 2-b, 2-c en 2-d).

Merk op dat in het kader van de zg. Crash-actie het resultaat van Figuur 3-b is gebruikt voor de toetscorrectie voor RAND2001 (de periodemaat $T_{m-1,0}$ werd naar boven bijgesteld met 20%); zie ook Jacobse *et al.* (2002).

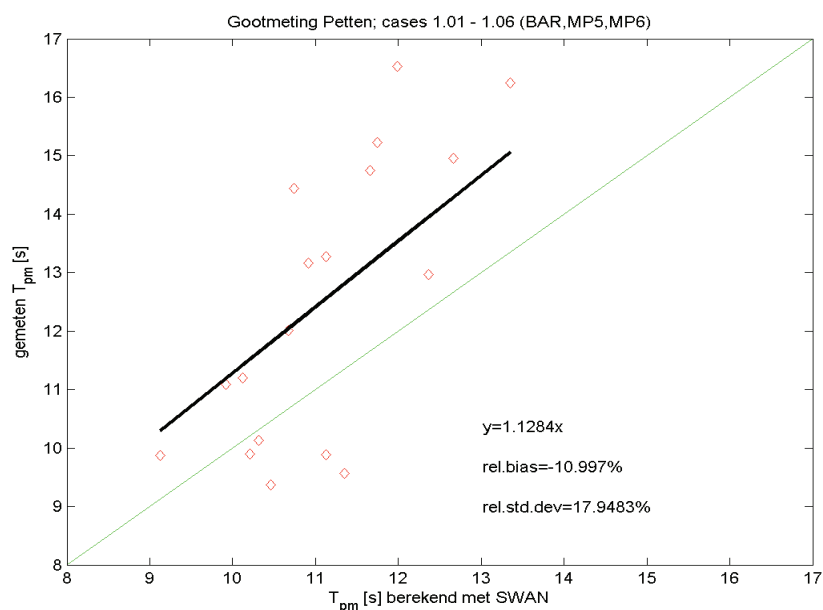
¹⁶ Wind heeft géén rol gespeeld in deze experimenten en derhalve ook de viergolf wisselwerking niet.



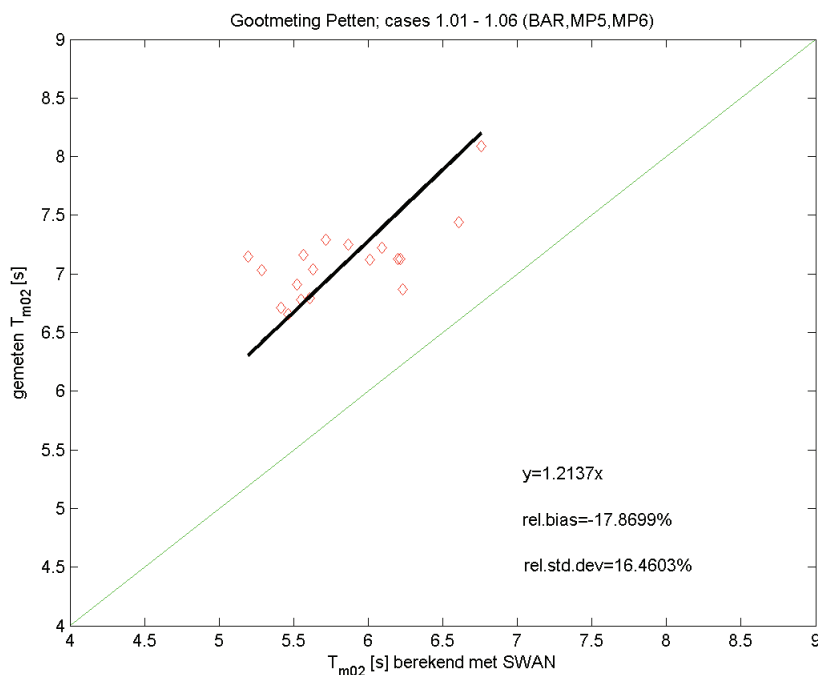
Figuur 3-a. Scatterplot H_{m0} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping en triads).



Figuur 3-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping en triads).



Figuur 3-c. Scatterplot T_{pm} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).

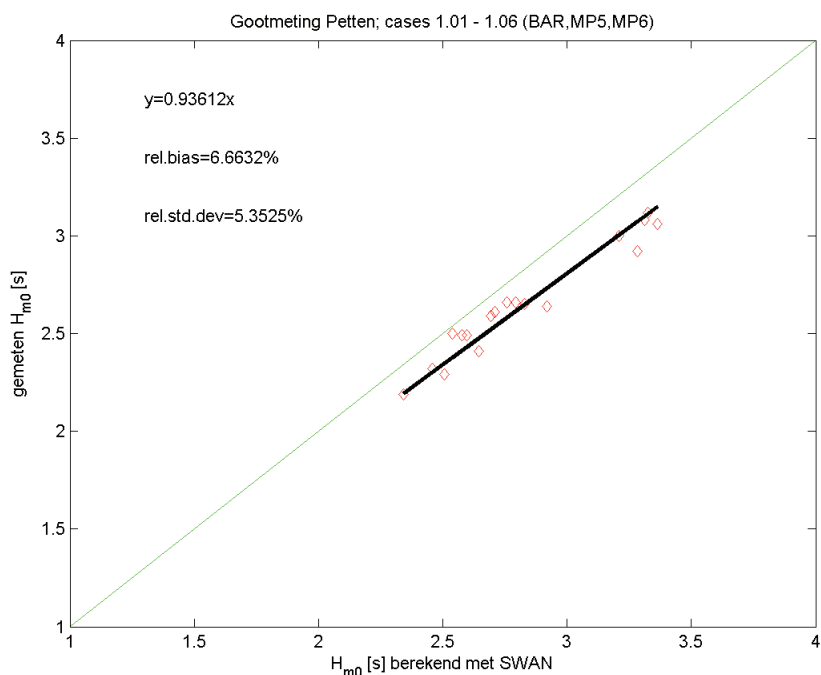


Figuur 3-d. Scatterplot T_{m02} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met standaard fysische instellingen (standaard whitecapping en triads).

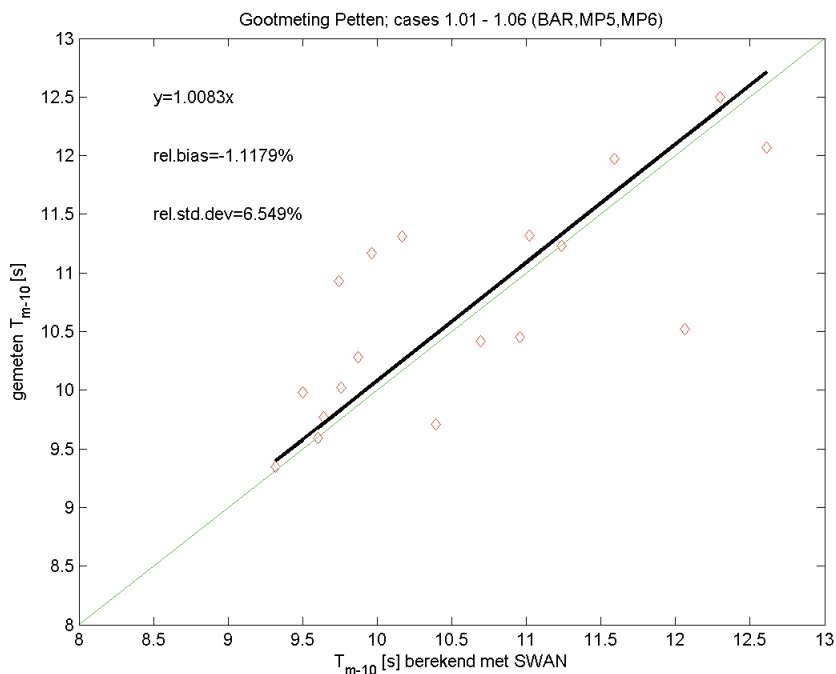


Wanneer we nu triads uitschakelt en vervolgens de n -switch van whitecapping toepast ontstaat een gehele andere balans, t.w. een evenwicht tussen aangepaste whitecapping en surfbreking (en ook bodemwrijving hoewel minder significant). Er vindt nu géén golf wisselwerking plaats! Dit heeft tot gevolg dat er nu voldoende energie in laagfrequente deel van het spectrum zit (dankzij de n -switch) maar te weinig energie in hoogfrequente deel (door het ontbreken van driegolf wisselwerking). Het resultaat is dat zowel $T_{m-1,0}$ als T_{pm} goed worden voorspeld (zie Figuren 4-b en 4-c; 'lange-golf' periodematen worden lichtelijk onderschat) maar 'korte-golf' periode T_{m02} wordt overschat met 20% (cf. Figuur 4-d). De significante golfhoogte wordt ietwat overschat met ongeveer 7%; zie Figuur 4-a.

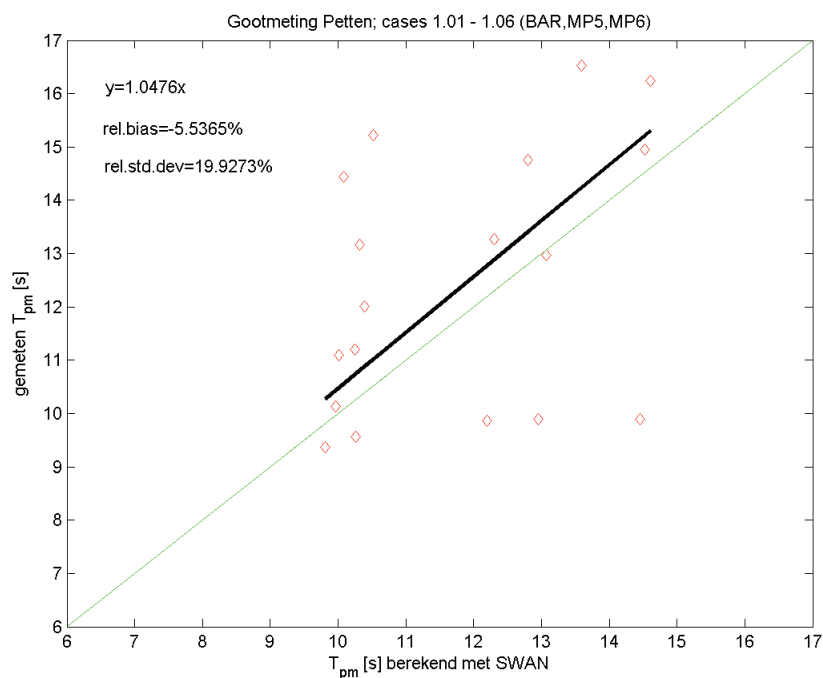
Voor de maatgevende situaties blijkt hetzelfde beeld op te treden doch in sterkere mate. Met de standaard instellingen (standaard whitecapping + triads) wordt zowel $T_{m-1,0}$ als T_{m02} onderschat met ruim 15% (niet getoond) terwijl met de aangepaste instellingen (n -switch en zonder triads) worden ze beide overschat met respectievelijk 14% en 31% (niet getoond). We moeten echter deze resultaten, en in het bijzonder die van $T_{m-1,0}$, met een korreltje zout nemen. Volgens Jacobse *et al.* (2002) blijkt de breedte van een Jonswap-achtige spectrum het verloop van $T_{m-1,0}$ van diep naar ondiep water te beïnvloeden. Bij sommige cases (2.51, 2.54) zijn de (theoretische) Jonswap-spectrum zodanig gekozen dat dientengevolge $T_{m-1,0}$ in de richting van de dijk niet toeneemt of zelfs afneemt. Dit lijkt onwaarschijnlijk. Derhalve zijn bij de vaststelling van de uiteindelijke correctiefactoren de maatgevende cases niet meegenomen.



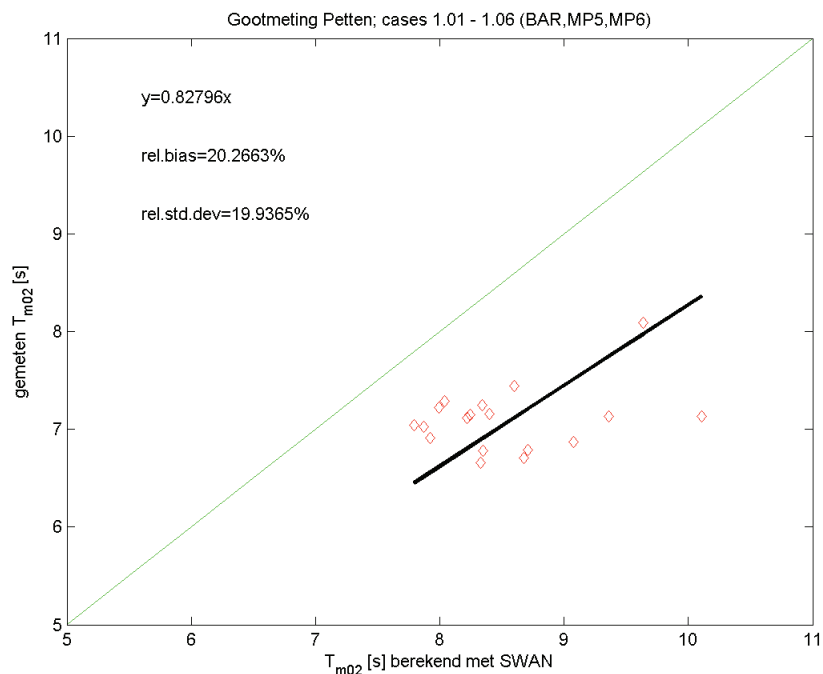
Figuur 4-a. Scatterplot H_{m0} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



Figuur 4-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



Figuur 4-c. Scatterplot T_{pm} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



Figuur 4-d. Scatterplot T_{m02} : gootmeting (cases 1.01–1.06) versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads.



Wanneer we nu zowel de veldmetingen als de gootmetingen voor normale stormcondities in beschouwing nemen dan concluderen we dat met de aangepaste SWAN instellingen (*n*-switch en géén triads) de parameters H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_{pm} goed worden voorspeld (zie Figuren 5-a tot en met 5-c). Verder blijkt opnieuw dat T_{m02} flink overschat wordt; cf. Figuur 5-d. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het ontbreken van triads in de SWAN berekeningen. Met de standaard instellingen (standaard whitecapping en triads) zien we dat alle periodematen structureel onderschat worden (10% tot 15%); zie Figuren 6-b tot en met 6-d.

De besproken resultaten zijn in de onderstaande Tabellen weergegeven.

Tabel 2. Relatieve bias in de met SWAN40.41ABa berekende golfparameters op basis van aangepaste fysische instellingen (*n*-switch en zonder triads) voor verschillende meetsituaties.

Conditie	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	T_{pm}	T_{m02}
veld, feb/okt 2002	-3%	+12%	0	+36%
goot, 1.01 – 1.06	+7%	-1%	-6%	+20%
veld + goot	+2%	+4%	-4%	+26%

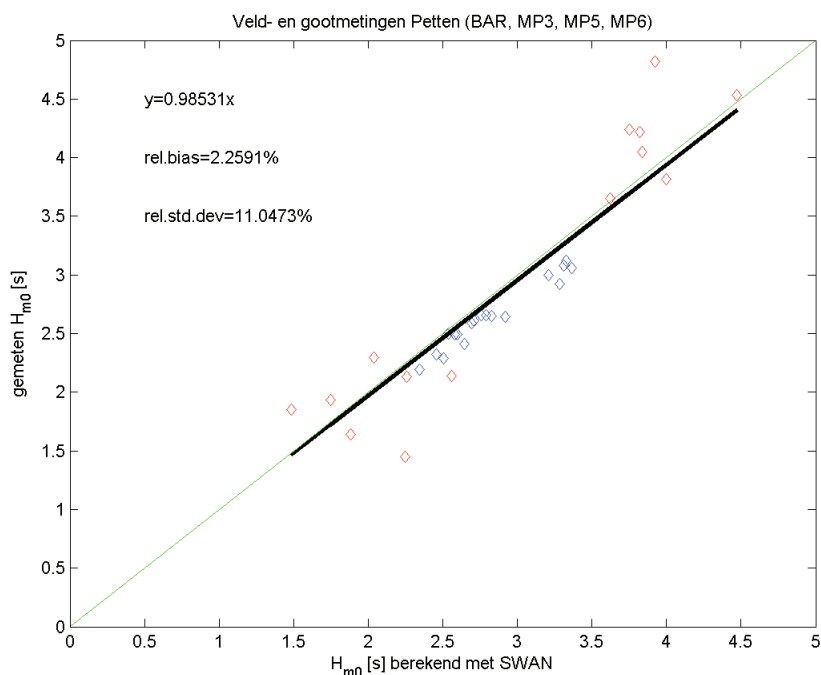
Tabel 3. Relatieve bias in de met SWAN40.41ABa berekende golfparameters op basis van standaard fysische instellingen (standaard whitecapping formule en triads) voor verschillende meetsituaties.

Conditie	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	T_{pm}	T_{m02}
veld, feb/okt 2002	-9%	-10%	-6%	+3%
goot, 1.01 – 1.06	+3%	-20%	-11%	-18%
veld + goot	-3%	-16%	-9%	-10%

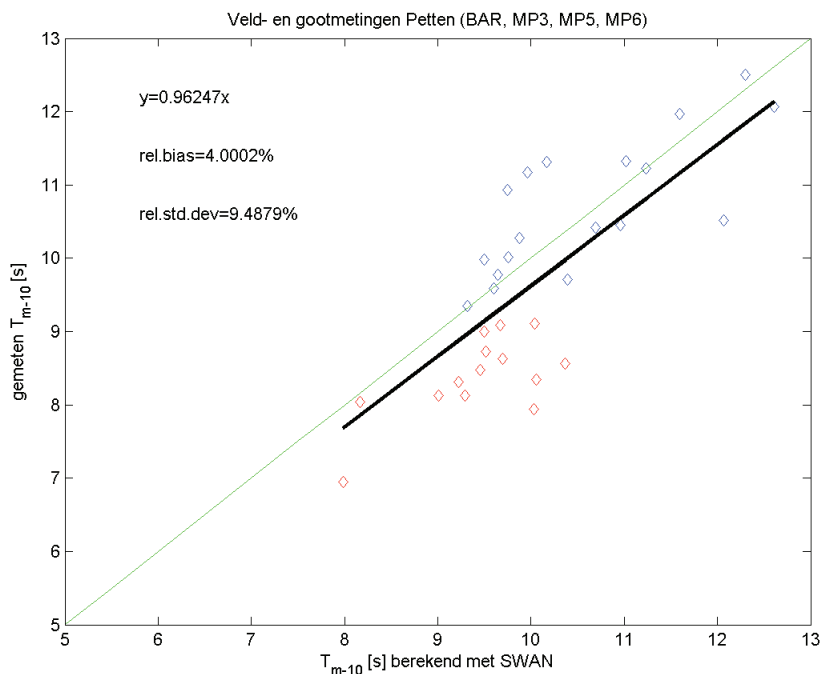
Samenvattend kunnen we concluderen dat met de aangepaste instellingen (*n*-switch in whitecapping en uitschakelen triads):

1. zowel H_{m0} als T_{pm} overwegend goed worden berekend,
2. $T_{m-1,0}$ redelijk overschat wordt (tot 10%) en
3. T_{m02} zwaar overschat wordt (minstens 20%).

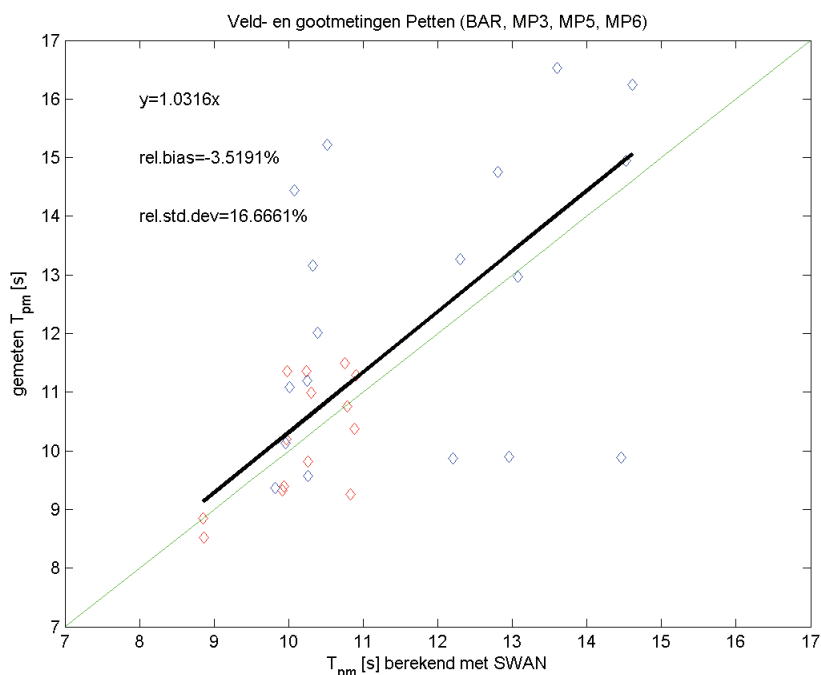
Met de standaard instellingen (standaard whitecapping en triads zoals ook destijds in RAND2001 berekeningen zijn toegepast) worden de periodematen $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} structureel onderschat met minstens 10 – 20%. Slechts H_{m0} wordt redelijk goed tot goed voorspeld.



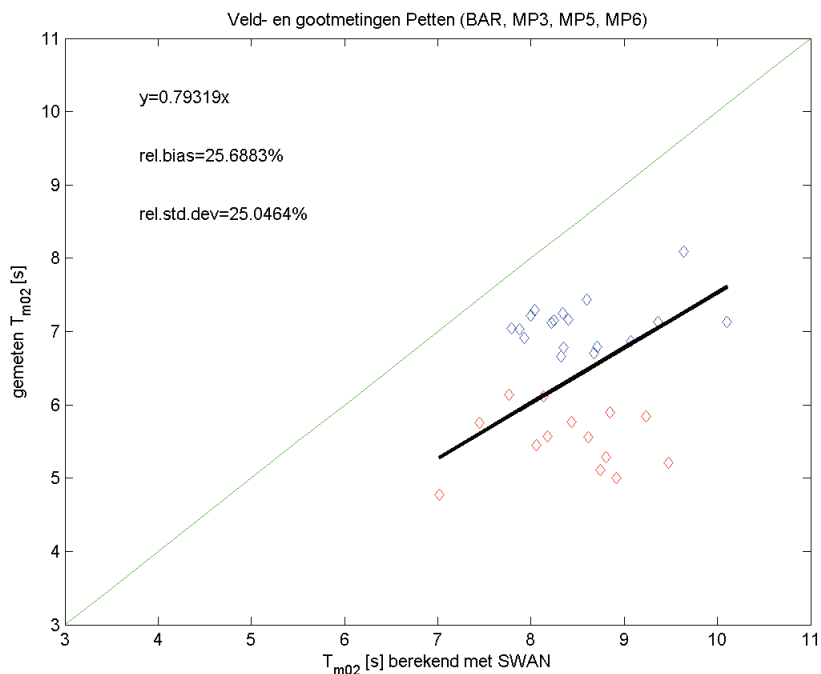
Figuur 5-a. Scatterplot H_{m0} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads. Blauw = gootdata, rood = velddata.



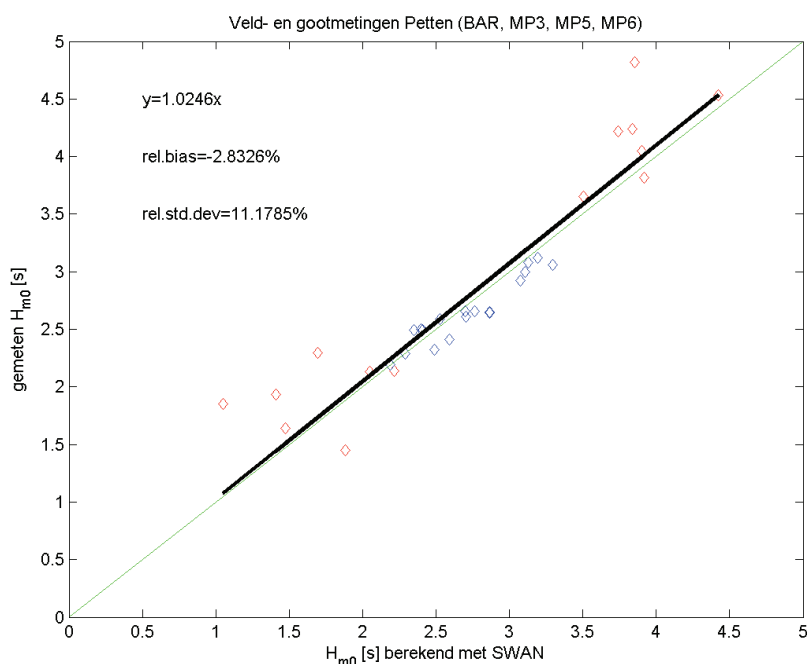
Figuur 5-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads. Blauw = gootdata, rood = velddata.



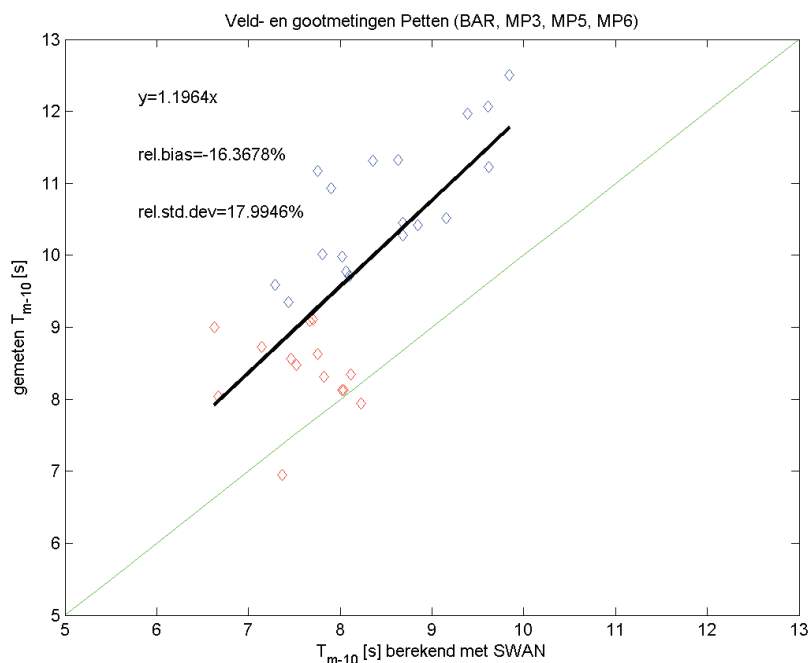
Figuur 5-c. Scatterplot T_{pm} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads. Blauw = gootdata, rood = velddata.



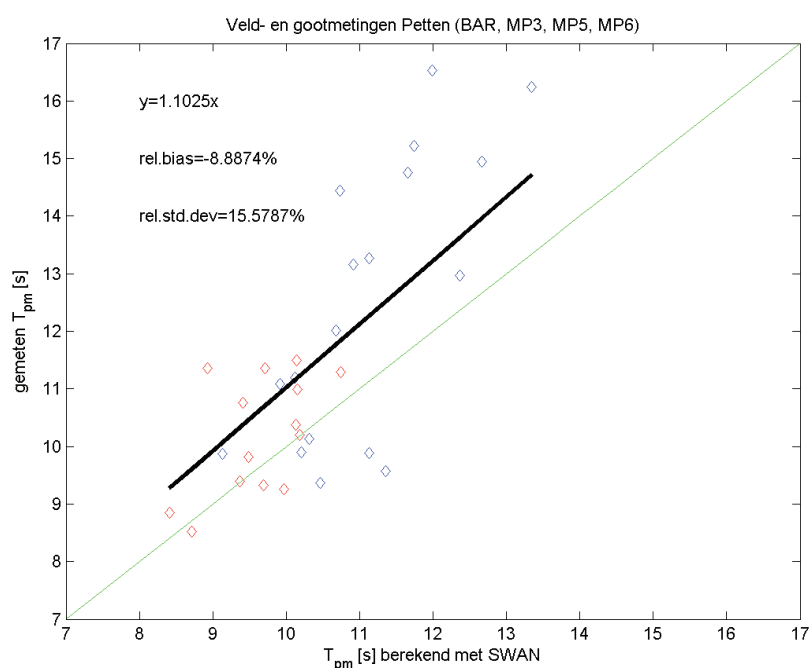
Figuur 5-d. Scatterplot T_{m02} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met n -switch en zonder triads. Blauw = gootdata, rood = velddata.



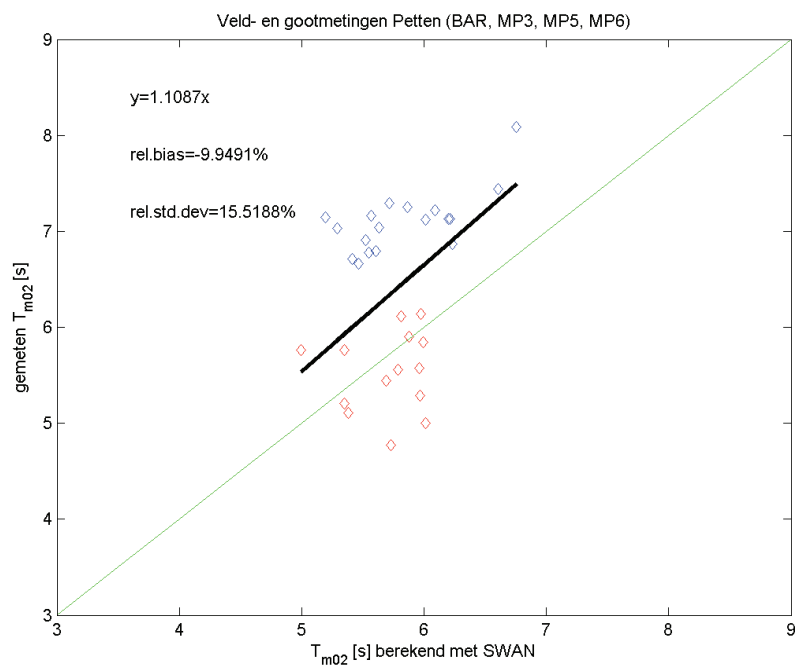
Figuur 6-a. Scatterplot H_{m0} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping, triads). Blauw=gootdata, rood=velddata.



Figuur 6-b. Scatterplot $T_{m-1,0}$: veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping, triads). Blauw=gootdata, rood=velddata.



Figuur 6-c. Scatterplot T_{pm} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping, triads). Blauw=gootdata, rood=velldata.



Figuur 6-d. Scatterplot T_{m02} : veld- en gootmetingen versus SWAN40.41ABa met standaard fysieke instellingen (standaard whitecapping, triads). Blauw=gootdata, rood=velldata.



De correctiefactoren die in de database KustDB2006 uiteindelijk zullen worden toegepast worden slechts afgeleid uit vergelijking tussen SWAN en de veldmetingen (feb/okt 2002). De resultaten van de gootmetingen worden aldus niet gebruikt. Daar zijn twee redenen voor:

1. De belangrijkste reden is de aansturing van SWAN. In de hindcasts is de afwijking van zowel H_{m0} en $T_{m-1,0}$ in de twee offshore-stations ELD en YMW het kleinst (6% voor H_{m0} en 2% voor $T_{m-1,0}$). Verder zijn de windvelden op dezelfde manier aangemaakt als in de HR2006 SWAN berekeningen (voor details zie Van Ledden *et al.* (2005)). In de berekeningen voor vergelijk met de gootmetingen is de aansturing structureel anders dan die van HR2006 (gebruik van gemeten spectrum op zeerand met mogelijk inspeleffecten én géén wind).
2. In de 1D berekeningen is géén richtingsverspreiding aanwezig terwijl dat in werkelijkheid wel het geval is. Bovendien spelen in 1D situatie viergolf wisselwerking géén rol, terwijl die bij 2D golfvelden wel actief zijn. Dit geeft problemen bij de interpretatie van 1D gootproeven en berekeningen omdat zowel de triads als de quadruplets brontermen zijn die periodeveranderingen tot gevolg hebben.

Al met al maken deze complicaties het beoordelen van de SWAN resultaten in KustDB2006 uitermate lastig wanneer de correctiefactoren op basis van gootmetingen zouden worden toegepast.

Op grond van de resultaten weergegeven in Tabel 2 wordt voorgesteld dat alleen de golfparameters $T_{m-1,0}$ en T_{m02} als significant overschat worden beschouwd waarvan de relatieve fout ten opzichte van de metingen gelijk wordt gesteld aan respectievelijk +10% en +25%. De reden om voor T_{m02} de relatieve fout op 25% te stellen (en niet 36%) is tweërlei:

1. Voor de SWAN database is vóóraf afgesproken dat de correctiefactor niet minder dan 0.80 en niet meer dan 1.25 mag bedragen om zodoende het risico van de andere onzekerheden (randaansturing SWAN, gebruikte bodem en wind, berekening golfparameters, etc.) te minimaliseren cq. te vermijden (zie reden no. 2).
2. Voor een deel is de onzekerheid in de parameter T_{m02} gebaseerd op de ruis in de gemeten spectrale staart. De nauwkeurigheid van de relatieve fout van 36% is om die reden lager dan die van $T_{m-1,0}$ en T_{pm} .

De golfhoogte wordt door SWAN redelijk nauwkeurig berekend. De afwijking ligt in de orde van 5%. Aangezien dit binnen aanvaardbare marges ligt, zeker gezien de meetnauwkeurigheid, wordt voor de berekende golfhoogtes géén correctie toegepast. Dit geldt evenzo voor de parameter T_{pm} .

In de database KustDB2006 worden de SWAN data als volgt gecorrigeerd:

$$Y = cX$$

met X ongecorrigeerde SWAN resultaat, Y gecorrigeerde resultaat en c is de (standaard)correctiefactor welke gelijk is aan

$$c = \frac{1}{1+b}$$



met b de relatieve bias. Op basis hiervan vinden we de volgende correctiefactoren.

Tabel 4. Correctiefactoren voor H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en T_{m02} gebaseerd op hindcast data van Petten veldmetingen van feb/okt. 2002 verkregen met SWAN 40.41ABa met aangepaste fysische instellingen (n -switch en triads).

Golfparameter	Correctiefactor
H_{m0}	1.0
$T_{m-1,0}$	0.909
T_{pm}	1.0
T_{m02}	0.80

Conclusies

In dit memo is een vergelijking gemaakt tussen de SWAN berekeningen en de beschikbare metingen van brekende golven bij Pettemer Zeewering. Met betrekking tot de SWAN berekeningen zijn de aansturing, bodem, wind en de fysische instellingen zoals beschreven in het aansturingsdocument toegepast. Ten aanzien van de fysische instellingen zijn de whitecapping en triads anders gekozen. De standaard instellingen voor deze processen resulteren namelijk in een significante onderschatting in de periodematen $T_{m-1,0}$ en T_{pm} . Dit bemoeilijkt echter het construeren van de diepwater randvoorwaarden op de zeeranden van het model voor de Hollandse Kust. Daarom is voor de whitecapping formulering de zg. n -switch toegepast dat tot gevolg heeft dat de genoemde periodematen nauwkeuriger berekend kunnen worden (met name op diep water). Voor de triads is er voor gekozen deze *niet* mee te nemen in de SWAN berekeningen omdat anders de golfperiode dicht bij de kust flink onderschat zal worden. Echter, het niet verdisconteren van triads in de SWAN berekeningen heeft wel tot gevolg dat de golfperiode mogelijk overschat gaat worden.

Met de aangepaste fysische instellingen zijn de hindcasts van veldmetingen van feb/okt. 2002 uitgevoerd. Op basis hiervan is gebleken dat er ongeveer 10% overschatting is geconstateerd van de golfperiode $T_{m-1,0}$ bij de locaties op enkele honderden meters van de kruin van de dijk. Dit geldt ook voor de periodemaat T_{m02} welke met ongeveer 35% wordt overschat. Daarentegen worden de golfhoogte en de piekperiode T_{pm} door SWAN vrij goed berekend.

Geadviseerd wordt om de resultaten van de SWAN berekeningen voor de Hollandse Kust ten behoeve van HR2006 te corrigeren om aldus toepasbaar te maken voor verdere berekeningen (o.a. Hydra-K). De correctie bestaat uit het naar beneden bijstellen van zowel $T_{m-1,0}$ als T_{m02} met respectievelijk 10% en 25%. De correctiefactoren welke in KustDB2006 zullen worden gebruikt zijn dan respectievelijk 0.909 en 0.80.

In verband hiermee moet worden opgemerkt dat in de verkennende studie van Jacobse *et al.* (2002) ten behoeve van de Crash-actie geadviseerd werd om de



met SWAN berekende golfperiodemaat $T_{m-1,0}$ een percentage van 20% in meerdering te brengen. Deze door SWAN onderschatte periodemaat is enkel het gevolg van de toepassing van de standaard fysische instellingen met betrekking tot de whitecapping (standaard formulering van Komen) en triads (meenemen in het model). Dit verklaart waarom dit advies verschilt met het in dit memo geformuleerde advies.

Hoewel de aanpassing van de fysische instellingen mede is ingegeven door het mogelijk maken van de bepaling van diepwater randvoorwaarden voor de Hollandse Kust berekeningen is inmiddels op basis van de huidige inzichten wel duidelijk dat de in het verleden geconstateerde onderschatting van de verschillende periodematen voornamelijk wordt veroorzaakt door de standaard instellingen in SWAN met betrekking tot whitecapping en triads. Het wordt daarom ook aanbevolen daar verder onderzoek naar te doen.



Referentielijst

- [1] Alkyon (2004). *Hindcast Petten and Westerschelde with SWAN 40.20, Period correction*. Report A1200.
- [2] Alkyon (2005). *Period correction SWAN. Background correction factors, based on hindcast Petten, Westerschelde and Petten wave flume with SWAN 40.31 Phase 2*. Report A1200.
- [3] Battjes, J.A., J.P.F.M. Janssen (1978). Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engng.*, ASCE, pp. 569–587.
- [4] Booij, N., R.C. Ris, L.H. Holthuijsen (1999). A third generation wave prediction model for coastal regions. Part I: Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, **104 (C4)**, pp. 7649–7666.
- [5] Eldeberky, Y., J.A. Battjes (1995). Parameterization of triad interactions in wave energy models. *Proc. Coastal Dynamics Conf. 1995*, pp. 140–148.
- [6] Hasselman, K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselman, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Müller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, H. Walden (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl.*, **12**, A8.
- [7] Hasselman, K. (1974). On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. *Bound.-Layer Meteor.*, **6**, pp. 107–127.
- [8] Hasselman, S., K. Hasselman, J.H. Allender, T.P. Barnett (1985). Computation and parameterizations of the linear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear transfer for application in wave models. *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, pp. 1378–1391.
- [9] Jacobse, J.J., A.T.M.M. Kieftenburg en F. den Heijer (2002), Betrouwbaarheid golfcondities met SWAN. Rapport RIKZ/OS-2002.116x, November 2002.
- [10] Kamsteeg, A.T., J.H. Ardorka-Gàl, J.G. de Ronde en J.C.M. de Jong (1998), Golftrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel II), Rapport RIKZ/98.018, Januari 1998.
- [11] Kamsteeg, A.T., J.H. Ardorka-Gàl, J.G. de Ronde en J.J. Jacobse (2001), Golfberekeningen Oosterschelde, Rapport RIKZ/2001.006, Januari 2001.
- [12] Kieftenburg, A.T.M.M. (2004). Aansturing SWAN ten behoeve van de berekeningen voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2006. Notitie RIKZ, concept. (= Bijlage 2 bij offerteaanvraag RKZ1488)



- [13] Rogers, W.E., P.A. Hwang, D.W. Wang (2002). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional scale applications. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, pp. 366–389.
- [14] Snyder, R.L., F.W. Dobson, J.A. Elliot, R.B. Long (1981). Array measurement of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves. *J. Fluid Mech.*, 102, pp. 1–59.
- [15] Van der Westhuysen, A.J., M. Zijlema, J.A. Battjes (2006). Saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. Submitted to Coastal Engng.
- [16] Van Ledden, M., M.R. Westra, J. Groeneweg, I. Wenneker, O. Scholl (2005), SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust. Rapport Fase 1, 9P8603.A0.
- [17] Walburg, A.M. (2005), Constructie van de bodem voor het rekenrooster van SWAN t.b.v. de HR2006. Werkdocument RIKZ/KW/2005.106w, Februari 2005.
- [18] WL | Delft Hydraulics (1999), Physical model investigations on coastal structures with shallow foreshores: 2D model tests on the Petten Sea-defence, WL | Delft Hydraulics rapport H3129, Juli 1999.
- [19] WL | Delft Hydraulics (2003), Reliability of SWAN at the Petten Sea Defence, WL | Delft Hydraulics & Alkyon rapport H4197, Juni 2003.
- [20] Zijlema, M. (2005a). Motivatie andere fysische SWAN instellingen in HR2006 project. Interne memo van 23 mei 2005. (= Appendix E)
- [21] Zijlema, M. (2005b). Aanpassingen windsnelheidsmetingen van 1995. Interne memo van 6 juni 2005.
- [22] Zijlema, M. (2005c), Scheve golftransmissie door lage havendammen. Werkdocument RIKZ/KW/2005.123w, September 2005.



Appendix G: Programma roosterverfijning

```
program verfijn
  integer facx, nstrok
  integer, allocatable :: fac(:), iyb(:), iye(:)
  real    , allocatable :: arr(:, :, :), arrf(:, :, :), arrff(:, :, :)

  write (*,*) 'basis mxa '
  read  (*,*) mxa
  write (*,*) 'basis mya '
  read  (*,*) mya

  write (*,*) 'Factor langs kust? '
  read  (*,*) facx

  write (*,*) 'Aantal stroken? '
  read  (*,*) nstrok

  allocate(fac(nstrok))
  allocate(iyb(nstrok))
  allocate(iye(nstrok))

  fac(1) = 1
  do j = 2, nstrok
    write (*,*) 'Factor voor strook ', j, '?'
    read  (*,*) fac(j)
  end do

  do j = 2, nstrok
    write (*,*) 'Begin n-coordinaat voor strook ', j, '?'
    read  (*,*) iyb(j)
  end do

  iyb(1) = 1
  iye(nstrok) = mya

  do j = 1, nstrok-1
    iye(j) = iyb(j+1)-1
  end do

  mxaf = facx*(mxaf-1)+1
  myaf = 0
  do j = 1, nstrok
    myaf = myaf + fac(j)*(iye(j)-iyb(j)+1)
  end do
  write (*,*) ' +++ aantal m-punten in verfijnd rooster = ', mxaf
  write (*,*) ' +++ aantal n-punten in verfijnd rooster = ', myaf

  allocate(arr (mxaf ,mya ,2))
  allocate(arrf (mxaf ,myaf,2))
  allocate(arrff(mxaf,myaf,2))
  arrf =0.
  arrff=0.
```



```
open(11,file='hr.grd')
open(12,file='hr_fine.grd')
do j = 1, 2
  do iy=1, mya
    read (11,'(10x,5f12.3)') (arr(ix,iy,j), ix=1, mxa)
  end do
end do

c --- verfijning dwars kust
do ix = 1, mxa
  iyf = 1
  do j = 1, nstrok
    do iy = iyb(j), iye(j)
      xb = arr(ix,iy-1,1)
      xe = arr(ix,iy ,1)
      yb = arr(ix,iy-1,2)
      ye = arr(ix,iy ,2)
      if ((xb.ne.0. .or. yb.ne.0.) .and.
+      (xe.ne.0. .or. ye.ne.0.) .or. nstrok.eq.1) then
        do k = 1, fac(j)
          arrf(ix,iyf,1) = xb + real(k)*(xe-xb)/real(fac(j))
          arrf(ix,iyf,2) = yb + real(k)*(ye-yb)/real(fac(j))
          iyf = iyf + 1
        end do
      else
        iyf = iyf + fac(j)
      end if
    end do
  end do
end do

if (iyf-1.ne.myaf) then
  write (*,*) ' +++ n-dimensie klopt niet!'
  stop
end if

c --- verfijning langs kust
do iy = 1, myaf
  arrff(1,iy,1) = arrf(1,iy,1)
  arrff(1,iy,2) = arrf(1,iy,2)
  ixf = 2
  do ix = 2, mxa
    xb = arrf(ix-1,iy,1)
    xe = arrf(ix ,iy,1)
    yb = arrf(ix-1,iy,2)
    ye = arrf(ix ,iy,2)
    if ((xb.ne.0. .or. yb.ne.0.) .and.
+    (xe.ne.0. .or. ye.ne.0.)) then
      do k = 1, facx
        arrff(ixf,iy,1) = xb + real(k)*(xe-xb)/real(facx)
        arrff(ixf,iy,2) = yb + real(k)*(ye-yb)/real(facx)
        ixf = ixf + 1
      end do
    else
      ixf = ixf + facx
    end if
  end do
end do
```



```
if (ixf-1.ne.mxaf) then
    write (*,*) ' +++ m-dimensie klopt niet!'
    stop
end if

do j = 1, 2
    do iy=1, myaf
        write (12,1000) iy, (arrff(ix,iy,j), ix=1,mxaf)
    end do
end do

deallocate(fac,iyb,iye,arr,arrrf,arrrff)
1000 format(' ETA= ',i4,5f12.3,/, (10x,5f12.3))
close(11)
close(12)
end
```

Invoer_verfijn

```
397
98
5
7
2
3
4
6
8
10
8
15
21
28
34
40
```

Appendix H: Lijst met scripts en mee te leveren bestanden

In het fase 1, fase 2 en 3, en fase 4 ([8], [9] en [10]), aangaande de opdracht voor de berekeningen voor de Hollandse Kust ten behoeve van de HR2006, zijn diverse scripts en bestanden genoemd:

Deze zijn bijgeleverd bij de documenten op de Lacie Bigger Disk en op CD.

Benodigd voor de uitvoering is Matlab 7 (of hoger).

Geleverde scripts:

voor windvelden (bilineaire interpolatie, Charnock, open waterfactor)

randvoorwaarden:

- SWAN invoer 1D: groeikrommes voor vaste diepte
- SWAN invoer 1D: methode 2 met verlaagde bodem
- SWAN 1d sommen noord en zuidrand
- SWAN2d tests randvoorwaarden

Matlabroutines voor uitvoerpunten

methode uiteindelijke keuze uitvoerpunten

scripts voor bepalen sleutelwaarden

scripts voor generatie invoerbestanden

scripts voor controle invoer

scripts voor postprocessing: aanmaak tb2 bestanden en controle plots (raaien, spectra 1D en 2d velden)

Geleverde executables

geninp.exe

checkfile.exe

script voor omzetten uitvoer

in 1 executable: checkfile.exe:

-scripts voor procedurele controles

-scripts voor numerieke controles

--Check_swanresults

--CheckProc

--Check Outbestanden

--CheckComplete

--ReadPrintfile

--CheckWErrors

--CheckNum

--CheckConv

--Checkdata

--CompareTimeConv

Door RWS-RIKZ aangeleverde scripts

doezip en doeunzip
verander_blk2tab
tab2blk

Door RWS-RIKZ aangeleverde bestanden:

profielen obstakels

invoerbestanden
invoervelden
resultaten berekeningen
resultaten controles

Appendix I: Referenties

- [1] De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 - 2006 (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 90-369-5558-0, DWW-2004-009, Den Haag, januari 2004.
- [2] Hydraulische Randvoorwaarden 2001, voor het toetsen van primaire waterkeringen, 21 december 2001.
- [3] Hydra-K voor de HR2006, HKV LIJN IN WATER, juni 2005.
- [4] SWAN site: <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/default.htm>
- [5] Ontwerpdocument KustDB2006, Database met Controle-tool, ten behoeve van RWS-RIKZ, MX.Systems, 16 juli 2004.
- [6] Aanpassingen database RAND2001, databases, rapportage, Alkyon, A1071, Januari 2003.
- [7] Correctiewaarden Zeeland, Rapportage fase 1 tm. fase 4, WL|Delft Hydraulics, H4576, April 2006.
- [8] SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust - Rapportage Fase 1, Royal Haskoning-WL|Delft Hydraulics, 9P8603.A0.
- [9] SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust - Rapportage fase 2 en 3, Royal Haskoning-WL|Delft Hydraulics, 9P8603.A0.
- [10] SWAN berekeningen ten behoeve van HR2006 voor de Hollandse Kust - Rapportage fase 4, Royal Haskoning-WL|Delft Hydraulics, 9P8603.A0.
- [11] Hartsuiker, G. (2001). Herstel 1:3 koppeling binnen modellentrein. Fase 2 – modelbouw en afregeling, Alkyon rapport A705.
- [12] Diepwater randvoorwaarden (ELD, EUR, YM6, SCW en SON), HKV LIJN IN WATER, juli 2005.
- [13] F.J.H. Olijslager, G van Vledder, Effect bodemvariaties op golfcondities, Alkyon rapportnr A1249, 2004.
- [14] Gebruikershandleiding Morfologische Applicatie, Modellt, 25 maart 2003.
- [15] Walburg, A.M. (2005), Constructie van de bodem voor het rekenrooster van SWAN t.b.v. de HR2006. Werkdocument RIKZ/KW/2005.106w.
- [16] Europoort:dhr Mostert, RWS-DZH, dienstkring Nieuwe Waterweg, 010-4026200
Scheveningen: Harry Jansen, Ingenieursbureau Den Haag, 070-3536837
IJmuiden: dhr Hoek, RWS, dienstkring Noordzeekanaal, 0255-566358
- [17] Van der Meer, J.W. en K. d'Angremond (1991). Wave transmission at low-crested structures. In Proc. ICE Conference Coastal Structures and Breakwaters, Thomas Telford, London.
- [18] Briganti, R., J.W. van der Meer, M. Buccino en M. Calabrese (2003). Wave transmission behind low crested structures. In ASCE, Proceedings Coastal Structures, Portland, Oregon.
- [19] Van der Meer, J.W., B. Wang, A. Wolters, B. Zanutti en M. Kramer (2003). Oblique wave transmission over low-crested

-
- structures. In ASCE, Proceedings Coastal Structures, Portland, Oregon.
- [20] Hindcast Petten and Westerschelde with SWAN40.20, Alkyon rapportnr, A1200, March 2004.
- [21] Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde, Royal Haskoning, rapportnr.M5697/1246, juni 2003.
- [22] Alkyon (2005). Period correction SWAN. Background correction factors, based on hindcast Petten, Westerschelde and Petten wave flume with SWAN 40.31. Phase 2. Report A1200.
- [23] Verkaik, J.W. Jacobs, A.J.M. en Tijm, A.B.C., Advies inzake wind boven open water, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- [24] Roskam, B. (1997), Piekperioden van brede of meertoppige golfspectra, Werkdocument RIKZ/OS-97.130x.
- [25] Calibration of SWAN 40.20 for field cases Petten, Slotermeer, and Westerschelde, Alkyon rapportnr A1168, December 2003.
- [26] Rogers, W.E., P.A. Hwang, D.W. Wang (2002). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional scale applications. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, pp. 366–389.
- [27] SWAN user manual, Cycle III, version 40.41, TU Delft, 24 december 2004.
- [28] KustDB2006, Database met Controle-tool, Gebruikersdocumentatie en Technische documentatie, MX.Systems, 17 mei 2005.
- [29] Jacobse, J.J., A.T.M.M. Kieftenburg en F. den Heijer (2002), *Betrouwbaarheid golfcondities met SWAN*. Rapport RIKZ/OS-2002.116x, November 2002.
- [30] Fysische Controles Hollandse Kust en Oosterschelde en Westerschelde HR2006, Royal Haskoning-WL|Delft Hydraulics, 12 april 2006, 9P8603.E0.

