

Opdrachtgever:

**Expertisecentrum PMR**

# **Onderzoek onzekerheid extreme golfbelastingen**

**Effect stromingen op golven  
Stappenplan toepassing SWAN model**

**Eindrapport fase 1**

A901

Juli 2002

Opdrachtgever **Expertisecentrum PMR**

Titel **Onderzoek onzekerheid extreme golfbelastingen**

**Samenvatting** Ten behoeve van het ontwerp van zeeerende constructies van nieuwe landaanwinningswerken van de Maasvlakte 2 is onderzoek verricht naar onzekerheden in de bepaling van golftrandvoorwaarden onder ontwerpcondities. In dit deelrapport is gekeken naar het effect van stromingen op de golfcondities voor de zeeerende constructies. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaande resultaten van stromingsberekeningen onder gemiddelde springtij situaties. Vervolgens zijn een aantal golfberekeningen uitgevoerd met het SWAN model om het effect van stromingen op de golfcondities te bepalen. Tenslotte is een stappenplan opgesteld voor het uitvoeren van SWAN berekeningen voor ontwerpcondities.

**Referenties** Offerte A901p2r3 5 april 2002  
Contract 57381 d.d. 23 mei 2002 Expertisecentrum PMR

Rev.	Auteur	Datum	Bijzonderh.	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0	G.Ph. van Vledder	14 juni 2002		D.P.Hurdle	G.Ph. van Vledder
1	G.Ph. van Vledder	24 juni 2002		D.P. Hurdle.	G.Ph. van Vledder
2	G.Ph. van Vledder	8 juli 2002		M.R.Westra	G.Ph. van Vledder

Document Specificaties	Inhoud	Status
Rapport nummer: A901R1r2 Sleutelwoorden: Maasvlakte, golven, stromingen randvoorwaarden Project nummer: A901 Bestand: A901R1R2	tekst pagina's :15 tabellen :3 figuren :45 appendices :	<input type="checkbox"/> voorlopig <input type="checkbox"/> concept <input checked="" type="checkbox"/> eindrapport



## Samenvatting

Ten behoeve van het ontwerp van zeeerende constructies van nieuwe landaanwinningswerken van de Maasvlakte 2 is onderzoek verricht naar onzekerheden in de bepaling van golfrandvoorwaarden onder ontwerpcondities. In dit deelrapport is gekeken naar het effect van stromingen op de golfcondities voor de zeeerende constructies. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaande resultaten van stromingsberekeningen onder gemiddelde springtij situaties. Vervolgens zijn een aantal golfberekeningen uitgevoerd met het SWAN model om het effect van stromingen op de golfcondities te bepalen. Tevens is een stappenplan opgesteld voor het uitvoeren van SWAN berekeningen voor ontwerpcondities.



# Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding .....	1
1.1	Achtergrond van deze studie	1
1.2	Doel van de studie	1
1.3	Aanpak van de studie	2
2	Effect stromingen op golfcondities .....	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Stromingsberekeningen	3
2.3	Schematisatie SWAN berekeningen	4
2.4	Golfberekeningen	5
2.5	Resultaten golfberekeningen	6
2.6	Discussie	7
3	Methodiek voor het uitvoeren SWAN berekeningen ter bepaling golfbelastingen .....	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Stappenplan	9
3.2.1	Lezen achtergrondinformatie windgolven	9
3.2.2	Offshore golf en windrandvoorwaarden	10
3.2.3	Waterstanden	10
3.2.4	Bodemligging	10
3.2.5	Stromingen	11
3.2.6	Keuze SWAN rekenroosters	11
3.2.7	Uitvoerpunten	12
3.2.8	Toepassing SWAN, convergentiecriteria	12
3.2.9	Toepassing SWAN, opgelegde golftrandvoorwaarden	13
4	Conclusies en aanbevelingen.....	14
4.1	Conclusies	14
4.2	Aanbevelingen	14

Referenties

Figuren



## Lijst van tabellen

- 2.1 Codering en uitvoertijdstippen stromingsberekeningen en SWAN berekeningen.
- 2.2 Coördinaten van uitvoerpunten SWAN berekeningen
- 2.3 Maximale variatie van significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  per uitvoerpunt voor de windrichtingen 225° en 315°.

Alle tabellen zijn in de tekst opgenomen.

## Lijst van figuren

- 2.1 Overzicht budgetvariant Maasvlakte2
- 2.2 Predictie getij Hoek van Holland voor de geselecteerde periode 9 – 10 april 2000 en modelresultaat KUSTSTROOK model
- 2.3 Positie SWAN rekenrooster K1 t.o.v. budgetvariant Maasvlakte 2
- 2.4 Bodemligging voor SWAN rekenrooster K1
- 2.5 Positie SWAN uitvoerpunten en bodemligging voor de budgetvariant Maasvlakte 2
- 2.6 Ruimtelijke verdeling significante golfhoogte  $H_s$  in rekenrooster K1 voor een windrichting van 225° en situatie zonder stroom..
- 2.7 Ruimtelijke verdeling gemiddelde golfperiode  $T_{m-10}$  in rekenrooster K1 voor een windrichting van 225° en situatie zonder stroom.
- 2.8 Ruimtelijke verdeling significante golfhoogte  $H_s$  in rekenrooster K1 voor een windrichting van 315° en situatie zonder stroom.
- 2.9 Ruimtelijke verdeling gemiddelde golfperiode  $T_{m-10}$  in rekenrooster K1 voor een windrichting van 315° en situatie zonder stroom.
- 2.10 Ruimtelijke verdeling verschil in significante golfhoogte  $H_s$  als gevolg van stromingen. Windrichting 225°, voor tijdindex 23.
- 2.11 Ruimtelijke verdeling verschil in gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  als gevolg van stromingen. Windrichting 225°, voor tijdindex 23.
- 2.12 Ruimtelijke verdeling verschil in significante golfhoogte  $H_s$  als gevolg van stromingen. Windrichting 315°, voor tijdindex 23.
- 2.13 Ruimtelijke verdeling verschil in gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  als gevolg van stromingen. Windrichting 315°, voor tijdindex 23.
- 2.14 (1-14) Tijdvariatie van absolute en relatieve variatie van significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  en variatie van belastingfunctie  $H_s \times T_{m-1,0}$  voor de uitvoerpunten 1-14. Windrichting 225°.
- 2.15 (1-14) tijdvariatie van absolute en relatieve variatie van significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  en variatie van belastingfunctie  $H_s \times T_{m-1,0}$  voor de uitvoerpunten 1-14. Windrichting 315°.
- 2.16 Maximale stroomcorrectiefactor per uitvoerpunt voor significante golfhoogte  $H_s$  gedurende een getijcyclus voor het moment van maximale belasting. Windrichting 225°.
- 2.17 Maximale stroomcorrectiefactor per uitvoerpunt in gemiddelde golfperiode golfhoogte  $T_{m-1,0}$  gedurende een getijcyclus voor het moment van maximale belasting. Windrichting 225°.
- 2.18 Maximale stroomcorrectiefactor per uitvoerpunt in significante golfhoogte  $H_s$  gedurende een getijcyclus voor het moment van maximale belasting. Windrichting 315°.
- 2.19 Maximale stroomcorrectiefactor per uitvoerpunt in gemiddelde periode  $T_{m-1,0}$  gedurende een getijcyclus voor het moment van maximale belasting. Windrichting 315°.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond van deze studie

In 1998 is het project "Project Mainportontwikkeling Rotterdam" (PMR) van start gegaan. Eén van de doelstellingen van dit project is de realisatie van een nieuw haven- en industrieterrein, dat aansluit op het bestaande havengebied: Maasvlakte 2. Het Expertisecentrum PMR (EC-PMR) is bedoeld om optimaal te voorzien in de benodigde kennis voor de realisatie van de diverse producten van PMR, waaronder de landaanwinning, alsmede voor het borgen, onderhouden en verspreiden van de beschikbare kennis.

Voor het ontwerp van de zeeverende constructies op de nieuwe landaanwinningen zijn golfbrandvoorwaarde nodig voor overschrijdingsfrequenties van o.a. 1/6000 jaar en 1/10000 jaar. Voor de golfbelastingen ter plaatse van de nieuwe landaanwinningen kan geen gebruik worden gemaakt van de hydraulische randvoorwaarden zoals die zijn vastgesteld in 2001. De golfbelastingen dienen dus opnieuw te worden bepaald. Alvorens tot de uiteindelijke golfbelastingensberekeningen kan worden overgegaan, dient eerst aanvullend onderzoek te worden uitgevoerd naar de te hanteren methodiek. Dit betreft onderzoek naar de te hanteren methodiek inzake

- statistische analyse van wind, golf- en waterstandsrandvoorwaarden,
- het effect van stromingen op golfcondities en
- de methodiek voor het uitvoeren van golfberekeningen met het SWAN model om te komen tot goede golfbrandvoorwaarden.

Deze studie is verkennend van aard, op basis waarvan keuzes gemaakt kunnen worden omtrent de uiteindelijk te gebruiken methodiek voor de bepaling van extreme golfbelastingen. Een belangrijk resultaat van deze studie is een verkleining van de diverse onzekerheden die een rol spelen bij de bepaling van extreme belastingen. Deze studie is van belang voor het kiezen van de rekenmethode voor het zo nauwkeurig mogelijk vaststellen van de golfbelastingen die zich tijdens ontwerpcondities kunnen voordoen.

Deze studie is opgedeeld in twee fasen. In de eerste fase komen drie aspecten aan bod. Dit betreft onderzoek naar een mogelijke van ontwerpwaarden op basis van een statistische analyse van wind en golfbrandvoorwaarden, het effect van stromingen op golfcondities en het opstellen van een algemeen bruikbare methodiek voor het uitvoeren van golfberekeningen met het SWAN model om te komen tot goede golfbrandvoorwaarden. Indien de resultaten van fase 1 daartoe aanleiding geven, zal eventueel een tweede fase worden uitgevoerd waarin dieper wordt ingegaan op de gezamenlijke kansdichtheidsverdelingen van belastingfuncties bij een locatie vlak voor de zeevering van de Maasvlakte. Daarbij zal ook gebruik worden gemaakt van resultaten van SWAN berekeningen om de transformatie van offshore naar nearshore golfcondities te bepalen. Dit rapport betreft het tweede en derde aspect van fase 1.

## 1.2 Doel van de studie

Het doel van deze studie is het kwantificeren van de verschillen in ontwerpcondities tussen een deterministische en probabilistische methode om golfbelastingen tijdens extreme condities te bepalen, het kwantificeren van het effect van stromingen op de

golfcondities, en het opstellen van een algemeen toepasbare methode voor het uitvoeren van golfmodelberekeningen met het SWAN model.

### 1.3 Aanpak van de studie

Om bovenstaand doel te bereiken zal conform de offerteaanvraag in deze fase aandacht gegeven worden aan 3 onderdelen:

1. Het kwantificeren van de nauwkeurigheid van een probabilistische versus deterministische bepaling van golfrandvoorwaarden en een statistische analyse van wind, golf en waterstandsmetingen.
2. Het belang van stromingen op de golfrandvoorwaarden.
3. Het opstellen van een stappenplan waarin de methodiek ter bepaling van golfbelastingen met het SWAN model wordt aangegeven.

Elk van deze onderdelen wordt hieronder nader toegelicht. Bij het uitvoeren van genoemde activiteiten is voor zover mogelijk rekening worden gehouden met het in de offerteaanvraag opgenomen programma van eisen.

Deze studie is uitgevoerd onder leiding van dr.ir. G.Ph. van Vledder. De statistische analyse van golf, wind en waterstandsmetingen is uitgevoerd door ir. C.F. de Valk en ir. F.J. Melger van ARGOSS. De SWAN berekeningen met en zonder stroom zijn gemaakt door ir. M.R. Westra van Alkyon. Namens het Expertisecentrum PMR is drs. J. Ligtenberg als contactpersoon opgetreden. Tevens is J.G.A van Marle van RWS/RIKZ als adviseur opgetreden.

Deze studie is gerapporteerd in twee delen. De resultaten van de statistische analyse door ARGOSS zijn in een apart deelrapport beschreven (rapport A258). De resultaten van het effect van stroom op de golfcondities en het stappenplan voor SWAN berekeningen zijn in dit rapport opgenomen.

In Hoofdstuk 2 van dit rapport zullen de gebruikte resultaten van eerdere stromingsberekeningen worden beschreven evenals de resultaten van de SWAN berekeningen met stroom en het effect van stromingen op de golfcondities. In Hoofdstuk 3 is een stappenplan beschreven van een algemeen toepasbare methodiek voor het uitvoeren van SWAN berekeningen ten behoeve van het ontwerp van de zeeerende constructies van een uitgebreide Maasvlakte. Conclusies en aanbevelingen worden in Hoofdstuk 4 beschreven.



## 2 Effect stromingen op golfcondities

### 2.1 Inleiding

Stromingen beïnvloeden de voortplanting van golven. Door stroomrefractie kunnen plaatselijk focussing en defocussing van golfenergie optreden. Deze effecten komen bovenop die van bodemrefractie. Bij sterke tegenstroom kan zelfs golfenergie geblokkeerd worden. Het patroon van verdichtingen en verdunningen van golfenergie is afhankelijk van de ruimtelijke variatie van het stroomveld. Bovendien verandert het stroombeeld als functie van de tijd. Dit betekent dat de gebieden met (door stroomeffecten) verhoogde golfenergie in plaats en tijd verschuiven.

Om de effecten van stromingen op de golfcondities in kaart te brengen, zijn resultaten van bestaande stroomberekeningen geanalyseerd. Bij Alkyon zijn voor een 3-tal varianten van een uitgebreide Maasvlakte resultaten van stroomberekeningen beschikbaar. Het betreft hierbij de bestaande situatie, de budget-variant en Variant A. De laatste 2 varianten zijn uitgevoerd in het Alkyon project A622 'Stroming Maasvlakte 2' waarbij het Expertise Centrum Maasvlakte als opdrachtgever optrad. Die berekeningen betreffen een situatie met extreem springtij en een matige wind (5 Bft) uit het zuidwesten.

Om het effect van de stromingen op het golfcondities nabij de Maasvlakte te bepalen zijn 2 series SWAN berekeningen uitgevoerd op basis van de budgetvariant. Deze variant is gegeven in Figuur 2.1. De SWAN berekeningen zijn uitgevoerd voor 2 situaties: een zuidwestenwind, en een noordwestenwind, beide voor een stormwind (bijv. Bft 10). Voor elke situatie zijn 15 berekeningen gedurende een getijcyclus uitgevoerd om het effect van de getijstroom op de golfcondities in rekening te kunnen brengen. De resultaten van deze SWAN berekeningen met stroom zijn vervolgens vergeleken met resultaten van SWAN berekeningen zonder stroom. De verschillen geven dan inzicht in het effect van stromingen op de golfcondities.

### 2.2 Stromingsberekeningen

In deze studie is gebruik gemaakt van resultaten van bestaande stromingsberekeningen voor de budgetvariant. Deze berekeningen zijn door Alkyon (2000) uitgevoerd met het 3D RIJMAMO stromingsmodel, o.a. om diepteffecten van zoutdoordringing in het havengebied te kunnen onderzoeken. Aangezien het SWAN model gebruik maakt van dieptegemiddelde stromingen zijn deze stromingsberekeningen opnieuw uitgevoerd met hetzelfde RIJMAMO model waarbij maar één laag gebruikt is. Voor deze berekeningen zijn vrijwel dezelfde invoerbestanden gebruikt als bij de originele stromingsberekeningen. Het RIJMAMO model is genest in het kuststrookmodel voor de levering van golfrandvoorwaarden.

De gekozen periode van de simulatie is van 1 tot 30 april 2000. Voor de huidige studie is een periode op 9 en 10 april gekozen, overeenkomend met een springtijperiode. Een overzicht van de berekende waterstand bij Hoek van Holland zoals berekend met het Kuststrook model is gegeven in Figuur 2.2 (op basis van Figuur 3.2 uit Alkyon rapport A622).

Voor gebruik in de SWAN berekeningen zijn in eerste instantie elk half uur stroom- en waterstandvelden uitgevoerd. Het eerste uitvoertijdstip is 9 april 12:00 uur en het laatste

tijdstip is 10 april 1:00 uur. Deze 27 tijdstippen hebben voor gebruik in de SWAN berekeningen een volgnummer meegekregen. De precieze tijdstippen met volgnummer zijn opgenomen in Tabel 2.1. Voor de SWAN berekeningen zijn alleen de uurlijkse stroomvelden gebruikt, behalve rond het tijdstip van hoogwater waar een extra tijdstip gekozen is.

Volgnummer index	Tijdstip en datum	Gebruikt in SWAN
1	12:00 uur 9 april 2002	X
2	12:30	
3	13:00	X
4	13:30	
5	14:00	X
6	14:30	
7	15:00	X
8	15:30	
9	16:00	X
10	16:30	
11	17:00	X
12	17:30	
13	18:00	X
14	18:30	X
15	19:00	X
16	19:30	
17	20:00	X
18	20:30	
19	21:00	X
20	21:30	
21	22:00	X
22	22:30	
23	23:00	X
24	23:30 9 april 2000	
25	0:00 10 april 2000	X
26	0:30	
27	1:00 10 april 2000	X

Tabel 2.1: Codering en uitvoertijdstippen stromingsberekeningen en SWAN berekeningen.

### 2.3 Schematisatie SWAN berekeningen

Aangezien deze studie verkennend van aard is, is gebruik gemaakt van een reeds bestaand rekenrooster. Dit K1-rooster is gegeven in Figuur 2.3. In deze figuur is de bestaande situatie in zwart weergegeven en de budgetvariant in rood. Het K1-rooster is voldoende groot om het effect van stromingen op de golfcondities nabij de Maasvlakte te bestuderen. De resultaten van golfberekeningen op dit rooster zijn echter niet geschikt om golfrandvoorwaarden af te leiden. De numerieke kenmerken van het rekenrooster zijn als volgt:

Oorsprong:  $x_0=34520$  m,  $y_0=442418$  m

Afmetingen in x- en y-richting: 28100 m en 37100 m  
Oriëntatie:  $-45^\circ$   
Rooster grootte: 100 m in x- en y-richting.

In deze studie wordt gebruik gemaakt van het Parijse coördinaten stelsel.

De bodemligging in het K1 rooster is overgenomen uit de bodemligging van het Kuststrookmodel, inclusief de budgetvariant. Deze bodemligging is geïnterpoleerd naar het regelmatige rechthoekige K1-rooster. De geïnterpoleerde bodemligging voor het K1-rooster is gegeven in Figuur 2.4.

Voor de analyse van de SWAN berekeningen met stroom zijn een 14-tal uitvoerpunten gedefinieerd. Deze meeste uitvoerpunten liggen op de 10 m lijn voor de zeevering van de budgetvariant. De positie van deze uitvoerpunten is gegeven in Figuur 2.5. De coördinaten van deze uitvoerpunten zijn gegeven in Tabel 2.2.

	x coördinaat (m)	y coördinaat (m)
1	60747.292	445726.10
2	59840.262	445649.91
3	58358.781	445319.74
4	57784.329	444862.59
5	57591.560	444488.58
6	57189.809	443944.64
7	56596.748	443250.65
8	55927.163	442575.42
9	55487.150	441918.94
10	54741.040	440774.80
11	54760.171	439443.09
12	55908.032	438505.26
13	57361.988	437436.14
14	58528.979	436779.67

Tabel 2.2: Coördinaten van uitvoerpunten SWAN berekeningen

## 2.4 Golfberekeningen

De golfberekeningen zijn uitgevoerd voor 2 windcondities. Een zuidwesten wind met een sterkte van Bft 10, richting  $225^\circ$ N en een windconditie uit het noordwesten met een sterkte van Bft 10 en een richting van  $315^\circ$ . Voor beide series berekeningen is in het hele rekengebied een uniform windveld met een snelheid van 27 m/s gebruikt. De golfrandvoorwaarde langs het K1 rekenrooster zijn een significante golfhoogte van 5 m en een piekperiode van 12 s. Deze golfrandvoorwaarden zijn het meest waarschijnlijk bij de gekozen windsnelheid. De opgelegde golfrichting op de rand is gelijk gekozen aan de windrichting.

Om het effect van stromingen op de golfcondities uit te rekenen zijn alle berekeningen uitgevoerd met een constante waterstand van NAP + 2m. Dit betreft zowel de berekeningen met stroom als zonder stroom. In werkelijkheid zal de waterstand in plaats en tijd variëren. Door in de berekeningen echter een constant waterstandsveld te gebruiken, is het mogelijk om het effect van stromingen te isoleren. (Een andere aanpak zou zijn om per tijdstip een berekening uit te voeren met het berekende stroom- en waterstandsveld en een berekening met alleen het berekende waterstandsveld. Conform

eerdere studies in de Scheldes en Waddenzee is deze aanpak om redenen van efficiency niet gekozen).

## 2.5 Resultaten golfberekeningen

De resultaten van de SWAN berekeningen bestaan uit velden (zogenaamde blok-files) van de significante golfhoogte  $H_s$ , de gemiddelde golfperiode  $T_{m-10}$ , en de gemiddelde golfrichting  $\theta$  voor alle rekenpunten. De gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  is nodig voor de berekening van de golfbelasting op basis van golfoverslag. De piekperiode  $T_p$  wordt steeds minder gebruikt voor golfoverslagberekeningen omdat deze parameter niet geschikt is voor dubbelpiekige golfspectra. Het effect van stromingen op de golfcondities is bepaald door het verschil te nemen van resultaten voor een situatie met stroom en een situatie zonder stroom. Op deze wijze kan de ruimtelijke variatie van stroomeffecten op de golfcondities worden vastgesteld.

Ter referentie zijn de resultaten van de SWAN berekeningen voor de situatie zonder stroom gepresenteerd in de Figuren 2.6 tot en met 2.9. In deze figuren is de gemiddelde golfrichting met een pijl aangegeven. De lengte van de pijl is evenredig met de significante golfhoogte. De Figuren 2.6 en 2.7 geven de ruimtelijke variatie van de significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde periode  $T_{m-10}$  voor een windrichting van  $225^\circ$ . De Figuren 2.8 en 2.9 geven de resultaten voor een windrichting van  $315^\circ$ .

Vervolgens zijn voor alle tijdstippen de verschillen bepaald voor de situatie met een stroomconditie en de situatie zonder stroom. Ter illustratie zijn voor één tijdstip (9 april 23:00 uur) de verschillen in significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde periode  $T_{m-10}$  als gevolg van stromingen gevisualiseerd in de Figuren 2.10 tot en met 2.13. Op dit tijdstip treden voor een windrichting van  $225^\circ$  de grootste verschillen in significante golfhoogte op. De Figuren 2.10 en 2.11 geven de resultaten voor de significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-10}$  voor een windrichting van  $225^\circ$  en tijdstip 23. Figuren 2.12 en 2.13 geven de resultaten voor een windrichting van  $315^\circ$  en tijdstip 23. In deze figuren is het stroomveld met pijlen aangegeven. De lengte en richting van elke pijl geven de sterkte en richting van het stroomveld aan.

Vervolgens is voor alle 14 uitvoerpunten de modulatie van de golfcondities als gevolg van stromingen nader in kaart gebracht. Voor elk uitvoerpunt is tijdvariatie van de absolute en relatieve variatie van de significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-10}$  bepaald, evenals de tijdvariatie van een belastingfunctie  $H_s T_{m-10}$ . De resultaten van deze nabewerking zijn te zien in de Figuren 2.14.1 tot en met 2.14.14 voor een windrichting van  $225^\circ$  en in de Figuren 2.15.1 tot en met 2.15.14 voor een windrichting van  $315^\circ$ . Ter referentie is de conditie zonder stroom uitgezet als een horizontale lijn. Het moment waarop de belastingfunctie maximaal is, is aangegeven met een verticale grijze lijn.

Tenslotte is voor elk uitvoerpunt gekeken naar de verandering in significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  op het moment van de maximale belasting (zie de Figuren 2.14 en 2.15). De resultaten van deze analyse zijn gegeven in de Figuren 2.16 tot en met 2.19 en in Tabel 2.3.

uitvoer punt	225°	225°	315°	315°
	$\max(\Delta H_s)$ (m)	$\max(\Delta T_{m-1,0})$ (s)	$\max(\Delta H_s)$ (m)	$\max(\Delta T_{m-1,0})$ (s)
1	0.83	0.08	0.17	0.13
2	0.55	0.30	0.17	0.08
3	0.38	0.32	0.10	0.04
4	0.35	0.24	0.26	0.16
5	0.14	0.33	0.13	0.07
6	0.11	0.47	0.03	0.07
7	0.10	0.61	0.00	0.09
8	0.20	0.57	0.02	0.11
9	0.10	0.50	0.01	0.13
10	0.14	0.41	0.06	0.20
11	0.01	0.29	0.04	0.16
12	0.04	0.12	0.09	0.26
13	0.04	0.18	0.01	0.28
14	0.04	0.33	0.09	0.51

Tabel 2.3: Maximale variatie van significante golfhoogte  $H_s$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  per uitvoerpunt voor de windrichtingen 225° en 315°.

## 2.6 Discussie

Uit de resultaten, zie met name de figuren 2.6 tot en met 2.13, blijkt dat met name de noordelijke punt van de landaanwinning te maken heeft met de grootste toename in belasting, tot wel 20% toe. Tevens blijkt deze relatieve toename groter te zijn voor golven uit het zuidwesten dan golven uit het noordwesten. Daar staat tegenover dat de golven uit het noordwesten in het algemeen hoger zijn dan golven uit het zuidwesten.

De reden dat met name de noordwest punt van de landaanwinning te maken heeft met grote variaties in golfbelastingen heeft te maken met het feit dat daar de grootste contractie in stroming optreedt. Met name voor golven uit het zuidwesten leidt dat dan, conform de verwachting op basis van lineaire golftheorie, tot de grootste variaties in golfhoogte en golfperiodes. Golven uit het noordwesten komen in het algemeen haaks op de stroom aan. Voor deze situatie is het effect van stroomrefractie relatief klein.

Effecten van stromingen op de golfbelastingen nemen af indien de stromingen verder van de zeewering worden afgeleid. Bij de budgetvariant is dit niet het geval.

Bij het bepalen van stroomcorrectiefactoren dient rekening gehouden te worden met het feit dat de modulaties van het golfveld nogal variëren met de tijd, en dat verhogingen danwel verlagingen zich in ruimte en tijd verplaatsen. Doordat significante verhogingen slechts van beperkte duur zijn, kan men daar rekening mee houden in een probabilistische bepaling van de ontwerp golfbelastingen. Doordat verhogingen danwel verlagingen slechts een beperkte ruimtelijke omvang hebben, middelen de effecten op de golfbelasting zich een beetje uit. Dit aspect is echter niet verder uitgewerkt in deze studie.

Uit deze analyse voor meerdere tijdstippen blijkt dat het maximum van de belastingfunctie niet samen hoeft te vallen met het maximum in de significante golfhoogte en/of de gemiddelde periode.

Verder zuidwaarts neemt het effect van stromingen op de golfcondities af omdat zowel de stromingen zwakker zijn en omdat de golfcondities minder heftig zijn.

De huidige analyse is uitgevoerd voor een gemiddelde springtjissituatie en niet onder ontwerpstormcondities. Dit betekent dat de resultaten slechts in beperkte mate gebruikt kunnen worden om uitspraken te doen over het effect van stromingen op golfcondities onder ontwerpcondities. Voor de Scheldes en de Waddenzee zijn dergelijke berekeningen wel uitgevoerd, zie bijv. Alkyon (2001). In kwalitatieve zin laten die resultaten zien dat de grootste variaties in golfcondities voorkomen in gebieden met sterke krommingen in het stroomveld waardoor lokaal stroomrefractie contractie en divergentie van golfstralen tot gevolg heeft. Kwantitatief is een vergelijking lastig te maken omdat die gebieden niet aan de open zee of nabij geulen liggen. Dit heeft mede te maken met het feit dat in de Westerschelde bij hogere waterstanden het water ook over de platen stroomt waardoor het stroombeeld zich dan minder geprononceerd in de geulen concentreert, zodat ruimtelijke gradienten minder sterk worden.

Bij de Maasvlakte zal het stroombeeld weinig veranderen bij een verhoging van de gemiddelde waterstand. Het stroombeeld hangt vooral af van de geometrie van de Maasvlakte. Op basis van de resultaten van de studie 'SWAN met stroom' (Alkyon 2001) blijkt dat bij gelijkblijvende stroompatronen hogere windsnelheden leiden tot grotere effecten van stromingen op golfcondities. Dit versterkende effect zal naar verwachting bij de Maasvlakte eveneens optreden. De resultaten van deze studie zijn echter niet geschikt om daar kwantitatieve uitspraken over te doen.

Tevens wordt opgemerkt dat de huidige berekeningen uitgevoerd zijn met een constante waterstand waarbij de ruimtelijke variatie van het waterstandsveld niet is meegenomen. Een gedetailleerde studie naar het effect van stromingen op de golfcondities is mogelijk door voor alle tijdstippen steeds twee SWAN berekeningen te doen: één berekening met het berekende stroom- en waterstandsveld en één berekening met alleen het berekende waterstandsveld (op basis van getij en opzet). Dat kan zowel gebeuren voor de hier gebruikte springtjissituatie als voor een ontwerpstormconditie.

## 3 Methodiek voor het uitvoeren SWAN berekeningen ter bepaling golfbelastingen

### 3.1 Inleiding

De vertaling van golfcondities van een offshore locatie naar een locatie nabij de zeeeringen van een uitgebreide Maasvlakte zal te zijner tijd met het SWAN model gebeuren. Ervaringen met dit model hebben aangetoond dat onder extreme condities SWAN geneigd is om de golfgroei over de eerste 20 km te overschatten in vergelijking met wat verwacht kan worden op basis van algemeen aanvaarde golfgroeikrommen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat de opgelegde spectrale vorm door SWAN wordt aangepast voordat een intern evenwicht bereikt is. Daarnaast blijkt dat diverse fysische verschijnselen (nog) niet correct zijn gemodelleerd. Het huidige SWAN model is echter wel het beste model wat op dit moment beschikbaar is. Verbeteringen van de modellering van de fysica worden in het kader van andere lopende projecten uitgevoerd. Nieuwe ontwikkelingen in het modelleren van de fysica in SWAN dienen daarom goed gevolgd te worden.

Met een zorgvuldige toepassing van het SWAN model kan bereikt worden dat het beste uit het SWAN model gehaald wordt. Daartoe is een stappenplan opgesteld dat aangeeft hoe kwalitatief goede randvoorwaarden kunnen worden bepaald. In het stappenplan komen de volgende aspecten aan bod:

- In detail aangeven hoe kwalitatief goede en betrouwbare randvoorwaarden kunnen worden verkregen.
- De omschrijving is duidelijk genoeg om ervaren aannemers met kennis en ervaring met het SWAN model in staat te stellen berekeningen uit te voeren.
- De methodiek is onafhankelijk van de uiteindelijke vorm van de landaanwinning.

De betrouwbaarheid van de resultaten hangt mede af van de betrouwbaarheid van het SWAN model. Elke gebruiker van SWAN moet zich steeds op de hoogte stellen naar de status van het SWAN model. Daarom wordt aanbevolen gebruik maken van de laatst gepubliceerde SWAN release inclusief alle gepubliceerde 'bug-fixes'.

Het stappenplan bestaat uit een aantal activiteiten die achtereenvolgens moeten worden uitgevoerd. Het stappenplan is gebaseerd op de aanname dat alleen golfbelastingen voor ontwerpcondities langs de buitenrand van de landaanwinning moeten worden bepaald. Bij het uitvoeren van het stappenplan dient rekening gehouden te worden met de resultaten uit de andere onderdelen van deze studie, zoals de statistische analyse van offshore wind en golfcondities en het effect van stromingen op golfcondities.

### 3.2 Stappenplan

#### 3.2.1 Lezen achtergrondinformatie windgolven

De eerste stap van het stappenplan is het lezen van achtergrond informatie over windgolven, het numeriek modelleren van windgolven en de SWAN handleiding (Holthuijsen et al., 2000). De SWAN handleiding bevat zeer veel relevante achtergrond informatie over golfmodelleren in het algemeen en SWAN in het bijzonder. De volgende literatuur wordt aanbevolen als achtergrond informatie: collegehandleiding windgolven van J.A. Battjes (Faculteit de Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft), het boek

'Dynamics and modelling of Ocean Waves' van Komen et al. (1994) en het boek 'Wind Generated Ocean Waves' van I.R. Young (1999).

### 3.2.2 Offshore golf en windrandvoorwaarden

De basis van elke studie naar golfrandvoorwaarden voor harde en zachte zeeeringen bestaat uit het extreme offshore wind- en golfklimaat. In de huidige bij RWS/RIKZ gehanteerde methodiek bestaat deze uit de richtingsafhankelijke statistiek van windsnelheden en waterstanden. De statistiek van de offshore golfcondities is momenteel gekoppeld aan de statistiek van de wind (zie de Ronde et al., 1995)

Daarom dient begonnen te worden met het vaststellen van het gewenste veiligheidsniveau, gevolgd door het vaststellen van de offshore ontwerpwindnelheid, windrichtingen en waterstanden. Hierbij kan zowel een deterministische aanpak als een probabilistische aanpak worden gekozen. Indien een probabilistische aanpak wordt gekozen dan dienen meerdere condities te worden doorgerekend. Elk van deze condities wordt dan weer gekenmerkt door een offshore golf- en windrandvoorwaarden en een waterstand. De resultaten van de SWAN model berekeningen worden dan weer samengevoegd tot een maatgevende golfbelasting.

### 3.2.3 Waterstanden

In de huidige methodiek wordt een constant waterstandsveld aangenomen. Deze waterstand is samengesteld uit het basispeil (Philippart et al., 1995) en een verwachte zeespiegelrijzing gedurende de planperiode van de te ontwerpen constructie. Voor de Maasvlakte dienen de peilen voor Hoek van Holland gebruikt te worden. Tevens dient bij het vaststellen van het basispeil rekening gehouden te worden met de richtingsafhankelijkheid van extreme waterstanden (Roskam et al., 2000). Met betrekking tot de verwachte zeespiegelrijzing wordt in de 3de kustnota uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 0.60 m over een planperiode van 100 jaar.

### 3.2.4 Bodemligging

Voor de zuidelijke Noordzee en het gebied rondom de Maasvlakte dient een zo nauwkeurig mogelijke bodemligging te worden bepaald. Het zeegebied dient zich uit te strekken tot de offshore locatie(s) waarvoor op basis van statistiek randvoorwaarden zijn bepaald. Voor de Maasvlakte betekent dit een gebied in de Noordzee dat zich uitstrekt tot aan het Euro-platform. Voor dit gebied zijn bij RWS diverse digitale bodemliggingen beschikbaar. In het algemeen moet de digitale bodemligging alle kenmerken van werkelijke bodem in zich hebben.

Voor de Maasvlakte mag de resolutie van dit bodemrooster maximaal 250 m zijn. Voor het gebied rondom de Maasvlakte dient de bodem bekend te zijn met een resolutie van maximaal 100 m. De grootte van dit gebied strekt zich tot ongeveer 10 km vanaf de Maasvlakte. Naar verwachting kan met deze resolutie de toegangseul tot de Maasvlakte goed gerepresenteerd te worden. Een fijnere resolutie is altijd mogelijk, maar dat hoeft niet perse tot betere resultaten te leiden.

Deze bodemliggingen zijn in het algemeen gegeven voor de bestaande situatie, d.w.z. wanneer er nog geen sprake is van landaanwinningen. Om die reden dient het effect van de landaanwinning te worden verdisconteerd in de bodemtopografie. Hierbij kunnen landpunten die hoger liggen dan de maximaal te verwachten waterstand op een dummy waarde van bijv. NAP +99 m worden gezet. Voor gebieden die bij de hoogste



waterstand onder water kunnen lopen, dient de landhoogte nauwkeurig te worden vastgesteld.

Tevens dient rekening gehouden te worden met geplande baggerwerkzaamheden om de toegangseul(en) naar de Maasvlakte op diepte te brengen dan wel op diepte te houden en met het mogelijke aanleggen van een stroomverlamningskuil.

### 3.2.5 Stromingen

In het algemeen dienen stroomeffecten meegenomen te worden voor die gebieden waar zich sterke variaties in het stroombeeld voordoen. Deze treden met name op rond de Maasvlakte, de Schelde estuaria en de zeegaten van de Waddenzee. Voor de grote stukken van de Nederlandse kust treden deze effecten niet op en kunnen stroomeffecten verwaarloosd worden. Voor de Maasvlakte moet tevens rekening gehouden te worden met de uitstroom van Rijnwater door de Nieuwe Waterweg.

Indien stromingen meegenomen worden dan moeten deze voor ontwerpcondities bepaald te worden. Dat moet gebeuren met een stromingsmodel met inbegrip van windgedreven stromingen. Vervolgens moet de ruimtelijke en tijdvariatie van zowel de stroom en waterstandsvelden worden meegenomen in golfmodel berekeningen voor meerdere tijdstippen in een getijfase.

Om het effect van stromingen op de golfcondities te kwantificeren, moeten ook golfberekeningen worden gemaakt voor condities waar alleen de ruimtelijke variatie van de waterstanden is meegenomen. Vervolgens moeten de resultaten van berekeningen met stroom en zonder stroom met elkaar vergeleken worden. Vervolgens kan een middelingstechniek gebruikt worden om de gevoeligheid voor lokatie van de rekenresultaten te bepalen.

Op termijn (van enkele jaren) moeten deze stroomberekeningen simultaan gebeuren met golfmodelberekeningen, waarbij twee-zijdige golfstroom interacties meegenomen worden. Op dit moment zijn dergelijk gekoppelde golf-stroomberekeningen nog niet operationeel realiseerbaar.

### 3.2.6 Keuze SWAN rekenroosters

Om met voldoende nauwkeurigheid golfrandvoorwaarden voor de landaanwinningen te kunnen afleiden, dienen de rekenroosters rekening te houden met de ruimtelijke variatie van bodemvariaties en met de geometrie van de kustlijn nabij de Maasvlakte. In het algemeen kan de optimale resolutie bepaald worden door berekeningen te maken met steeds fijnere rekenresoluties en dan die resolutie te kiezen waarbij de rekenresultaten zich nog maar weinig wijzigen

In het algemeen moet de optimale rekenresolutie bepaald worden door een aantal test berekeningen uit te voeren met steeds fijnere resoluties, en vervolgens een resolutie te kiezen waarbij de rekenresultaten zich nog maar weinig (enkele %) veranderen. Met betrekking tot de Maasvlakte (zie opmerkingen in paragraaf 3.2.4) is een resolutie van 250 m waarschijnlijk voldoende voor het deel in de zuidelijke Noordzee. Voor het gebied nabij de Maasvlakte is een resolutie van waarschijnlijk 100 m voldoende. Fijnere resoluties zijn altijd mogelijk maar gaan ten koste van de rekenefficiëntie en leveren een schijnnaauwkeurigheid.

De grenzen van de rekenroosters moeten ver van de Maasvlakte af liggen om geen last te hebben van randeffecten. De SWAN handleiding gaat daar expliciet op in.

Het wordt aanbevolen om de reken en bodemroosters identiek te kiezen. Hierdoor ontstaan geen interpolatiefouten.

Bij nesting van rekenroosters moet de resolutie niet te snel verhoogd worden. Hierbij dient de resolutie niet sneller dan met een factor 5 verhoogd te worden. Bij grotere stappen bestaat het gevaar van discontinuïteiten in modelresultaten.

De spectrale resolutie dient het bereik van golfcondities te beslaan. Met name de te verwachten golfperiodes zijn belangrijk voor het te kiezen frequentiebereik. In het algemeen verdient het aanbeveling om verschillende frequentiebereiken te kiezen en daarvoor testberekeningen te maken en op basis van de resultaten het optimale bereik te kiezen. Conform eerdere SWAN studies in de Scheldes, Waddenzee en langs de Nederlandse kust wordt voor toepassing bij de Maasvlakte aanbevolen 31 frequenties te kiezen met een bereik van 0.03 Hz tot 0.8 Hz en 36 richtingen verdeeld over de hele cirkel. Dit komt overeen met een resolutie van  $10^\circ$ . Het kiezen van fijnere verdelingen van frequenties en richtingen is mogelijk maar levert een schijnnaauwkeurigheid en in sommige gevallen zelfs verkeerde resultaten (zie Van Vledder et al., 2000 voor een voorbeeld).

### 3.2.7 Uitvoerpunten

Het SWAN model kan zowel uitvoer genereren van integrale golfparameters in alle rekenpunten, de zogenaamde blok-uitvoer. Daarnaast kan SWAN ook uitvoer leveren in een bepaald aantal uitvoerpunten in de vorm van tabellen, 1d en 2d golfspectra. Deze laatste soort uitvoer is in het algemeen makkelijker voor post-processing doeleinden waarbij naar de resultaten van meerdere berekeningen worden gebruikt.

De uitvoerpunten moeten minimaal ongeveer twee maal de rekenresolutie uit de 'kust'-lijn liggen om geen last te hebben van interpolatie tussen land en zeepunten. Voor de Maasvlakte wordt een afstand van minimaal 200 m aanbevolen (indien een rekenresolutie van 100 m wordt gebruikt).

Er moeten voldoende uitvoerpunten worden bepaald om de ruimtelijke variatie van golfbelastingen langs de zeewering te kunnen vaststellen. In het algemeen volstaat een tussenruimte van 250 m langs een de zeewering van de landaanwinning. Bij bijzondere constructies langs de zeewering, of op plaatsen waar grote variatie in de kustcontour zijn, dienen de uitvoerpunten dichter bij elkaar te liggen.

### 3.2.8 Toepassing SWAN, convergentiecriteria

Bij het toepassen van SWAN dient rekening gehouden te worden met het feit dat SWAN het stelsel basisvergelijkingen op een iteratieve wijze oplost. Dit betekent dat eerst vastgesteld dient te worden wat het optimale aantal iteraties is waarbij volledige convergentie bereikt is. Hierbij dient met een kenmerkende situatie te kiezen en een aantal testberekeningen te doen met een wisselend aantal iteraties, bijv. 10, 15, 20, 25 en 50. Vervolgens kan het optimaal aantal iteraties worden vastgesteld.

Vervolgens kunnen op basis van de verschillen in resultaten de convergentiecriteria gezet worden. Een hulpmiddel hierbij is het uitvoeren van de blokvelden van de DHSIG en DHTM01. Deze parameters geven het verschil in significante golfhoogte  $H_s$  en

gemiddelde golfperiode  $T_{m01}$  tussen de laatste twee iteraties weer. Inspectie van deze gegevens geven inzicht waar (in x-y ruimte) SWAN nog bezig is met het iteratief aanpassen van het golfveld. Een ander hulpmiddel is het gebruik van de TEST uitvoer, waarbij voor een beperkt aantal uitvoerpunten het verloop van een aantal integrale golfparameters als functie van het aantal iteraties wordt gegeven.

### 3.2.9 Toepassing SWAN, opgelegde golfrandvoorwaarden

Het opleggen van parametrische golfrandvoorwaarden levert nog wel eens problemen op, aangezien SWAN de opgelegde golfrandvoorwaarden eerst zelf gaat aanpassen. Eén van de redenen van deze aanpassing heeft waarschijnlijk te maken dat de opgelegde spectrale vorm niet overeenkomt met de spectrale vorm die SWAN prefereert op basis van de balans van de geïmplementeerde fysische processen. Een andere oorzaak van deze aanpassing is dat de opgelegde randvoorwaarden van golven en wind niet met elkaar in overeenstemming zijn. Dit aspect komt in de deelstudie van ARGOSS aan bod.

Om deze onzekerheden het hoofd te bieden, wordt aanbevolen extra inspeelruimte te creëren en de relatie te bepalen tussen de opgelegde golfrandvoorwaarden en de aangepaste golfcondities bij het Euro-platform. (Hierbij wordt aangenomen dat de offshore golfrandvoorwaarden voor dit station gegeven zijn). De inspeelruimte kan gerealiseerd worden door het rekenrooster zo'n 10 km buiten het EURO platform te kiezen. De relatie tussen de golfcondities op de rand en bij Euro-platform kan bepaald worden door het opbouwen van een meer-dimensionale transformatiematrix die deze relatie weergeeft. De randcondities bestaan uit een ruime variatie van golfhoogtes, golfperioden en wind- en golfrichtingen.

Vervolgens dient deze transformatiematrix geïnverteerd te worden om een relatie te vinden tussen de gewenste golfcondities nabij het Euro-platform en de op te leggen randvoorwaarden. Op deze wijze wordt het aanpassingsprobleem op wiskundige wijze opgelost.

Een andere mogelijkheid is de golfrandvoorwaarden te bepalen met een model dat de hele Noordzee beslaat, zoals het NEDWAM model. Hierbij kunnen zich echter problemen voordoen met de overgang van resultaten van het NEDWAM en SWAN model omdat deze modellen de golfactiebalansvergelijking op verschillende wijzen oplossen. Nader onderzoek is echter nodig om de eventuele omvang van dit probleem vast te stellen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

In deze deelstudie is een analyse uitgevoerd naar het effect van stromingen op de golfcondities nabij de kustlijn van de budgetvariant. Op grond van de resultaten van analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De effecten van stromingen op de golfcondities zijn het grootst bij de noordwest punt van de gebruikte variant, deze effecten nemen naar het zuiden sterk af.
2. De relatieve effecten van stromingen op de golfcondities zijn het sterkst voor golven uit het zuidwesten
3. De hoogste golfbelastingen treden op voor noordwestenwinden.
4. Het moment van maximale belastingen valt niet altijd samen met het moment van maximale golfhoogte en/of gemiddelde golfperiode.
5. De gebieden met sterke verhogingen dan wel verlagingen variëren sterk in ruimte en tijd.
6. De golfperiode varieert minder sterk dan de significante golfhoogte als de golven in de ondiepe kustzone komen.

### 4.2 Aanbevelingen

Op grond van de resultaten van de studie naar het effect van stromingen op golfcondities worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Bepaal het effect van stromingen op golfcondities ook onder ontwerpcondities, waarbij rekening gehouden wordt met windgedreven stromingen en opzet.
2. Neem hierbij ook de ruimtelijke variatie van het waterstandsveld in beschouwing.
3. Bij het vaststellen van de effecten van stromingen op de golfcondities onder ontwerpcondities dienen de berekeningen te worden uitgevoerd over een groter gebied dan het in deze studie gebruikte K1-rooster. Hierdoor kunnen ruimtelijke variaties van de golfbrandvoorwaarden beter worden meegenomen.
4. Analyseer het effect van het afleiden van de stromingen op de modulaties van het golfveld nabij de kustlijn van een andere landaanwinningvariant waarbij de stromingen verder van de zeeverend constructie worden afgeleid.
5. Stel een methode op om rekening te houden met de sterke variatie in ruimte en tijd van verhogingen van de golfbelastingen op de zeevering. Middelingstechnieken kunnen hier een rol bij kunnen spelen, zodat de gevoeligheid voor lokatie beter ge kwantificeerd kan worden.

## Referenties

- Alkyon, 2000: Stroming binnengebied landaanwinning Maasvlakte 2, budgetvariant en variant A, A622 juli 2000.
- Alkyon, 2001: SWAN met stroom, A850, december 2001.
- Battjes, J.A., 1992: Collegehandleiding windgolven b78, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. 5e herziene herdruk (of recenter).
- Booij, N., L.H. Holthuijsen en R.C. Ris, 1999: A third-generation wave model for coastal regions, Part 1, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 10, No. C., 7649-7666.
- Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. Ris, IJ.G.Haagsma, A.T.M.M. Kieftenburg en E.E. Kriezi, 2000: SWAN manual, not the short version. Delft University of Technology.
- Komen, G.J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P.A.E.M. Janssen. 1994: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, 523 pp.
- Philippart, M.E., D. Dillingh, en S.T. Pwa, 1995: De basispeilen langs de Nederlandse kust, de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen. Rapport RIKZ-95.008.
- Ronde, J.G. de, J.G.A. van Marle, A.P. Roskam en J.H. Andorka Gal, 1995: Golfbrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water. Rapport RIKZ-95.024.
- Roskam, A.P., J. Hoekema, en J.J.W. Seijffert, 2000: Richtingsafhankelijke extreme waarden voor HW-standen, golfhoogten en golfperioden. Rapport RIKZ/2000.040.
- Van Vledder, G.Ph., Thomas H.C. Herbers, Robert E. Jensen, Don T. Resio and Barbara Tracy, 2000: Modelling of non-linear quadruplet wave-wave interactions in operational model. *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*. Sydney.
- Young, I.R., 1999: *Wind generated ocean waves*, Elsevier, 306 pp.

