

Het gebruik van SWAN en SWASH voor het ontwerp van kustconstructies

Gerbrant van Vledder
Dinsdag 27 november 2012
TUD, BMT Argoss

Stormgolven Houtribdijk, 24 november 2012



Inhoud

- Doel
- Golfrandvoorwaarden voor ontwerp
- Beschrijving golfveld en golfparameters
- Het SWAN model
- Toepassingen en ontwikkelingen
- Het SWASH model
- Toepassingen en ontwikkelingen
- Literatuuroverzicht

Doel

- Mogelijkheden laten zien van het gebruik van de numerieke golfmodellen SWAN en SWASH voor het ontwerp van kustconstructies
- Beschrijving golfparameters en processen voor correcte keuze en toepassing van deze modellen

NB: Begrippen uit de golftheorie en golfstatistiek worden beknopt behandeld. Nadere informatie is te vinden in de vakliteratuur

Golfrandvoorwaarden voor ontwerp

- Golfcondities zijn nodig voor het ontwerp van kustconstructies (zie Rock Manual, 2012 voor andere belangrijke parameters)
- Waterkeringen (kruinhoogte en bekleding)
- Golfbrekers (dimensionering, geometrie)
- Kunstwerken (dimensionering)



Gebruik in ontwerpformules voor bijv. golfoploop, golfoverslag, golfkrachten. Optimalisatie havenontwerp mbt golfdoordringing. Monitoring tijdens werkzaamheden

- Primair gericht op windgolven

Toepassing golfvoorspellingsmodellen

Ontwerp golfbreker



Ontwerp steenbekelding

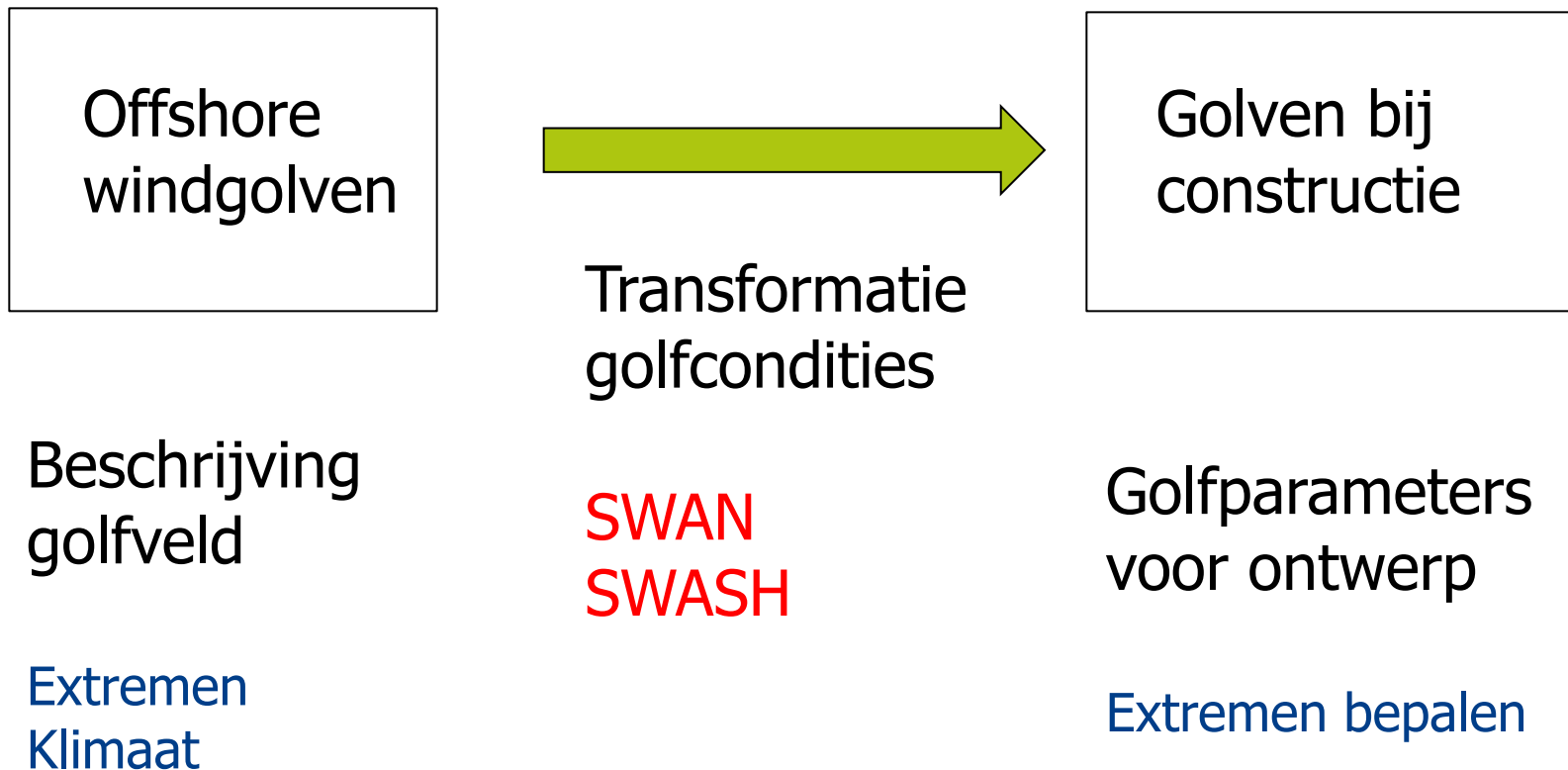


Golfrandvoorwaarden voor ontwerp

- Golfklimaat (de dagelijkse condities)
- Golfextremen (bijv. de 50-jaar conditie)
- Golfcondities: golfspectrum, golfparameters
- Kustconstructies: dijken, golfbrekers, duinen, kades, ...

(Rock Manual, 2012; Goda, 2010)

Herkomst golfrandvoorwaarden



Offshore golfklimaat

Online bronnen:

www.bmtargoss.com

www.waveclimate.com

www.actuelewaterdata.nl



Monthly distribution of wave height (m)

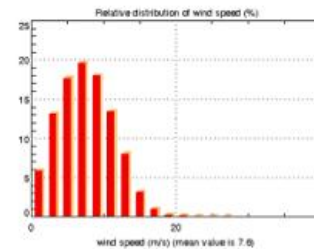
lower	upper	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	1.0	2.2	0	0.5	0	3.4	1.1	1.4	1.9	1.7	0.6	0.4	0
1.0	1.5	2.0	1.8	2.8	4.7	15.5	17.8	24.5	21	20.7	8.0	4.3	2.2
1.5	2.0	7.7	5.9	10.9	18.6	25	21	26	24	19.1	12.0	6.4	
2.0	2.5	13.8	13.8	16.4		25.1	23.3	19.5	18.9	17.6	11	15.7	8.6
2.5	3.0	14.1	17.9		18.6	14.2	15.5	12.8	11.3	15.1	21.8	14	14.6
3.0	3.5	14.1	17.9	18.2	14.9	8.4	8.8	8.5	6.4	9.3	12.5	18.2	13.6
3.5	4.0	13.6	13.0	12.1	8.3	4.8	3.7	3.7	1.2	4.7	7.2	11.8	14.3
4.0	4.5	11.0	8.8	8.7	5.2	2.0	0.9	0.9	0.1	1.3	3.4	7.9	12.6
4.5	5.0	8.8	6.4	5.3	2.8	0.8	0.4	0.2	0	0.2	2.6	4.5	8.5
5.0	5.5	6.4	5.1	3.0	1.3	0.2	0.1	0	0	0	1.2	2.6	6.6
5.5	6.0	2.7	3.6	1.8	0.6	0.3	0	0	0	0	0.7	1.7	3.7
6.0	6.5	1.4	1.7	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0.4	1.1	2.4
6.5	7.0	1.7	1.0	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0.3	0.8	1.2
7.0	7.5	0.9	0.7	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5
7.5	8.0	0.4	0.4	0.2	0.0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4
8.0	8.5	0.2	0.1	0.0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.1	0.3
8.5	9.0	0.1	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
9.0	9.5	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
9.5	10.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
10.0	10.5	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
10.5	11.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
11.0	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Copyright ARGOSS, December 2011

Percentage of occurrence of wave height (m) in rows versus zero-crossing wave period (s) in columns

lower	upper	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	total
0.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0.5	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
1.0	1.5	0	1.0	1.6	3.4	2.2	0.9	0.2	0.5	0.8	0.0	0	0	0	0	11.3
1.5	2.0	0	0.7	1.0	1.9	3.1	1.3	0.5	0.1	0.9	0.0	0	0	0	0	18.6
2.0	2.5	0	0.0	0.7	1.4	3.3	1.7	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	16.3
2.5	3.0	0	0	1.4	1.4	3.7	2.0	0.9	0.4	0.2	0.0	0	0.0	0.0	0	16.4
3.0	3.5	0	0	0.2	0.3	3.4	2.2	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0	12.7
3.5	4.0	0	0	0.1	0.2	2.8	2.0	0.8	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0	8.2
4.0	4.5	0	0	0	0.4	1.8	1.7	0.8	0.2	0.1	0.1	0.0	0	0	0	5.2
4.5	5.0	0	0	0	0.0	0.8	1.4	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0	0	0	3.3
5.0	5.5	0	0	0	0.0	0.3	1.0	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0	0	0	2.1
5.5	6.0	0	0	0	0.1	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	1.2
6.0	6.5	0	0	0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.7
6.5	7.0	0	0	0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.5
7.0	7.5	0	0	0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.5
7.5	8.0	0	0	0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.5
8.0	8.5	0	0	0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.5
8.5	9.0	0	0	0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.5
9.0	9.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.1
9.5	10.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0
10.0	10.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0
10.5	11.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0
11.0	11.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0
total		0.0	0.0	1.9	21.4	28.6	21.8	15.1	7.3	2.8	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	100.0

Copyright ARGOSS, December 2011



Copyright ARGOSS, December 2011

Your choices :

Model output point is 40° 00'N, 126° 15'W
Season is all year
First and last year analysed 1992-2010
Variable (wind speed) (m/s)
Data source is wavemodul
Results are based on 55520 model records

Probability of exceedance versus wind speed

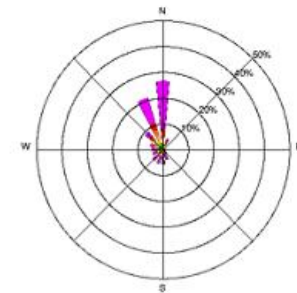
Wind speed (m/s)	Prob. of exc. (%)
0.0	100.0
2.0	94.2
4.0	81.1
6.0	63.4
8.0	43.9
10.0	26.9
12.0	12.5
14.0	4.4
16.0	1.3
18.0	0.3
20.0	0.1
22.0	0.0
24.0	0.0
26.0	0.0

Copyright ARGOSS, December 2011

Wind speed versus probability of exceedance

Prob. of exc. (%)	Wind speed (m/s)
99.0	2.0
88.0	4.2
78.0	6.4
68.0	8.4
58.0	10.4
48.0	12.6
38.0	16.0
28.0	20.0
18.0	24.0
8.0	30.0
2.5	36.0
1.0	42.0

Copyright ARGOSS, December 2011



Copyright ARGOSS, December 2011

Your choices :

Model output point is 40° 00'N, 126° 15'W
Season is all year
First and last year analysed 1992-2010
Variables are wind speed (m/s) and wind direction (deg)
Data source is wavemodul
Results are based on 55520 model records
Direction convention is "topping free"

Kenmerken van windgolven

- Windgolven zijn onregelmatig en richtingsgespreid
- Beschrijving windgolven in tijddomein en spectraal domein
- Definitie golfparameters verschillend per domein
- Statistische beschrijving golfparameters op verschillende tijdschalen: korte termijn (uren) en lange termijn (jaren)
- Korte termijn beschrijving: bijv. gemiddelde golfperiode, significante golfhoogte van een toestand van de zee
- Lange termijn: bijv. de 500-jaar golfhoogte; de significante golfhoogte die gemiddeld eens per 500 jaar voorkomt

Ontwerpcondities

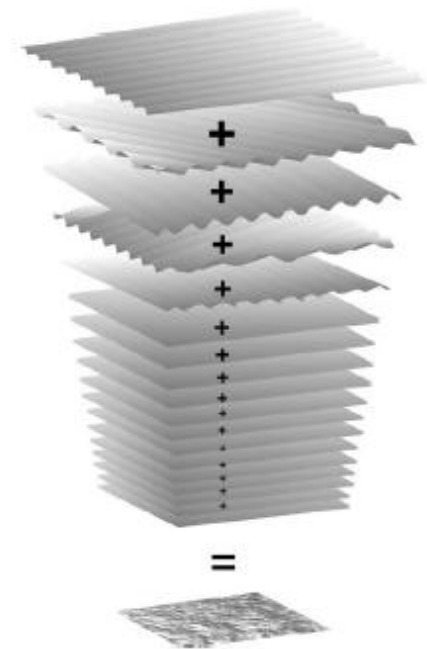
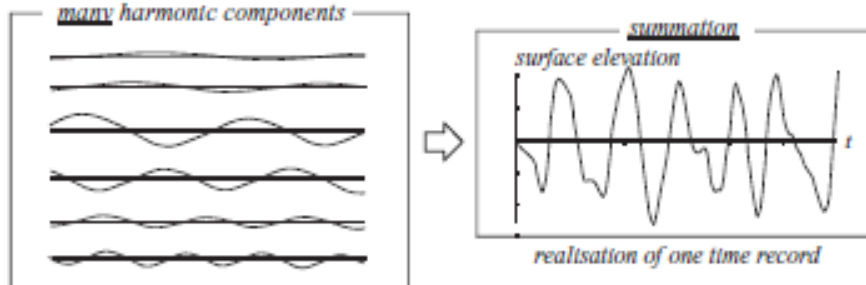
- Nederlandse waterkeringen moeten ontworpen worden voor golfcondities (deel van hydraulische randvoorwaarden) met terugkeertijden van 10,000 jaar voor Hollandse kust en 4,000 jaar voor de Waddenzee
- Voor kunstwerken, pijpleidingen en offshore constructies gelden weer andere (vaak lagere) terugkeertijden
- Ontwerpcondities (offshore) worden vaak bepaald op basis van statistische extreme waarden analyse van golfmetingen
- Voor Nederlandse kust zijn dat bijv. de meetstations K13, ELD, SON, Euro, ...
- Hydraulische Randvoorwaarden (HR2006) op basis offshore extremen

Beschrijving windgolven

- Golfoppervlak onregelmatig en ogenschijnlijk chaotisch
- Golfveld te beschouwen als lineaire superpositie van veel harmonische componenten met eigen amplitude, richting, periode en **random** fase



$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(k_{x,i}x + k_{y,i}y + 2\pi f_i t + \bar{\varphi}_i)$$



(bron: Holthuijsen, 2007)

Spectrale beschrijving van windgolven, introductie golfspectrum

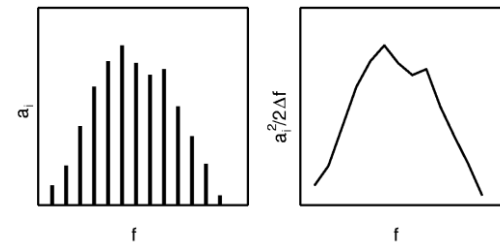
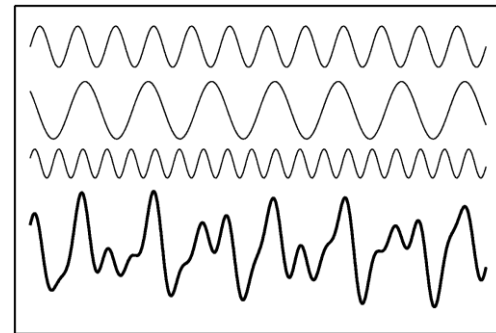
Beschouw oppervlakteuitwijking als de lineaire som van N harmonische componenten

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(2\pi f_i t + \tilde{\varphi}_i)$$

met a_i , f_i en φ_i de amplitude, frequentie en (random) fase. In de limiet van $N \rightarrow \infty$ wordt een continu variantie spectrum verkregen

$$E(f_i)\Delta f_i = \frac{a_i^2}{2}$$

energie = ρg variantie !
 fase informatie gaat verloren, fase gemiddeld



discreet → continue

Golfspectrum en golfparameters

- Het spectrum beschrijft de verdeling (dichtheid) van golfvariantie over de frequenties

- Op basis van spectrum $E(f)$ berekening momenten m_n

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n E(f) df$$

- Totale variantie is een maat voor significante golfhoogte

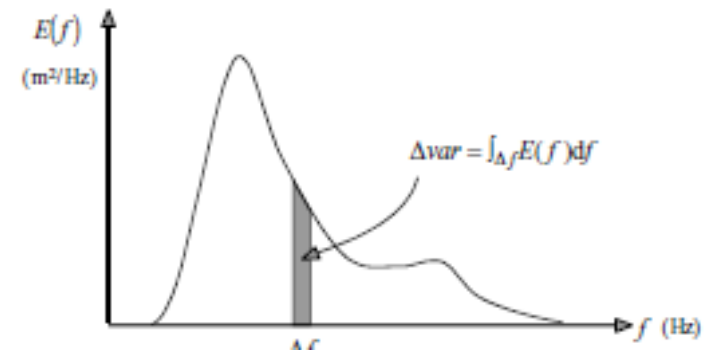
$$H_s = H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} E(f) df} = 4 \sqrt{m_0}$$

- Periodematen op basis van momenten

$$T_{m01} = m_0 / m_1$$

$$T_{m02} = \sqrt{m_0 / m_2}$$

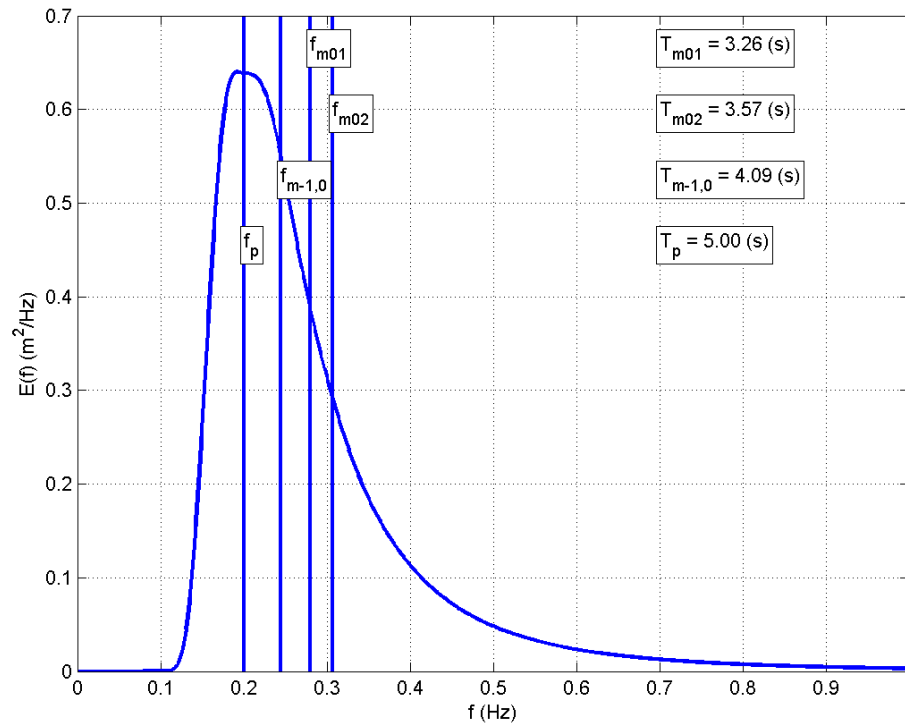
$$T_{m-1,0} = m_{-1} / m_0$$



(bron: Holthuijsen, 2007)

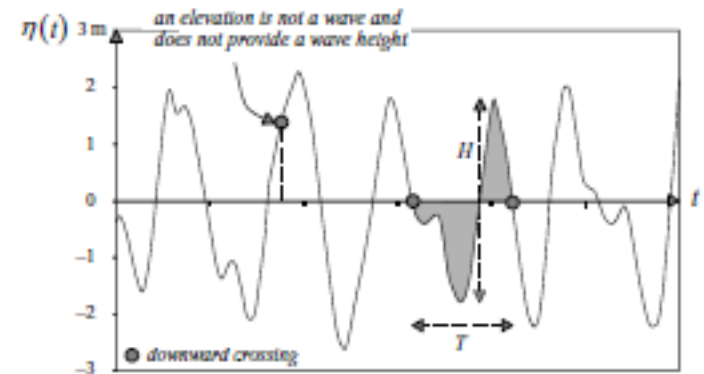
Piekfrequentie f_p en
piekperiode $T_p = 1/f_p$

Periodematen op basis van een spectrum



Definitie golfhoogte en golfperiode in het tijddomein

- Bepaal nuldoorgangen van een tijdopname (tijdreeks) op een bepaalde locatie
- Golfhoogte: grootste hoogte verschil tussen twee nuldoorgangen
- Golfperiode: tijd tussen twee nuldoorgangen
- Gemiddelde golfperiode T_z
- Gemiddelde golfhoogte H_m
- Significante golfhoogte gemiddelde van het hoogste 1/3 deel van alle golven H_j (gesorteerd op grootte)



(bron: Holthuijsen, 2007)

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

Golfperiodematen

- Er is geen éénduidige maat voor ***de golfperiode***
- Het begrip “gemiddelde golfperiode” is onbepaald zonder definitie
- Golfperiode kan bepaald worden op basis van tijddomeinanalyse en een spectrale analyse
- Er zijn vele periodematen mogelijk
- Welke periodemaat is nodig voor ontwerp?

Golfparameters voor ontwerp

- Golfparameters op basis van tijdreeksen of op basis van golfspectrum
- Twee definities van significante golfhoogte H_s
 H_{m0} of $H_{1/3}$ (subscript geeft bron aan, altijd vermelden)
In de praktijk $H_{m0} \approx H_{1/3}$
- Gemiddelde periode $T_z \approx T_{m02}$
- Ontwerpparameters vaak een H_s en een T_p
- Huidige praktijk: H_s op basis van H_{m0} en T_p geschat uit $T_{m-1,0}$ ($T_p = 1.1^* T_{m-1,0}$) onder de aanname van een bepaalde spectrale vorm
- Op basis van 2D-spectrum $E(f,\theta)$ kunnen gemiddelde golfrichting θ_0 en richtingspreiding worden uitgerekend

De energieperiode T_E

Energie E in een golfveld met variantie spectrum $E(f)$

$$E = \rho g \int E(f) df \qquad H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$
$$= \rho g m_0 = \rho g \frac{H_{m0}^2}{16}$$

Vermogen P dat getransporteerd wordt per meter kruinlengte

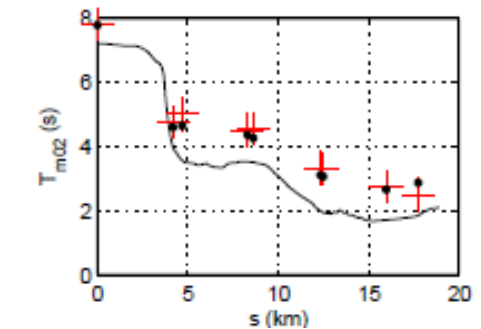
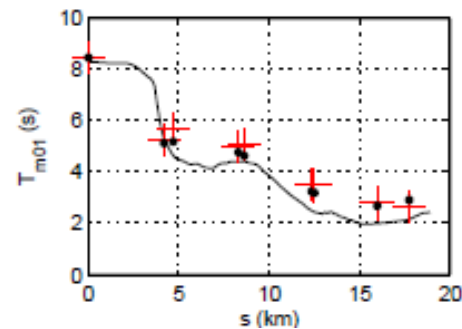
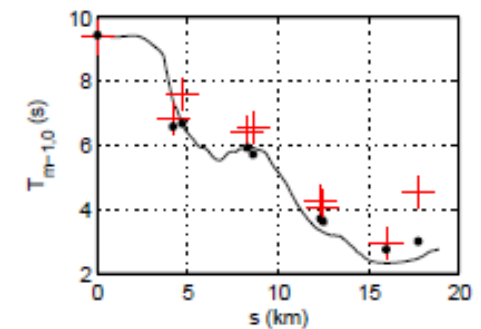
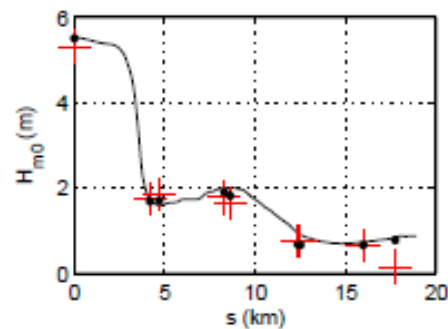
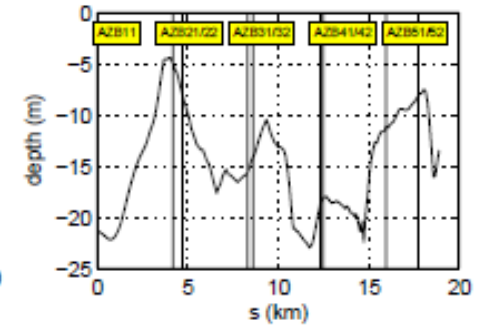
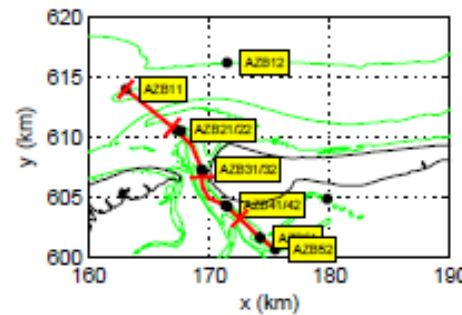
$$P = \rho g \int c_g(f) E(f) df = \rho g \int \frac{g}{4\pi f} E(f) df$$
$$= \frac{\rho g^2}{4\pi} \int \frac{1}{f} E(f) df = \frac{\rho g^2}{4\pi} T_{m-1,0} m_0$$
$$= \frac{\rho g^2}{4\pi} T_{m-1,0} \frac{H_{m0}^2}{16}$$

Daarom wordt de spectrale periode $T_{m-1,0}$ vaak de energieperiode T_E genoemd

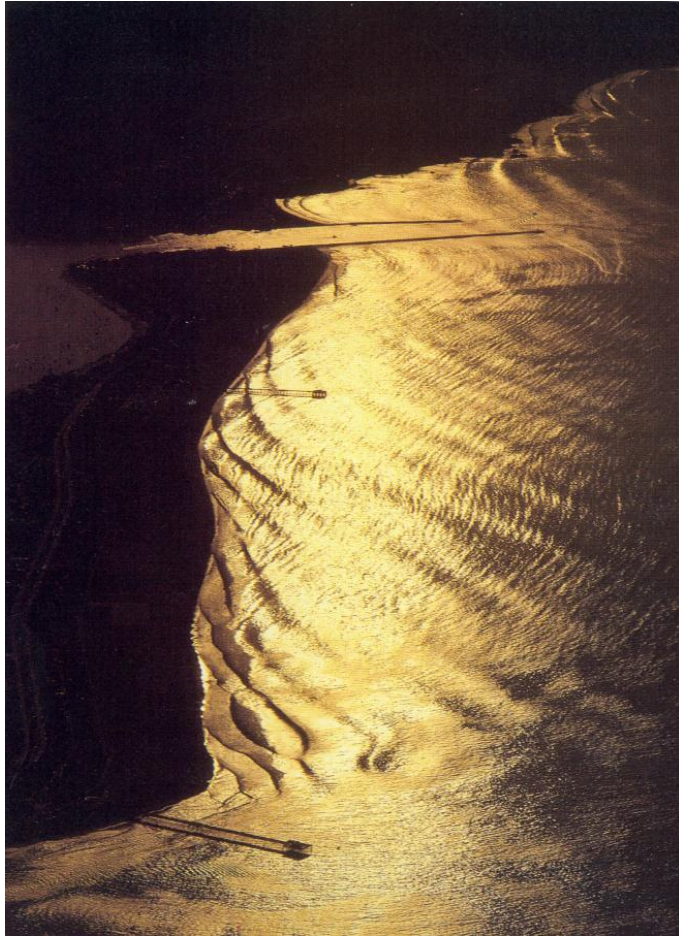
Waarom golfmodellen toepassen ?

- Golspectra en golfparameters veranderen als golven van offshore (diep water) naar de ondiepe kust lopen
- Vaste verhoudingen tussen golfparameters niet meer geldig
- Vele fysische processen spelen hierbij een rol
- Simpele transformatieregels beperkt in geldigheid, zeker in complexe geometrieën
- Transformatie van golfparameters berekenen met golfmodellen: SWAN (spectraal, fase gemiddeld), en SWASH (tijddomein, fase oplossend)

Voorbeeld golfdoor- dringing Amelander Zeegat



Golftransformatie



Golfprocessen in de kustzone:

- zegang
- deining
- lange golven

- shoaling
- refractie
- diffractie
- reflectie
- golfdoordringing
- golftransmissie en overslag

Keuze transformatiemodel

- SWAN (spectraal)
- SWASH (tijddomein)

SWAN model

- SWAN (***Simulating of Waves Nearshore***) is een spectraal golfmodel (Booij et al., 1999)
- Het model beschrijft de evolutie van het 2-dimensionaal golfspectrum $E(f,\theta,x,y,t)$ in ruimte en tijd
- De basisvergelijking is de actiebalansvergelijking (SWAN handleiding, Holthuijsen, 2007). Een afgeleide simpele vorm is de energiebalansvergelijking:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(c_{g,x}E) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{g,y}E) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{\theta}E) = S$$

- Waarin E het golfspectrum, c transportsnelheden en S de totale bronterm. De bronterm representeert alle fysische processen die golfenergie toevoegen, dissiperen of herverdelen

SWAN model (vervolg)

- De bronterm S is de som van afzonderlijke brontermen voor diep en ondiep water

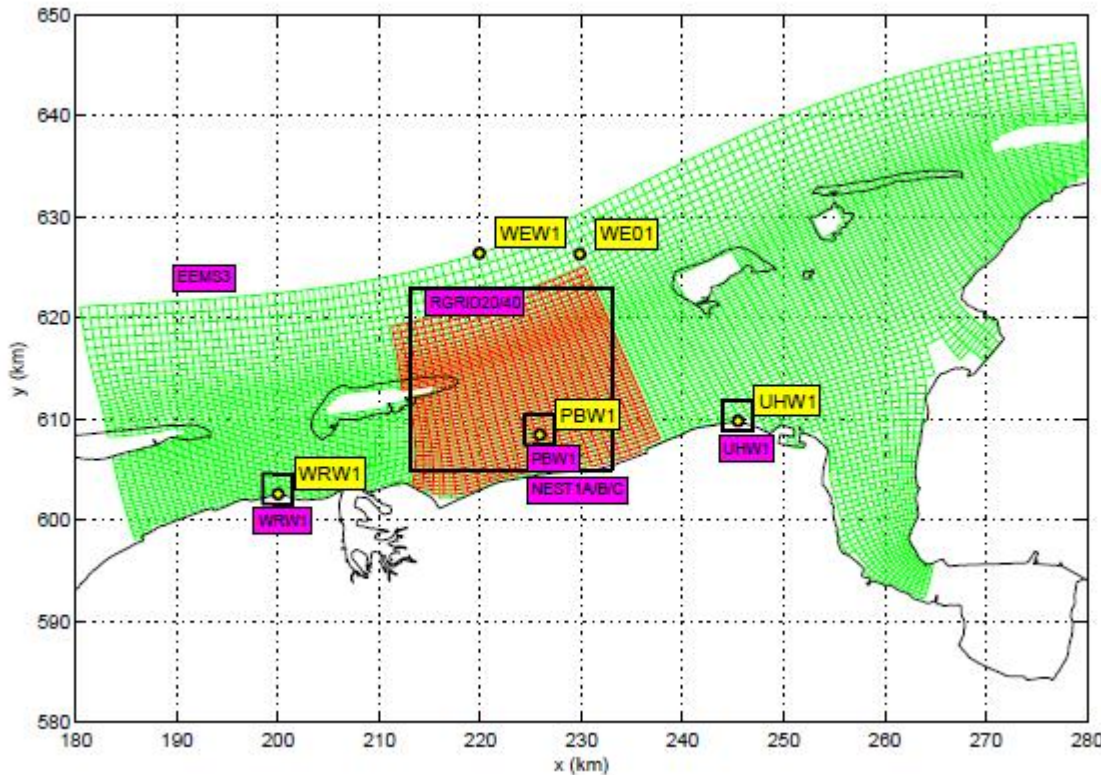
$$S = S_{wind} + S_{whitecapping} + S_{4-golfwisselwerkingen} + \left\{ S_{breken} + S_{wrijving} + S_{3-golfwisselwerkingen} + S_{vegetatie} + \dots \right\}$$

- De balansvergelijking wordt iteratief opgelost op een rooster
- Op elk roosterpunt wordt de balans van golfenergie in een golfspectrum bijgehouden
- Geen onderscheid tussen zeegang en deining
- Golfmodel wordt gestuurd door randvoorwaarden

Opzet en aansturing SWAN model

- Keuze rekenrooster (rechthoekig, kromlijinig, ongestructureerd)
- Bodemligging en bodemruwheid
- Wind
- Golfrandvoorwaarden (bijv. de n-jaar golfconditie)
- Waterstand en stroomvelden

Rekenroosters

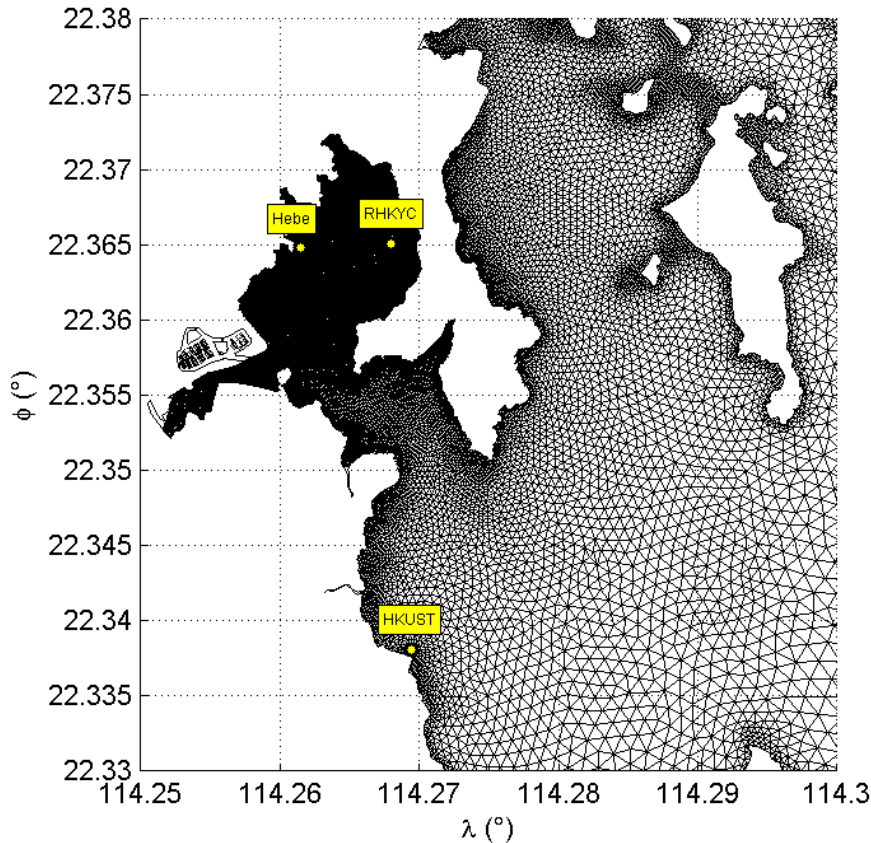


Kromlijng rooster voor oostelijke Waddenzee (bron: Alkyon, A2191)

Gele labels geven golfboeien aan

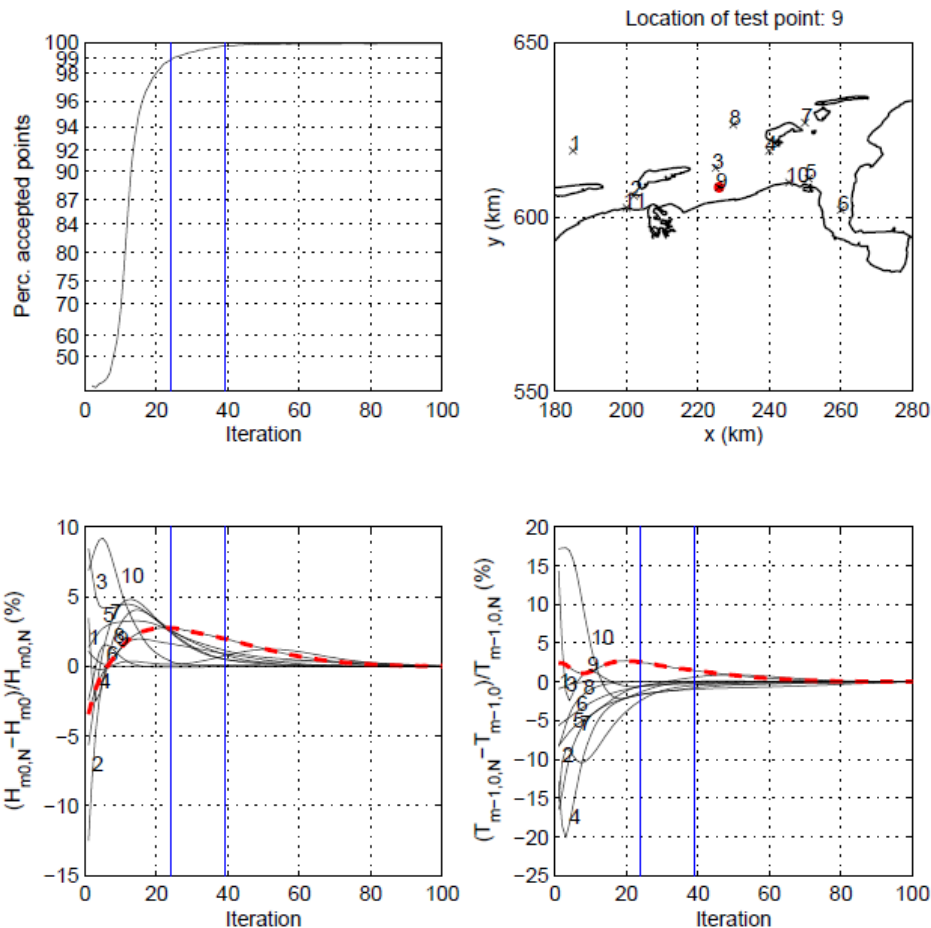
Beperkingen aan flexibiliteit door topologie van rooster. Gebieden met verfijning lopen door hele rooster

Rekenrooster (ongestructureerd)



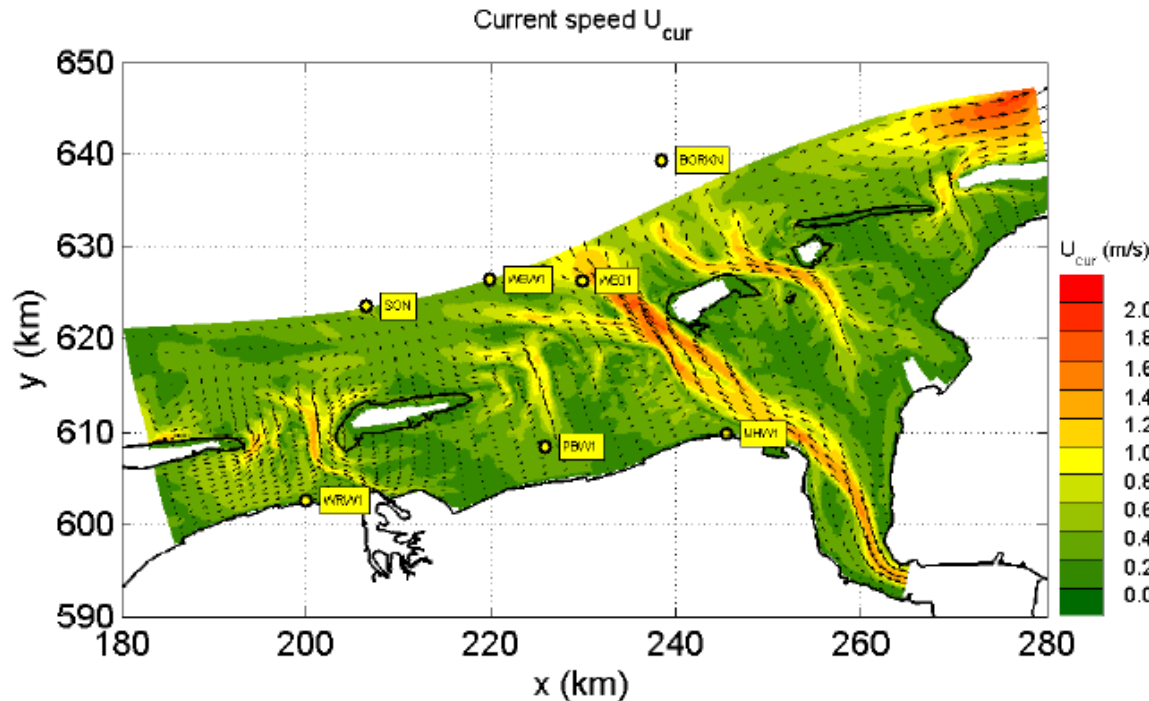
- Rooster bestaat uit driehoekjes (Bron: BMT Argoss, 2012)
- Grote mate van flexibiliteit om hoge resolutie te krijgen in interesse gebied
- Roostergenerator (mesh2d.m of SMS)

Convergentiegedrag



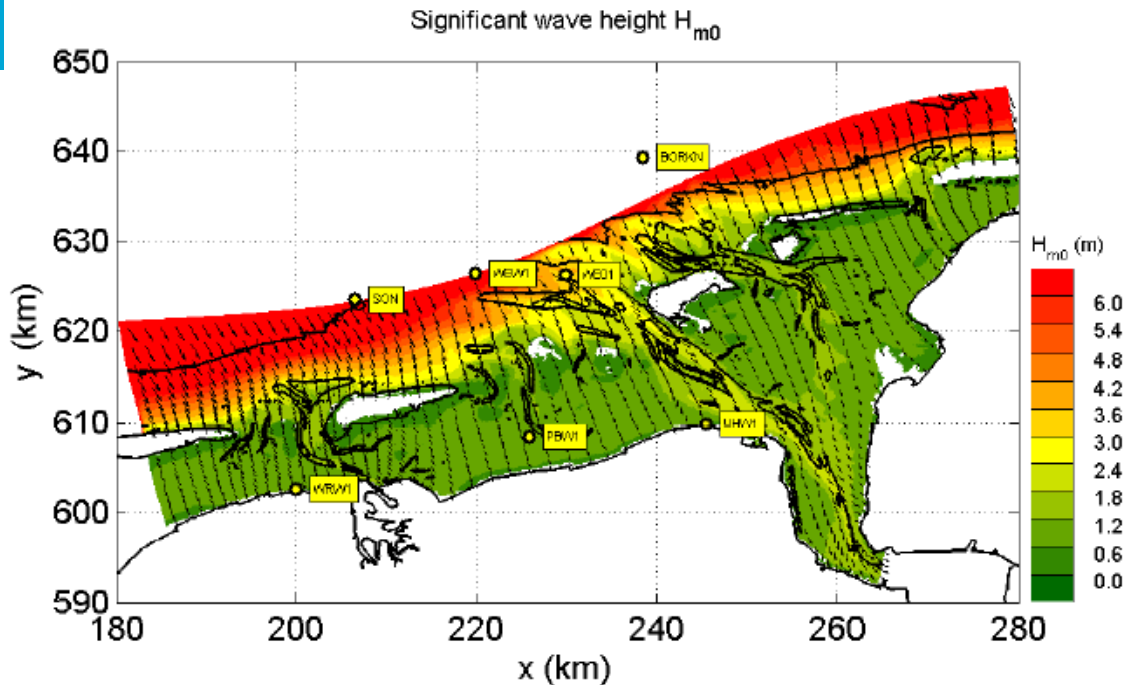
- Voorbeeld uit oostelijke Waddenzee
- SWAN moet voldoende iteraties doen om impliciet stelsel vergelijkingen nauwkeurig op te lossen
- Convergentiecriteria goed kiezen op basis van curvature criterium (STOPC)
- Gebruik testpunten om convergentiegedrag te verifiëren

Achtergrondstroming



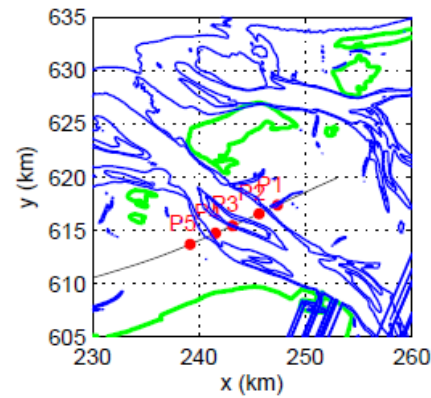
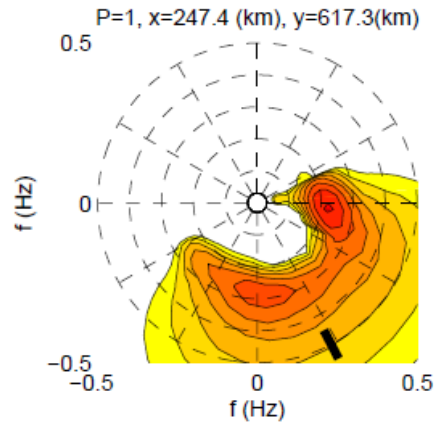
- Voorbeeld: oostelijke Waddenzee, november 2007 storm (Alkyon, 2009)
- Opleggen stroomveld uit bijv. Delft 3D berekening
- Stroomveld op basis van tweezijdig gekoppeld golf-stroom model (SWAN-Delft3D)

Golfoordringing in Waddenzee



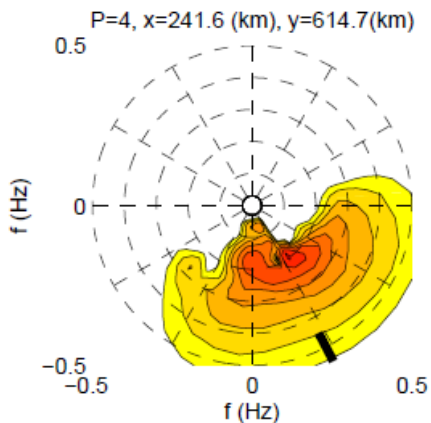
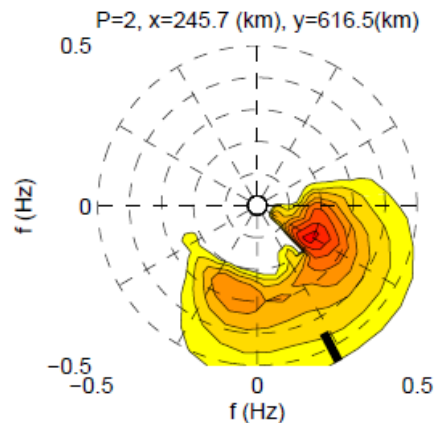
- Golfcondities opgelegd op buitenrand van model op basis van boei informatie
- Grote variatie in golfcondities, weinig doordringing door zeegaten
- Lokale golfgroei door wind
- Wave setup door wind en golven (SWAN-Delft3d)

Gedetailleerde informatie

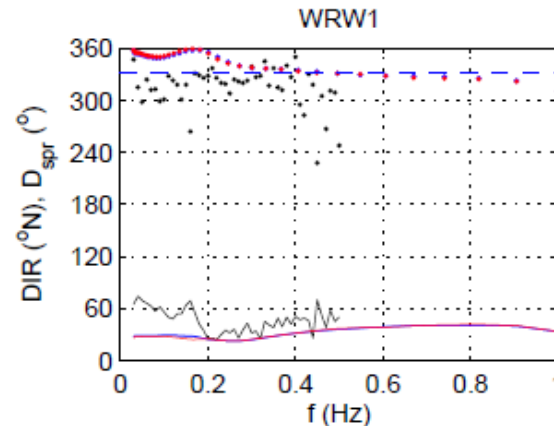
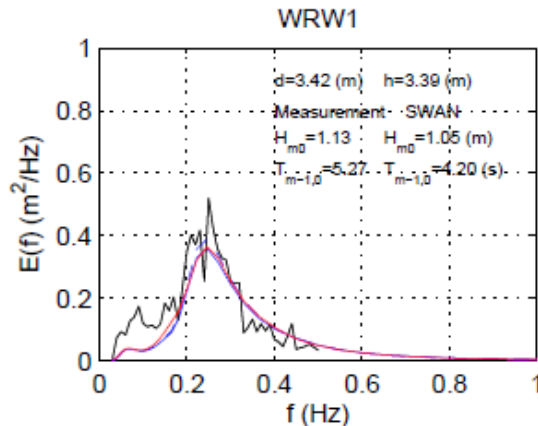
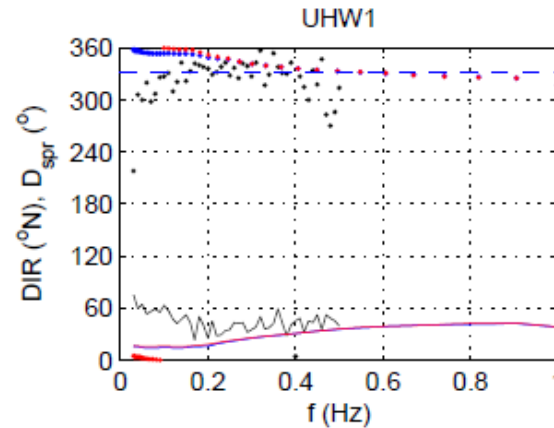
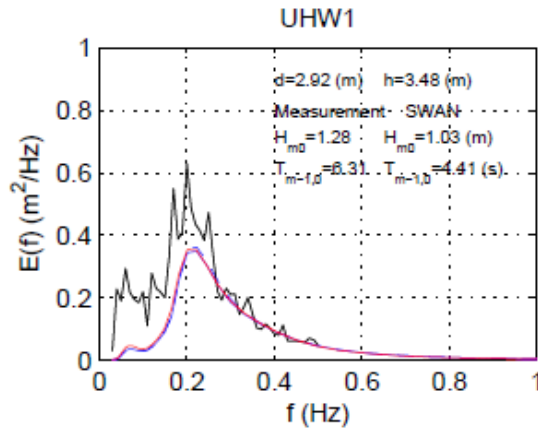


2d-spectra geven veel
inzicht in evolutie
golfveld van offshore
naar nearshore

November 2007 storm



Detailuitvoer SWAN

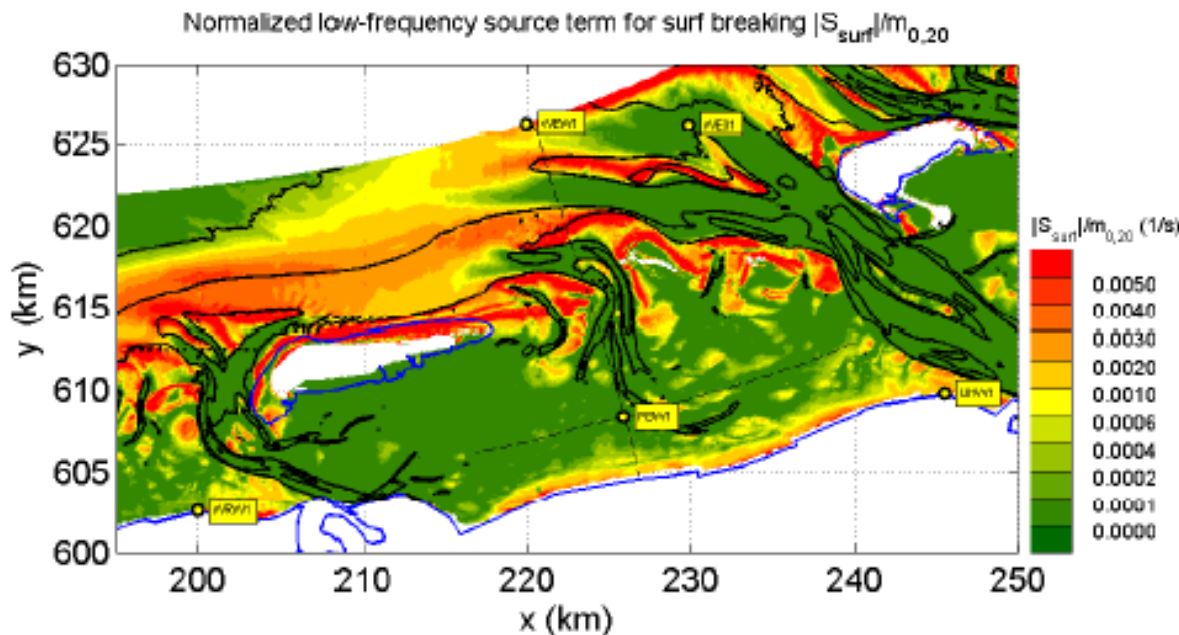


- Voorbeeld oostelijke Waddenzee, november 2007 storm
- Spectrale uitvoer van (variantie) spectrum en gemiddelde golfrichting en richtingspreiding per frequentie
- Vergelijking met boeimetingen

Sterkte van fysische processen

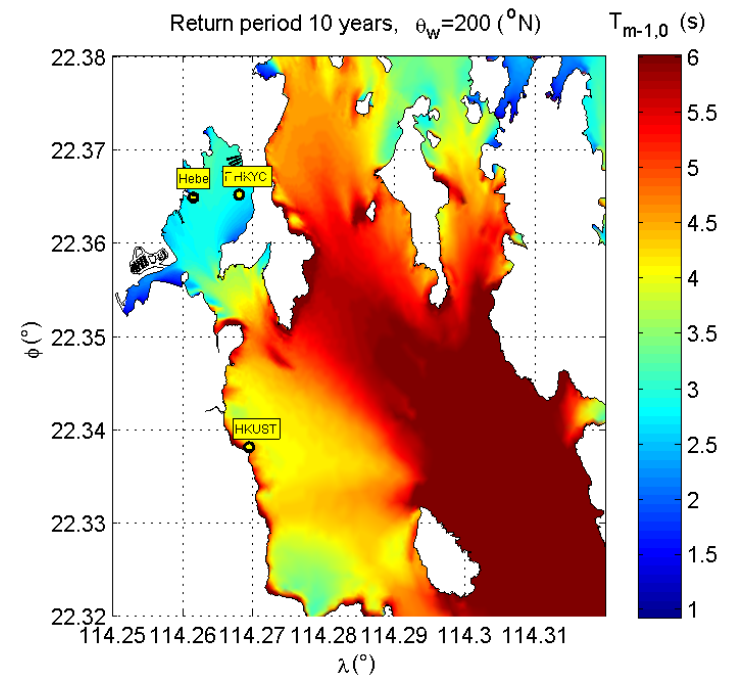
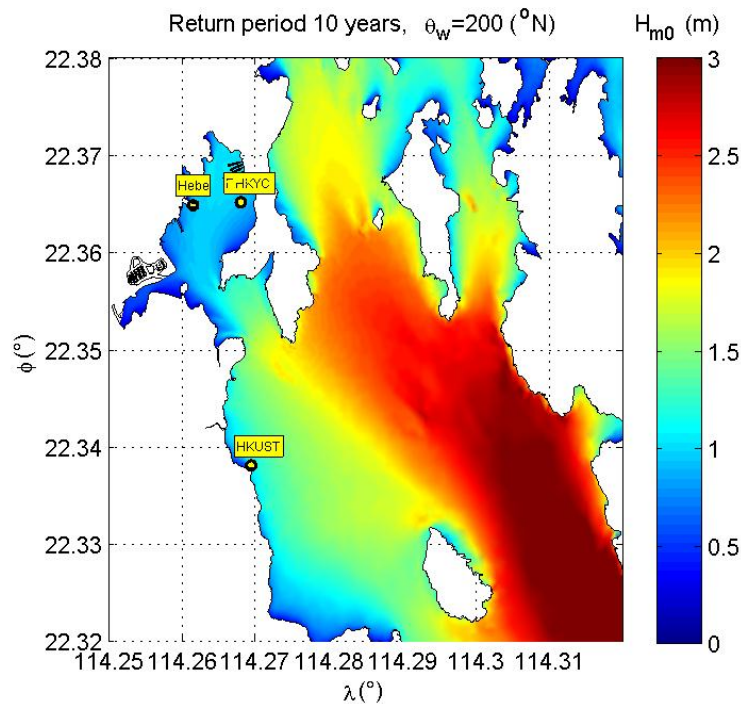
$$M_{breking} = \int_0^{2\pi} \int_{f_1}^{f_2} S(f, \theta) df d\theta$$

- Voorbeeld oostelijke Waddenzee, november 2007 storm
- Berekening sterkte van dissipatie door diepte gelimiteerd breken (surf) voor laag-frekwente golven tot 0.2 Hz en genormaliseerd door te delen door m_0
- Inzicht in plaats van significante fysische processen



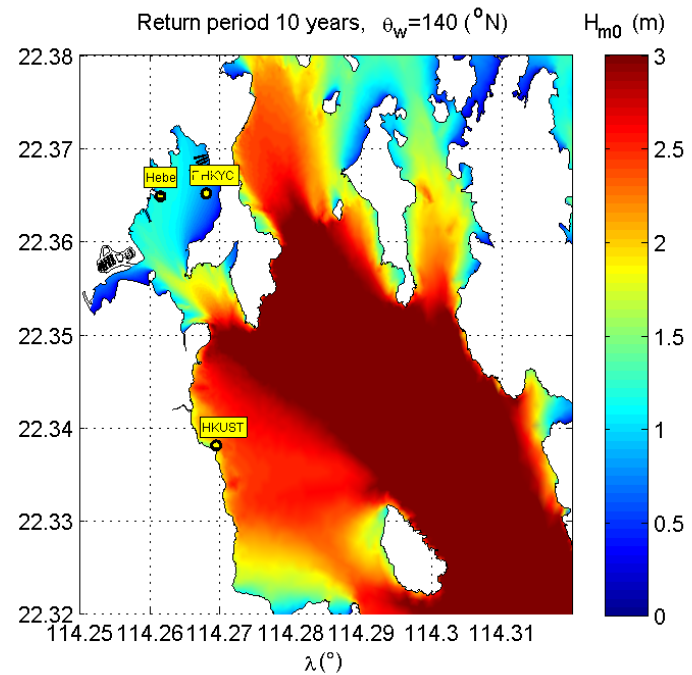
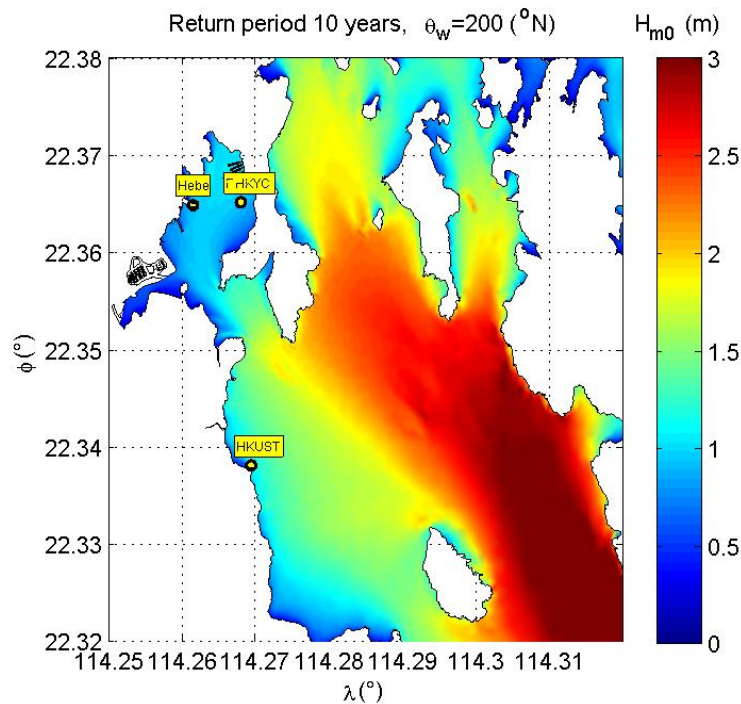
Toepassing SWAN

Golfoordringing van 10-jaar offshore conditie

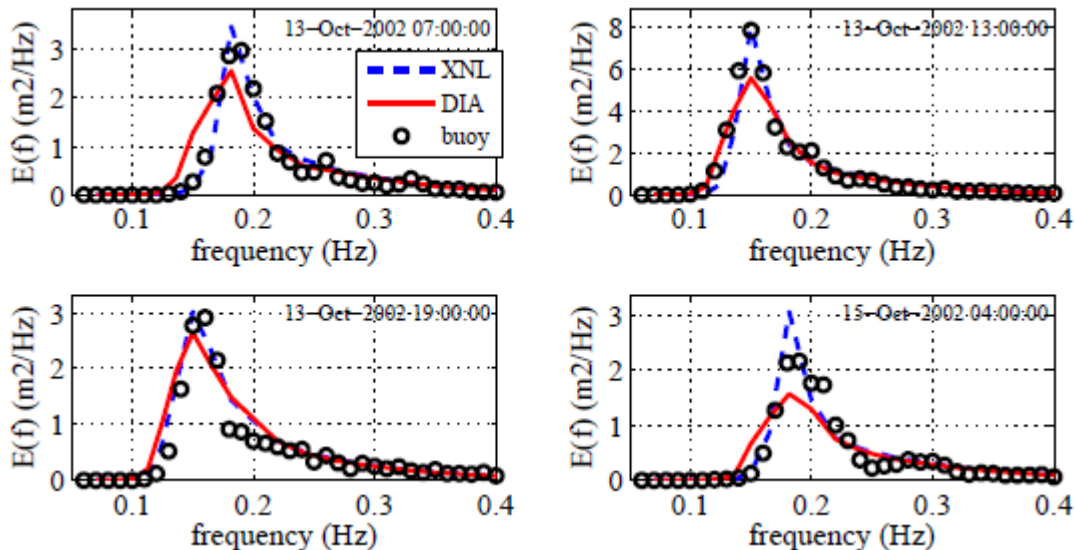


Toepassing SWAN

Golfoordringing van 10-jaar offshore conditie



Spectrale vorm en rol vier-golf wisselwerkingen (quadruplets)



(Rogers en Van Vledder, 2012)

- Metingen en SWAN berekeningen in Lake Michigan, USA
- SWAN met huidige default (DIA) en nauwkeurige, doch erg kostbare Xnl berekening
- Xnl geeft smallere spectra dan DIA

Toepassing SWAN in havens

- In havens is SWAN onder voorwaarden toepasbaar
- In havens kunnen diffractieeffecten een rol spelen die **niet of beperkt** in SWAN model zitten
- SWAN is beperkt toepasbaar indien:
 - Golven richtingsgespreid zijn
 - Golflengte kort t.o.v. lengteschalen in havens
 - Ontwerprandvoorwaarden nodig zijn aan loefzijde (diffractieeffecten zijn relatief groot aan lijzijde van dammen en golfbrekers)
 - Indien windgroei een rol speelt
- Vergelijking met diffractiemodel resultaten aanbevolen

Nieuwe ontwikkelingen SWAN en aandachtspunten

- Ongestructureerde rekenroosters, grote modelleerflexibiliteit. Gebruik refractielimiter voor stabiliteit
- Dissipatie door vegetatie
- Sterkte van fysische processen en voortplantingstermen inzichtelijk te maken
- Convergentiegedrag te verifiëren
- Periodematen op basis van spectrum

Toekomstige ontwikkelingen en plannen voor SWAN

- Doorlopende ontwikkeling brontermen voor fysische processen
 - Whitecapping (betere behandeling windzee-deining systemen)
 - Nauwkeurige en efficiënte berekening quadruplets (spectrale vorm)
 - Diepte geïnduceerd breken op basis van lokale parameters met helling- en diepteschaling. (Vooralsnog Battjes-Janssen brekermodel met $\gamma=0.73$ goede keuze.)
- Spectrale decompositie (windzee en deiningcomponenten) en volgmechanisme van afzonderlijke golfsystemen
- NectCDF, ..
-

Het SWASH model

- SWASH: Simulating Waves till Shore
- Breed toepasbaar numeriek model voor het simuleren van niet-hydrostatische, vrije oppervlak, rotationele stroming
- Gebaseerd op niet-lineaire ondiep water vergelijkingen met niet-hydrostatische druk
- Door het meenemen van niet-hydrostatische druk, zijn allerlei golfverschijnselen te modelleren, zoals (dispersie, surf beat, triads, etc..)
- De verticaal kan in aantal lagen worden onderverdeeld zodat verticale structuur kan worden meegenomen (bijv. onderstroom)
- Nauwkeurigheid frequentie dispersie neemt toe met aantal lagen

SWASH fysica

SWASH neemt de volgende fysische processen mee

- Voortplanting, frequentie dispersie, shoaling, refractie en diffractie)
- Droogval, inundatie, bewegende kustlijn
- Niet-lineaire golf-golf interacties (incl. surf beat, infra-gravity golven en triads)
- Golf-gedreven stromingen en golf-stroom interactie
- Golfbreken en bodemwrijving
- Golfoploop en golfterugval tegen hellingen
- Partiële reflectie en transmissie (golfbrekers d.m.v. porositeit)

Functionaliteiten van SWASH

- “Golfschotsturing”
 - Fourierreksen, tijdreeksen
 - 1D, 2D spectrum, SWAN spectra, metingen
- Zwak reflecterende randen, sponslagen
- Rechthoekig en kromlijnige roosters
- 1D-mode (golfgoot) of 2D-mode (basin, veld)
- Diepte gemiddeld (1 laag) of meer-lagen opzet

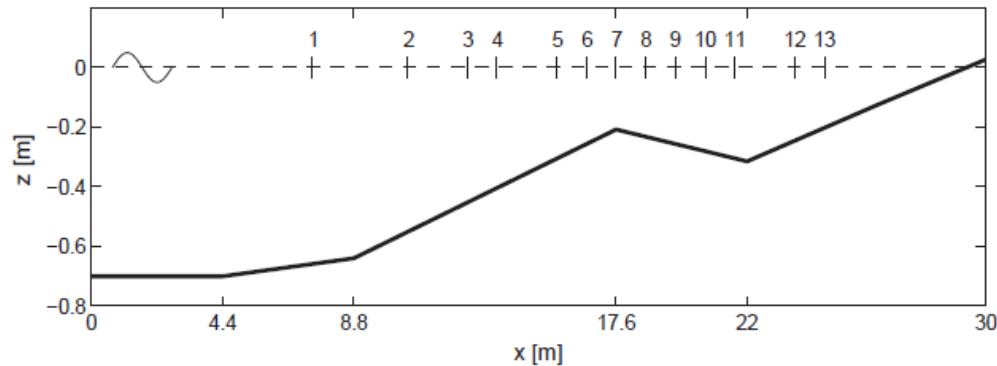
Functionaliteit (vervolg)

- Fysica: bodem wrijving (Chézy, Manning), turbulente menging
- Hydrostatisch of niet-hydrostatisch
- Vergelijkbare uitvoer als SWAN model
 - Punten, krommes, velden, verticalen, etc..
 - Vele grootheden: water stand, snelheden, druk, oploop, etc..
 - Significante golfhoogte H_{m0} op basis van variantie per punt $m_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i^2$
 - Tijdreeksen (kunnen buiten SWASH in spectra worden omgezet)
 - ASCII bestanden (tabellen, blokken) en binaire Matlab bestanden (blokken)

SWASH model – wat is het niet?

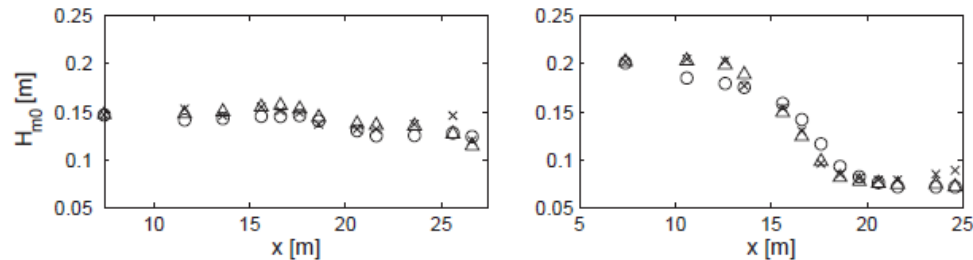
- een ondiep water model met forcering op golfgroepschaal
- het is geen Boussinesq-type golfmodel
- het bevat geen ad-hoc oplossing voor bijv.:
 - oppervlakte roller model voor golfbreken
 - de 'slot' techniek voor een bewegende kustlijn
 - bronfuncties voor interne golfgeneratie
- het bevat geen numerieke filters of specifieke dissipatie mechanisme om korte golfinstabiliteiten te onderdrukken

Golfbreken op een onderwater talud (Battjes-Janssen, 1978)



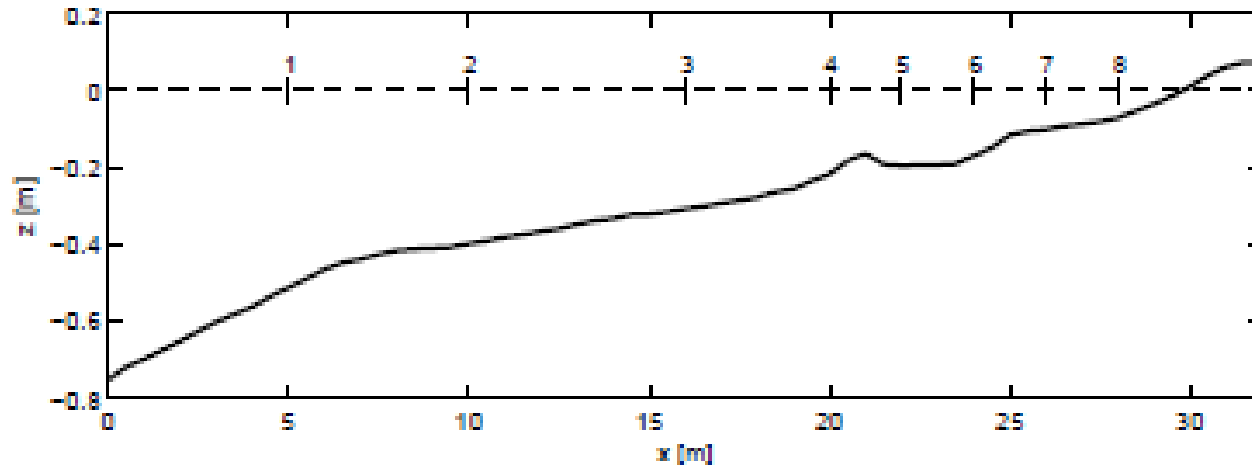
- x Experiment
- O SWASH
- △ SWAN

Fig. 14. Sketch of the experimental setup and gauges by Battjes and Janssen (1978).



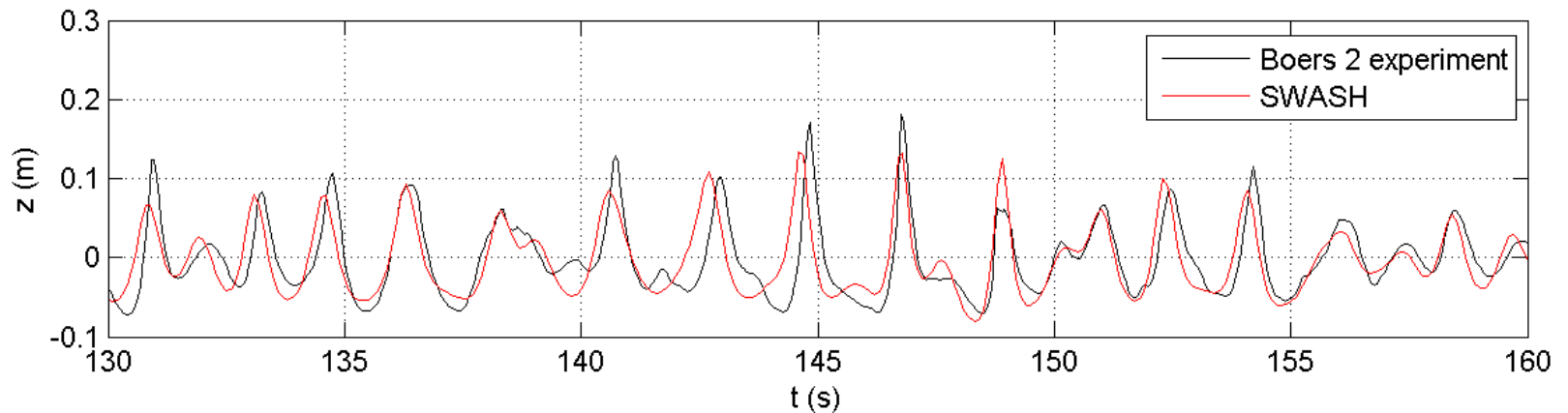
(Bron: Zijlema et al., 2011)

Golfbreken in de kustzone



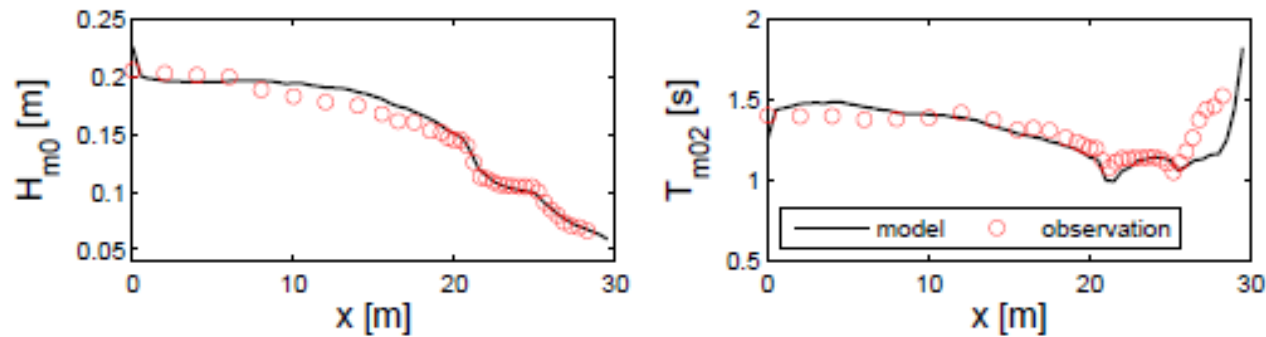
Boers (1996) experimenten

Boers 2, experiment, oppervlakte uitwijking

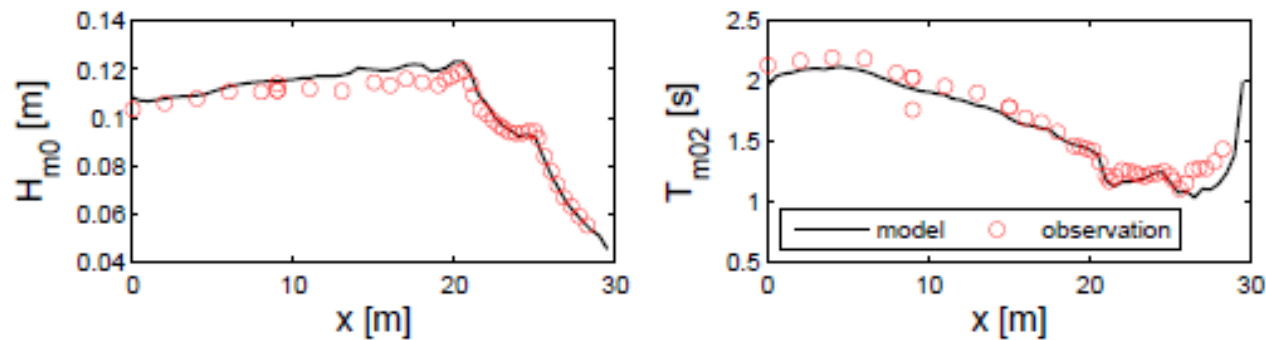


Boers 1, experiment, golfparameters

Boers 1B ($H_{m0}=0.206$ m, $T_p=2.03$ s)

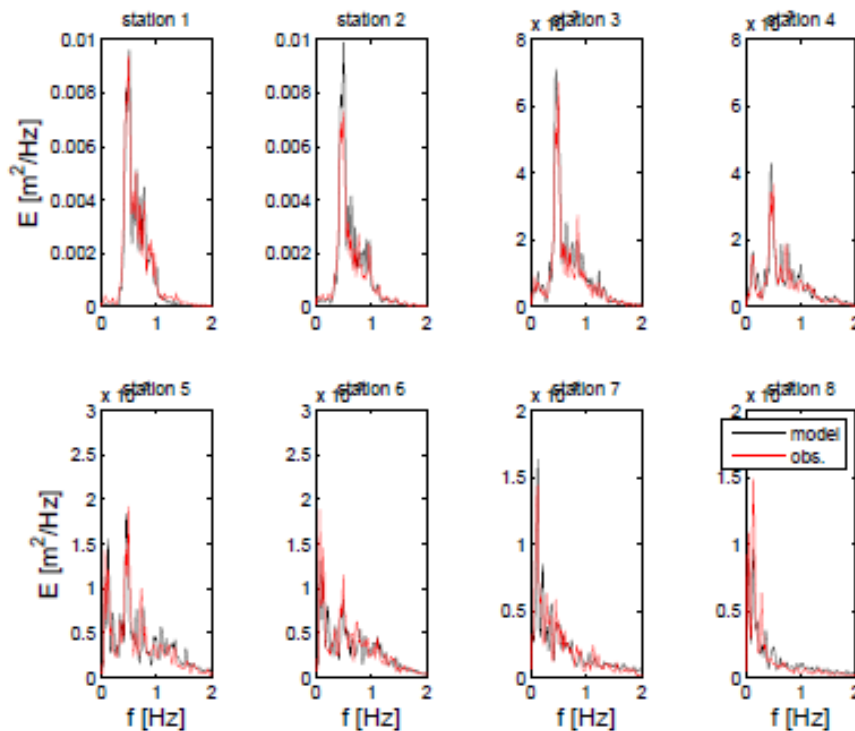


Boers 1C ($H_{m0}=0.103$ m, $T_p=3.33$ s)

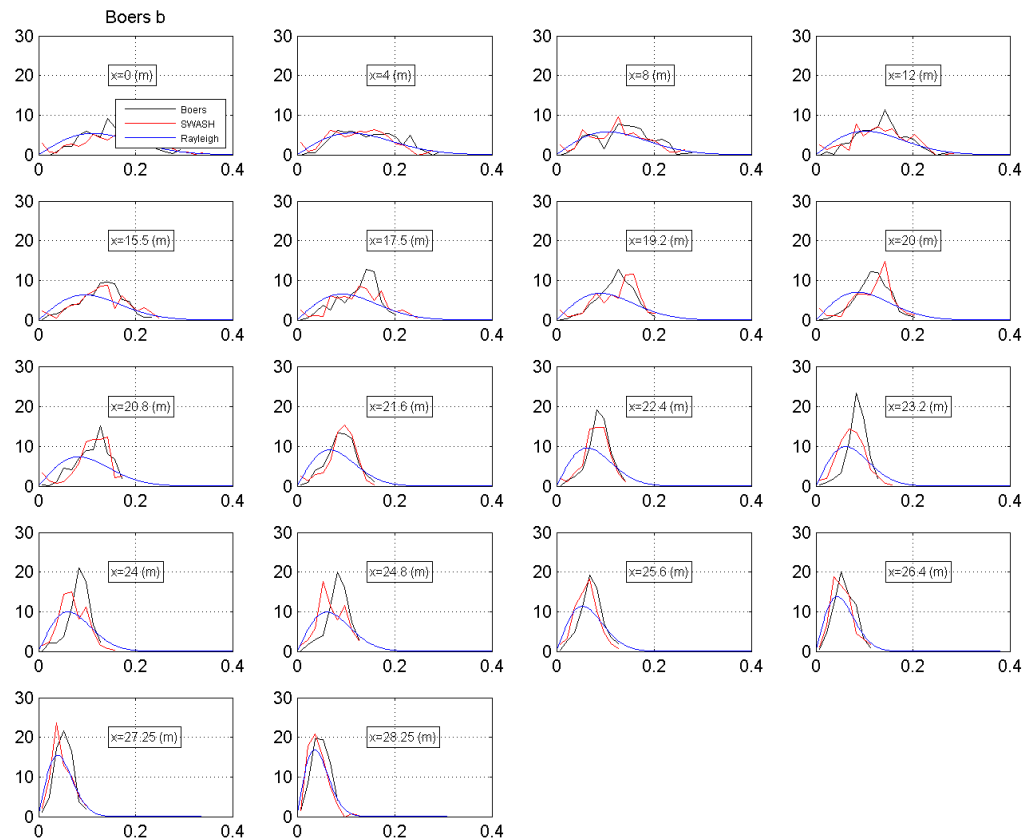


Boers 1, experiment, golfspectra

Boers 1B



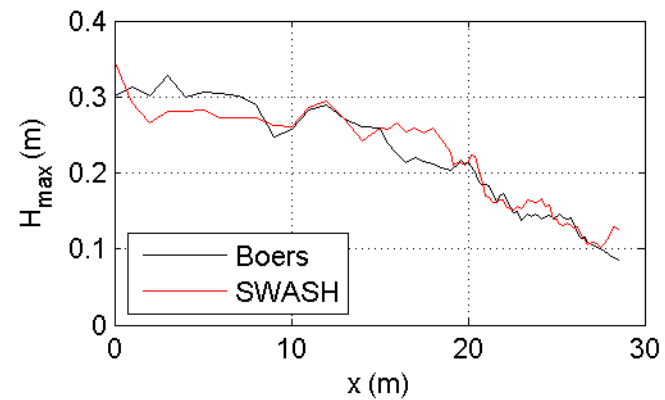
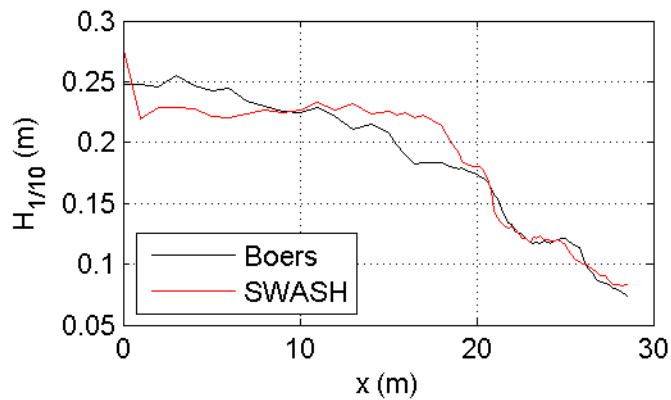
Individuele golfhoogteverdeling



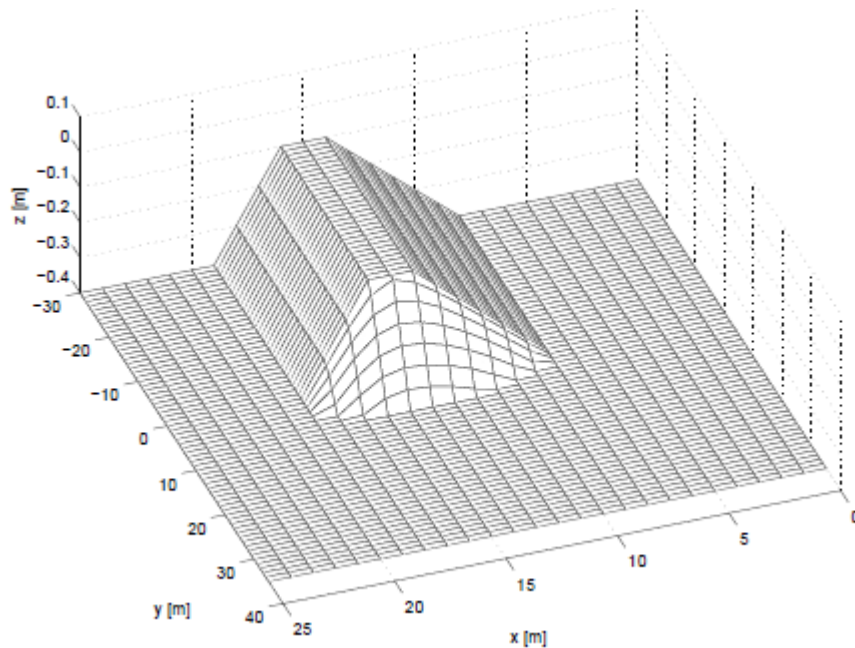
- Individuele golfhoogte verdeling Boers 2 experiment
- Vergelijking meting, experiment en SWASH
- Vergelijk met Rayleigh en ondiep water verdeling van Battjes-Groenendijk (2000)

Boers 2, experiment, individuele golfhoogte kenmerken

Evolutie $H_{1/10}$ en H_{\max} in ondiep water



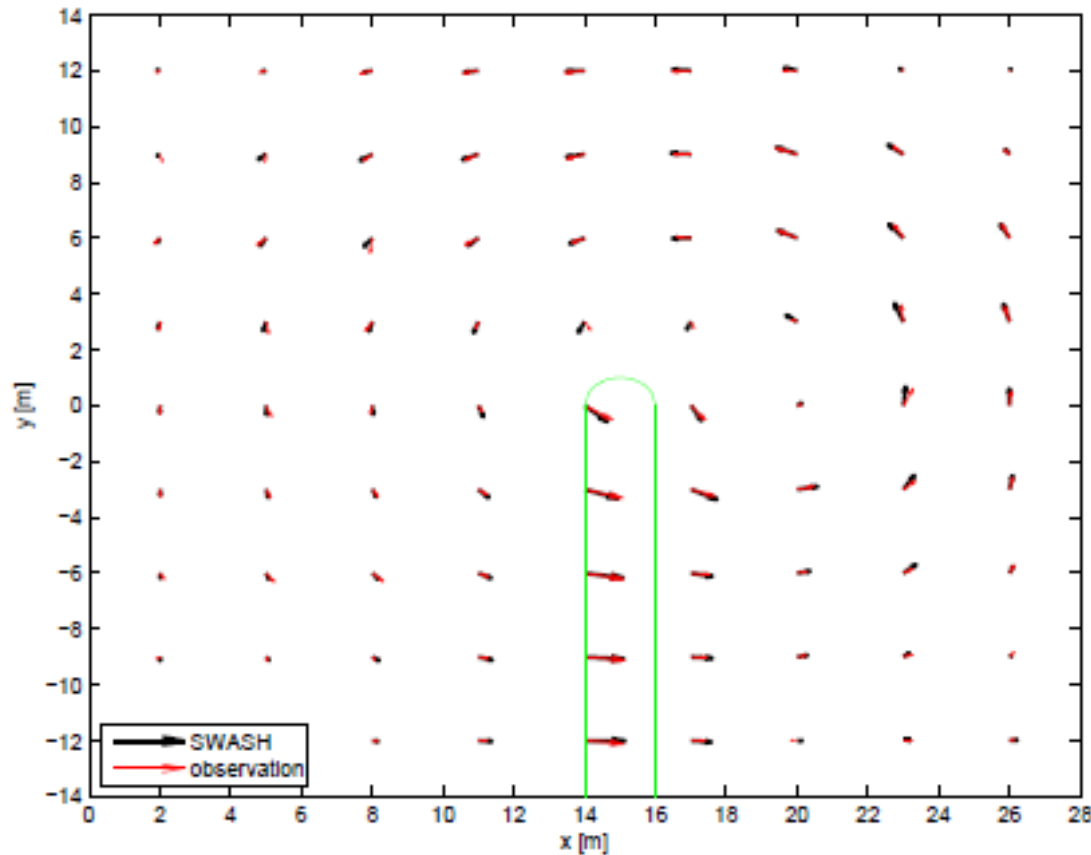
Richtinggespreide golven over een onderwater talud



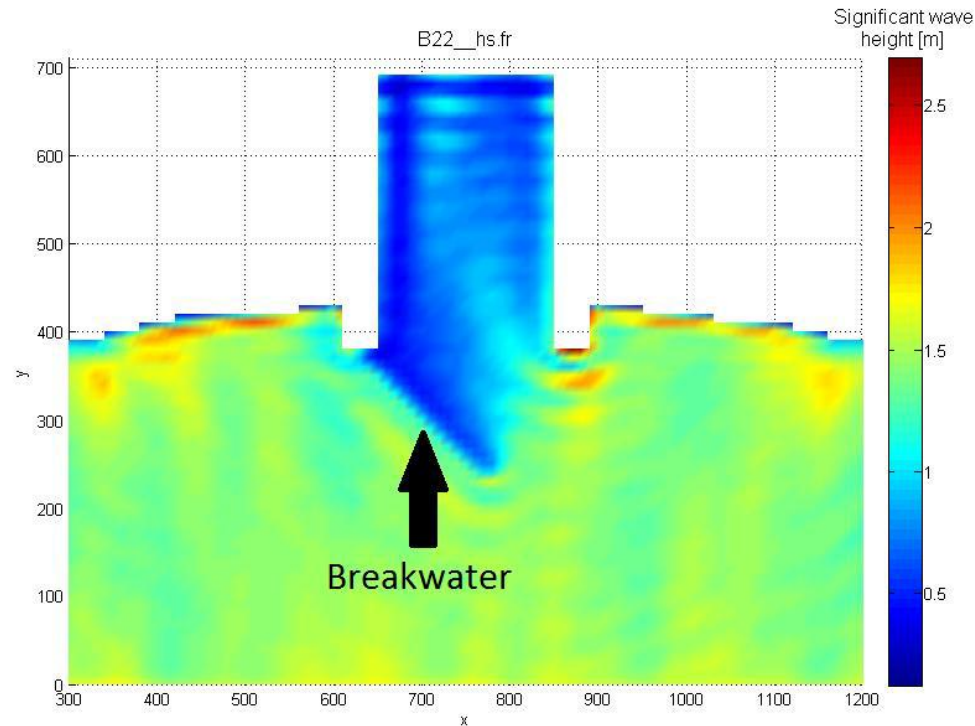
- HISWA bak experiment
- Golf-stroom interactie
- Test case voor golf-stroom interactie

Golf-stroom interactie HISWA bak

Vergelijking gemeten en berekende stroming

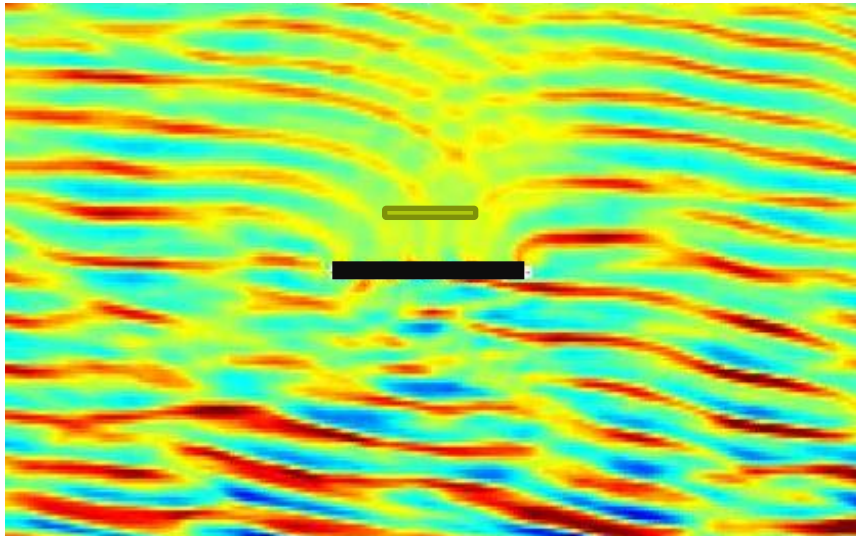


Golfoordringing in een haven



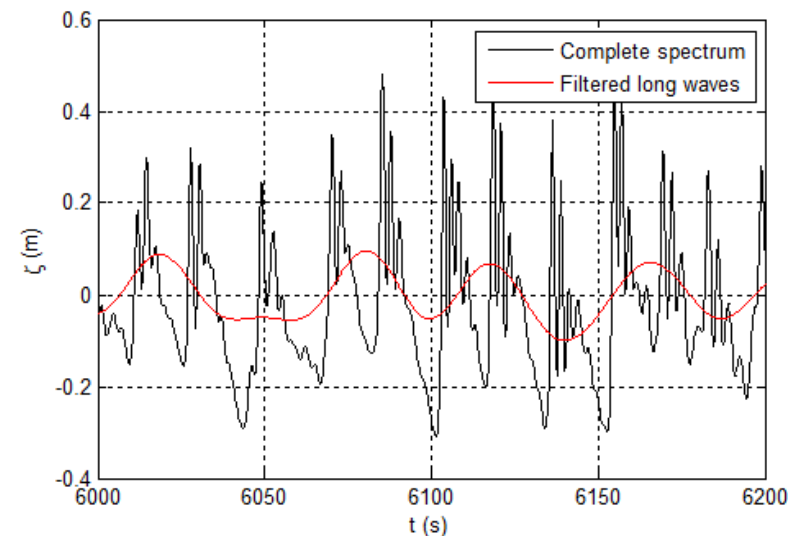
- Golfbreker gemodelleerd als gebied met bepaalde porositeit
- Reflectie golfbreker op basis van hydrodynamische eigenschappen (porositeit) van golfbreker
- Nadere studie nodig naar relatie porositeit en reflectie en transmissie kenmerken

Opwekking van lange golven in de kustzone



SWASH berekent (indirect) lange golf component

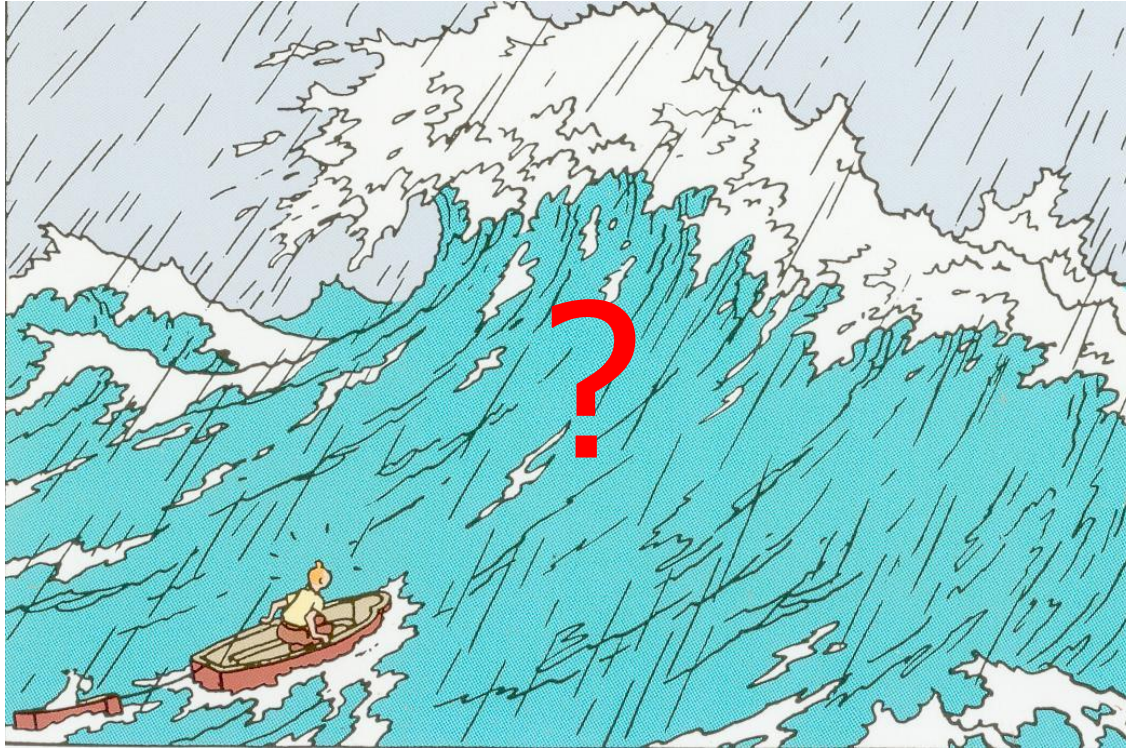
- Onregelmatig golfveld vanuit het zuiden. Lange golven beïnvloeden afgemeerde schepen
- Offshore golfbreker creëert relatief veilige zone voor afgemeerd schip



Toekomstige ontwikkelingen en plannen voor SWASH

- Interactie met constructies (partiële reflectie)
- Wind effecten op golfontwikkeling
- Golfkrachten op afgemeerde schepen
- Uitbreiding naar ongestructureerde roosters
- OpenMP, hotstart, NectCDF, ..
-

Vragen



Contact:

g.p.vanvledder@tudelft.nl

gerbrant.vanvledder@bmtargoss.com

Literatuur

- Alkyon, 2009: SWAN hindcast in the Eastern Wadden Sea and Eems-Dollard estuary, storm of 9 November 2007, G.Ph. Van Vledder, J. Adema, O.R. Koop. Rapport A2191r5
- Battjes, J.A., H.W. Groenendijk, 2000: Wave height distribution on shallow foreshores. *Coastal Engineering*, 40, 161-182.
- Booij, N., R.C. Ris, L.H. Holthuijsen, 1999: A third generation wave model for coastal regions. Part I: Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104,7649-7666.
- Goda, Y., 2010: *Random Seas and Design of Maritime Structures*, World Scientific.
- Holthuijsen, L.H., 2007: *Waves in oceanic and coastal waters*, Cambridge, University Press
- SWAN team, SWAN user manual, TU Delft. <http://www.swan.tudelft.nl>
- SWASH team, SWASH user manual, TU Delft. <http://swash.sf.net>
- Rock Manual [2007, reprinted 2012] *The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*, CIRIA, CUR, CETMEF publication C683. ISBN 978-0-86017-683-1, downloadable from <http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/>
- Rogers, W.E., G.Ph. Van Vledder, 2012: Frequency width in predictions of windsea spectra and the role of the nonlinear solver. Accepted for *Ocean Modelling*.
- Verhagen, H.J, G.Ph. Van Vledder, S. Eslami Arab, 2008: A practical method for design of coastal structures in shallow water. Proc. 31rd Int. Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Duitsland
- Zijlema, M., G.S. Stelling, en P.B. Smit, 2011: SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58, 992-1012.