

Plots uit het niets opduikende monstergolven: hoe onverklaarbaar zijn deze 'freak waves'?

Neen, in deze bijdrage gaat het niet over tsunami's, de alles wegslaande, meters hoge golfreinen, helaas berucht geworden na de Aziatische catastrofe van 26 december 2004. Ook andere golfffenomenen schudden de mensheid van tijd tot tijd wakker en doen ons beseffen hoe nietig we wel zijn ten aanzien van zoveel natuurgeweld. De zogenaamde 'freak waves' of 'rogue waves' (letterlijk: 'ongewone', resp. 'gemene golven') zijn een sprekend voorbeeld hiervan.

De schrik van elke zeevaarder

Plots uit het niets opduikende monstergolven van wel 30 meter hoog werden tot voor kort weggelachen en afgedaan als zee-mansverhalen. Sterk afwijkende metingen van golfhoogtes op zee verwijderde men discreet uit de databanken, vanuit de veronderstelling dat dit meefouten dienden te zijn. Men wilde het als het ware niet weten hebben. Toch bleef het fenomeen van "schepen verzwelgende reuzegolven" de scheepvaartwereld al die jaren in zijn ban houden. De geleden verliezen en het belang van de scheepvaart voor de wereld-economie enerzijds, en de vaststelling dat heel wat scheepsongevallen nooit opgehelderd geraakten (zie kader), waren hier niet vreemd aan. Bestonden ze dan toch echt, die 'freak waves'? En waren zij de oorzaak van veel onverklaarde schade aan schepen en offshore constructies?

Reuzegolven in beeld

Tegenwoordig twijfelt niemand nog aan het bestaan van 'freak waves'. Meer nog, ze zijn meermalen vastgesteld en zijn blijkbaar niet zo zeldzaam als aanvankelijk gedacht. Hier volgen enkele opvallende meldingen:

- 12 december **1978**: de onzinkbaar geachte supertanker 'München', tevens de trots van de Duitse koopvaardijvloot, blijkt midden op de oceaan te zijn 'verdwenen'; op basis van een laatste hulpbericht organiseert men een grootscheepse reddingsoperatie, die niets meer oplevert dan de vondst van een reddingsvlot, dat door geweldige kracht verwrongen blijkt te zijn
- februari **1995**: het cruiseschip *Queen Elizabeth II* kruist, tijdens een orkaan op de Noord-Atlantische Oceaan, het pad van een 29 meter hoge golf; de kapitein meldt radien: "een enorme muur van water... het was alsof we tegen de krijtrotsen van Dover aanliepen"
- 1 januari **1998**: het Draupner-olieplatform registreert in de Noordzee een 26 m hoge golf, temidden gemiddelde golven van 'slechts' 10-12 m hoog; dat dit geen

meefout betrof werd bevestigd door de schade vastgesteld aan een hooggelegen platform na de inslag

- 9 november **1998**: de 'Schiehallion' (een zogenaamde 'Floating Production Storage Offloading' installatie van ca. 80.000 ton) ondervindt zware schade ten noorden van Schotland, ten gevolge een golf met uitzonderlijke steilte; de boeg is op 20 m hoogte tot 25 cm diep ingedeukt
- 28 september **2000**: het passagiersschip 'Oriana' komt er met de schrik van af, wanneer ze getroffen wordt door een 17 meter hoge golf; de kapitein meldt dat er geen probleem was tot de monstergolf eraan kwam...
- februari-maart **2001**: een monstergolf van meer dan 30 meter hoog treft twee Antarctische cruiseschepen, de 'Bremen' en de kleinere 'Caledonian Star', in de zuidelijke Atlantische Oceaan; de Bremen blijft twee uur stuurloos rondrijven, zonder verder veel erg

• februari **2005**: het cruiseschip 'Voyager' wordt tijdelijk stuurloos na 60 mijl ten zuiden van Mallorca te zijn getroffen door een monstergolf

• 15 april **2005**: het cruiseschip 'Norwegian Dawn', op weg van de Bahama's naar New York, komt onzacht in aanraking met een golf van naar schatting 20 meter hoog; 62 hutten krijgen water binnen, 4 passagiers geraken licht gewond

De ultieme bevestiging komt er in dezelfde periode dat de 'Bremen' en de 'Caledonian Star' in de problemen raken. Een consortium van Europese onderzoeksgroepen ('MaxWave': zie pag. 4) sluit een akkoord met de Europese Ruimtevaart Organisatie (ESA) om gedurende 27 dagen de oceanen af te speuren met twee van hun Earth-scanning satellieten. Resultaat: ESA ontdekt niet minder dan 10 reuzegolven van elk meer dan 25 m hoog!

Schepen die vergaan

Circa 95% van al het internationaal vrachtvervoer gebeurt per schip en de verwachting is dat het belang van de wereldscheepvaart in de toekomst nog zal toenemen. Jaarlijks 0,3% van de ca. 40.000 vrachtschepen (128 schepen) die wereldwijd varen (zie tabel), bereikt zijn eindbestemming niet en zinkt. Hiermee gepaard gaande verdrinken elk jaar ook nog eens meer dan 1000 zeevarenden. In 80% van de gevallen waarbij de oorzaak kan worden achterhaald, ligt een menselijke fout – bij de constructie van het schip of tijdens het varen – aan de basis. Dat ook het weer hierop een belangrijke invloed uitoefent spreekt voor zich: gebreken in de constructie of foute inschattingen bij het besturen van het schip zullen immers vooral aan de oppervlakte komen bij ongunstige weersomstandigheden. Algemeen wordt aangenomen dat het weer in 30% van de gevallen van schipverlies de oorzaak is (al dan niet in combinatie met een menselijke fout). Een andere 25% blijft onverklaard...

Categorie	Vracht	Type schip	Aantal schepen	Miljoen ton	% van totale trafiek
Droge bulk	Ijzererts, kolen, granen, bauxiet, aluminium, fosfaat, etc.	Bulk carriers	5.775	1.288	24
Vloeibare bulk	Olie en olieproducten, vloeibaar gas, andere...	Olietankers, gastankers, chemicaliën tankers, etc.	11.195	2.307	42
Gemengde vracht	Andere droge vracht, verwerkte producten, voeding, etc.	Containerschepen, andere vrachtschepen roll-on roll-off, gespecialiseerde vracht etc.	25.666	1.839	34
Totaal			42.636 *	5.434	100

*Internationaal, wereldwijd vrachtvervoer per schip in 2000. Noot *: dit cijfer is exclusief de 2.460 passagiersschepen, 324 cruiseschepen en 43.220 andere niet-handelsschepen (naar Faulkner 2002)*



Hoe kunnen monstergolven opdoemen uit het niets? Het project 'MaxWave'

Tweeduizend jaar terug zocht men de oorzaak van reuzegolven bij goden als Neptunus en Aeolus. In recenter tijden leerde men een aantal mechanismen kennen die het ontstaan zouden kunnen verklaren. Zo kunnen oceaanstromingen of ondieptes ertoe leiden dat golfenergie geconcentreerd wordt. In de volle oceaan, weg van ongelijke stromingen of onderwaterreliëf, ligt dat iets moeilijker. De Noorse onderzoekers Karsten Trulsen en Kristian Dysthe suggereerden in 1997 dat monstergolven kunnen voortkomen uit een niet-lineaire 'zelfmodulatie' van een traagjes veranderende golfrein. De instabiliteit van een uniforme, golfrein met kleine bandbreedte (de golven die de golfrein vormen hebben frekwenties die dicht bij elkaar liggen) onder invloed van een kleine verstoring in de zijband kan hier als voorbeeld dienen. Deze instabiliteit – in vakkringen bekend als de Benjamin-Feir instabiliteit – kan ertoe leiden dat een golfrein breekt in periodische groepen. Binnen elk van die groepen kan de energie zich bundelen en aanleiding geven tot zeer hoge en steile golven.

Met deze kennis in het achterhoofd startte een Europees consortium – onder de vlag van het EU-project 'MaxWave' – met een doorgedreven studie. Enerzijds probeerde men met allerlei meettechnieken een 'freak wave' als het ware op heterdaad te betrappen of via databanken na de feiten alsnog te registreren. Anderzijds voerde men een diepgaande analyse uit van de meteorologische en oceanografische condities ten tijde van 'onrustwekkende verdwijningen' van schepen, in de hoop zo op gemeenschappelijke motieven te botsen.

Opsporen van 'freak waves'

Klassiek met boeien

Niettegenstaande het MaxWave project ook wel wiskundige formules heeft bedacht ter beschrijving van 'freak waves', zijn de belangrijkste nieuwe inzichten in de dynamiek van het oceaanooppervlak toch vooral afkomstig uit waarnemingen in de oceanen zelf. Traditioneel onderzoekt men 'freak waves' (en golfreinen meer in het algemeen) aan de hand van tijdseries van boeiingen. Deze leveren betrouwbare informatie op over de variatie in de tijd van deze fenomenen op een welbepaald punt in de oceaan. Zo geschiedde ook, binnen het project MaxWave, bij het bestuderen van een aantal stormen die werden geselecteerd op basis van de kennis van scheepsongevallen en de beschikbare informatie m.b.t. abnormaal of onverwacht golfgedrag nabij offshore structuren in de

Definitie van 'freak wave' of 'rogue-wave':

een golf die sterk afwijkt in hoogte en/of vorm van de golven in de onmiddellijke buurt (volgens het Rayleigh distributiepatroon van golfhoogtes); algemeen wordt aangenomen dat 'freak waves' meer dan twee maal zo hoog zijn als de zichtbare golfhoogte in de omgeving (de zogenaamde 'significante golfhoogte') of ook wel, dat de maximale kruinhoogte zich tot deze significante golfhoogte gedraagt in een verhouding van meer dan 1,3

Het EU-project 'MaxWave'

Volgens de gangbare statistische theorie moeten monstergolven wel zeldzaam zijn. Toch blijken er heel wat meldingen te bestaan van 'freak waves' en van hun effecten op schepen en op offshore constructies (bv. Faulkner, 1997; Haver & Andersen, 2000). De noodzaak om abnormale golven beter te kunnen karakteriseren, zowel in functie van de scheepsbouw als ten behoeve van de veiligheid op zee, kwam in september 1998 in Parijs aan bod ter gelegenheid van een conferentie gesponsord door de World Meteorological Organization (WMO) en de Intergovernmental Oceanographic Commission van UNESCO (IOC). Dit thema werd vervolgens in detail uitgewerkt en als projectvoorstel ter goedkeuring voorgelegd aan de Europese Commissie. In november 2000 keurde deze laatste het 'MaxWave' project goed, binnen het 5^{de} kaderprogramma (EVK3-CT-2000-00026).

Van 2001 tot en met 2004 boog MaxWave zich over mogelijke nieuwe ontwerpcriteria voor schepen en offshore constructies, vanuit de impact die 'freak waves' kunnen hebben. Het project bestond uit een consortium van elf Europese partners (waaronder het Laboratorium voor Hydraulica van de KULeuven), bijgestaan door twee geassocieerde expertengroepen met ervaring in resp. oceanografie en marine engineering, en een 'Senior Advisors Panel' (SAP). Deze SAP stond in voor het vertalen van de resultaten naar een breed publiek toe, voor het adviseren bij mogelijke praktische toepassingen en als tussenschakel naar het consortium toe. De partners werden gekozen op basis van hun expertise in het ontwerpen van schepen en offshore constructies, oceanografie en numerieke weersvoorspelling. Tevens opteerde men ervoor om van bij het begin ook de mogelijke eindgebruikers van de resultaten (zoals weersvoorspellers, classificatiebureaus, etc...) te betrekken bij het project. Zondermeer vernieuwend aan dit project was de krachtenbundeling tussen zij die beschikken over de nieuwste oceanografische kennis en gegevensbronnen voor oceaangolven, met de scheepsbouw- en scheepvaartsector. Eén van de belangrijkste doelstellingen van MaxWave was dan ook om aan de belanghebbenden een kwalitatief hoogstaand informatieproduct aan te leveren, dat hen zou kunnen bijstaan bij het inschatten van de risico's op 'freak waves' wereldwijd.

EU Project MaxWave

- Forecasts and Statistics of Rogue Waves
- Investigation of Accidents due to Rogue Waves

Partners:

- GKSS Research Center
- DNMI (Norweg. Met. Inst.)
- DLR
- UK Met. Office
- Instituto Superior Tecnológico
- Meteo France
- Ocean Waves
- K.U. Leuven
- Technical Univ. Berlin
- Det Norske Veritas

<http://w3g.gkss.de/projects/maxwave/>

Het E.U. project MaxWave onderzocht van 2001 tot en met 2004 het voorkomen en de impact van 'freak waves' in de wereldzeeën. Ook het Laboratorium voor Hydraulica van de KULeuven behoorde tot dit selecte clubje experts die dit project tot een goed einde brachten

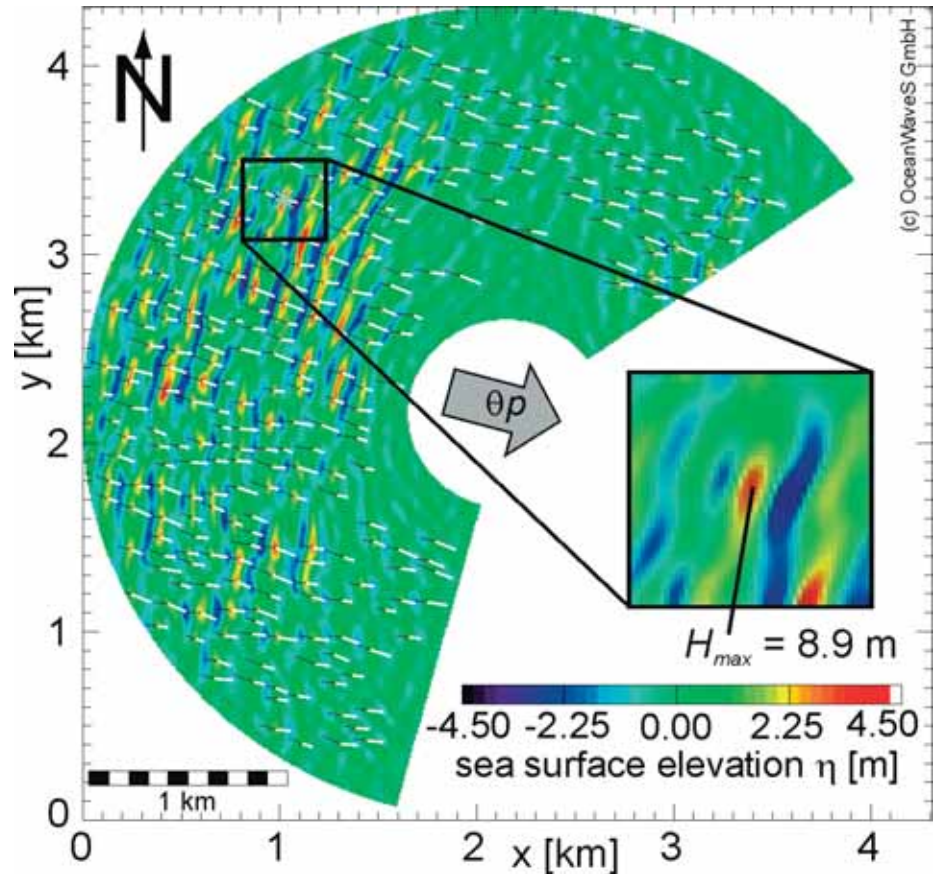
Noordzee. Om afwijkend golfgedrag op het spoor te komen, vergeleken onderzoekers de distributiepatronen van de hoogtes van golfkruin, golfdal en afstand kruin-dal met de standaard verwachte distributiefuncties (in casu: de 'Rayleigh-' en de '2-parameter Weibull' distributiefunctie).

En wat bleek? Op het eerste zicht passen hoge golfkruinen, die een hoogte hebben van meer dan 1,3 x de significante golfhoogte, niet bij de gekozen distributiefuncties. Maar bij nader toezicht konden ze toch voorspeld worden m.b.v. statistische modellen die gebruik maken van een 2^{de} orde theorie (zie noot). Enkel voor de beruchte 'Draupner' golf van 26 m hoogte (waarbij de golfkruin zich verhoudt tot de significante golfhoogte van het omliggende golfveld als een factor 1,5), lukte dit niet.

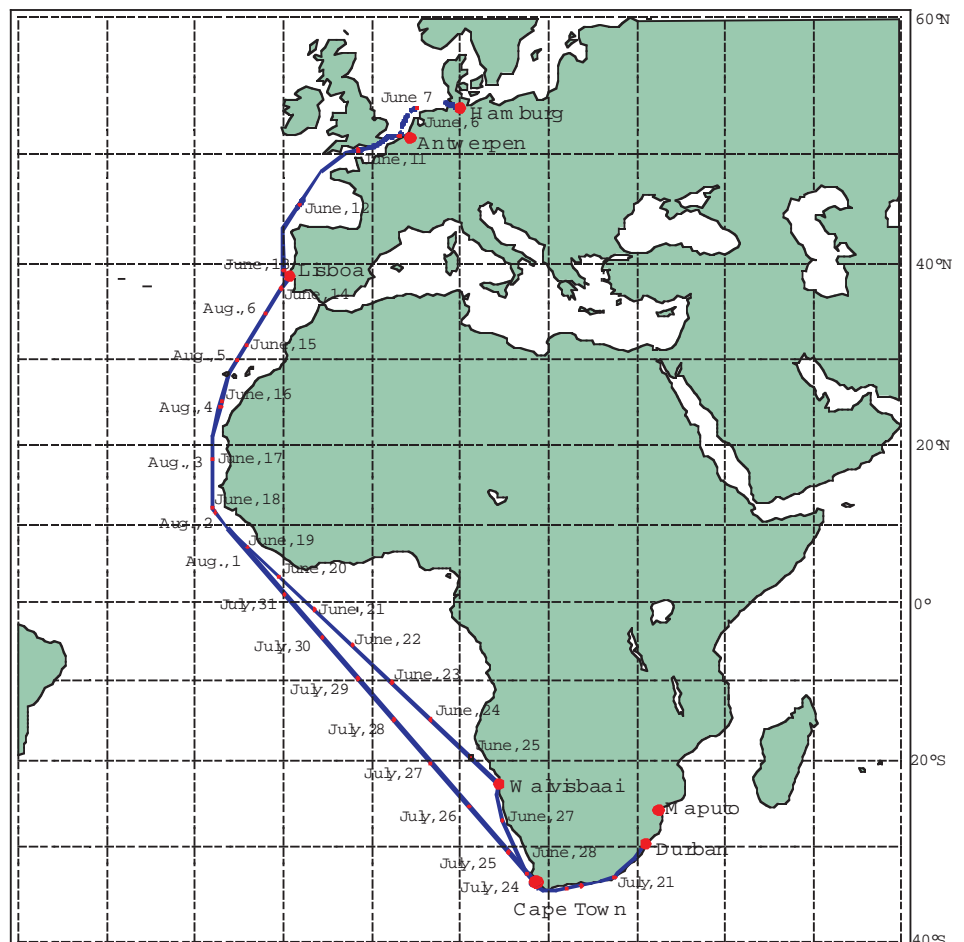
Noot: golven worden traditioneel beschreven door een superpositie van sinusoidale golven (1^{ste} orde, ook lineaire theorie genoemd); deze beschrijving is correct zolang de amplitude van die golven klein is in vergelijking met de golflengte; zodra de amplitude groter wordt en golven dus steiler worden, is de wiskundige benadering met behulp van de lineaire of eerste orde theorie niet langer geldig en moeten termen van hogere orde (niet-lineaire termen) toegevoegd worden om het golfoppervlak nauwkeurig te beschrijven. Hoe steiler de golven, hoe meer hogere orde termen nodig zijn.

De radar in actie

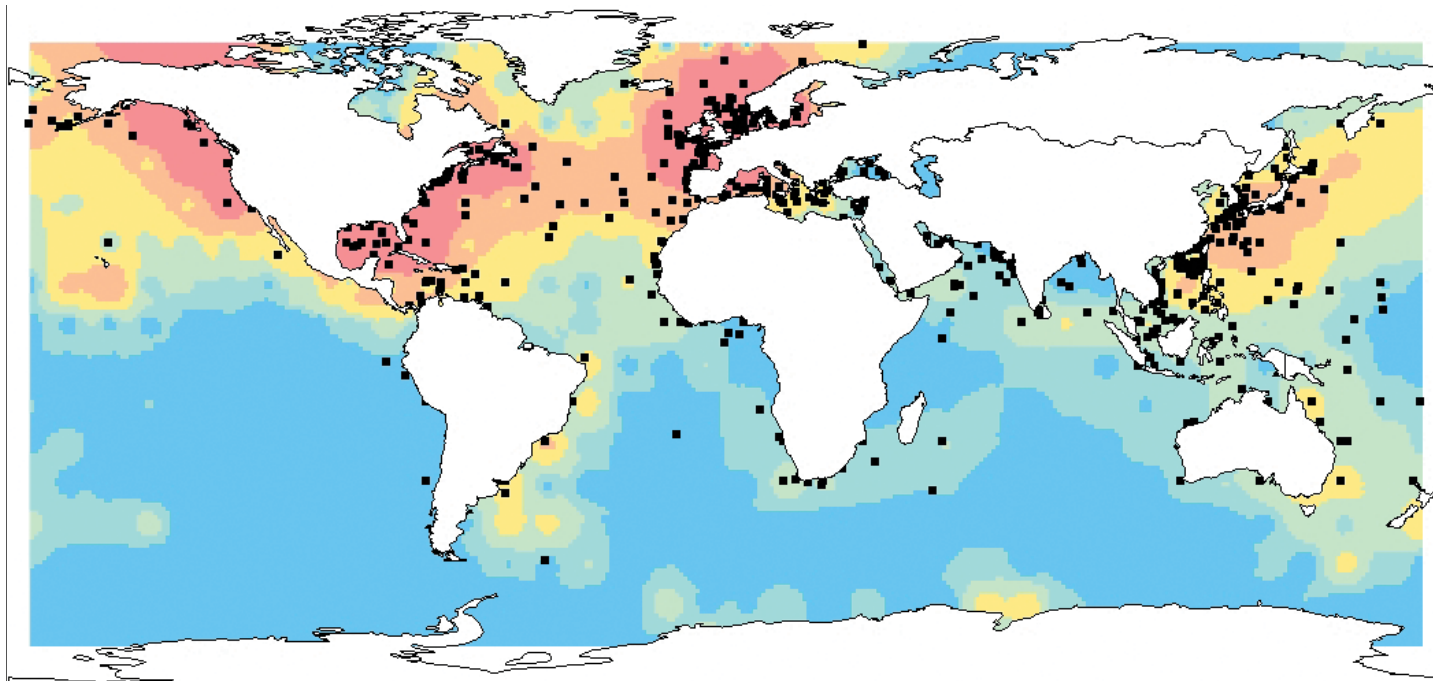
De MaxWave onderzoekers werkten echter niet alleen met golfmeetboeien. Ze screenden ook aandachtig het zeeoppervlak met behulp van twee verschillende types radar: de via satelliet werkende 'Synthetic Aperture Radar' (SAR), en het vanop schepen of boorplatforms operationele 'Wave Monitoring System II' (WaMoSII). De resulterende radarbeelden zijn een functie van verschillende elektromagnetische verstrooiingsmechanismen aan het zeeoppervlak. Ze worden beïnvloed door stromingen, golfopzet, snelheid van waterdeeltjes, lokale windvelden, etc. Ze geven m.a.w. geen direct beeld van de golfhoogte zelf, maar verschaffen informatie over hoe het zeeoppervlak met de radargolven interageert. Om het gedrag van het werkelijke zeeoppervlak te kennen en individuele golven te kunnen onderscheiden, dienen de verkregen beelden te worden bewerkt. Zo verkrijgt men golfhoogtekaarten (bij SAR) of tijdsreeksen van golfhoogtekaarten (bij WaMoS II). Deze zijn dan weer nuttig bij het bestuderen van de gemiddelde toestand van het zeeoppervlak en natuurlijk ook bij het onderzoek van het gedrag van individuele golven, uitzonderlijke golven en golfgroepen.



Met scheepsradars kan – mits enige bewerking – het zeeoppervlak in kaart worden gebracht. Op dit beeld genomen in de Noordzee (Ekofisk) zijn duidelijk gelocaliseerde golfdalen (blauw) en golftoppen (geel-rood) te zien temidden een vrij rustige (groene) zeespiegel (MaxWave, aangeleverd door OceanWaves)



Bij diens reis van Mozambique naar Duitsland van 6 juni tot 6 augustus 2001, verzamelde het containerschip 'Grey Fox' in het kader van het Europese project 'MaxWave' heel wat golfmeetgegevens m.b.v. het WaMoS II systeem (uit eindrapport 'MaxWave' project)



Legend	
ship density	
0.09	13.48 - 26.86
0.10 - 6.78	26.87 - 53.64
6.79 - 13.47	53.65 - 147.36
	147.37 - 1,713.77

The ship density is defined as an index of 100 if 8 call signs are counted in an area of 500 X 500 km² per day.

■	Casualties
□	dissolve Cntry



Call signs were kindly provided by JCOMMOPS. Five years (1995-1999) of ship accidents due to heavy seas were collected from the Lloyd's Marine Information Service

Deze wereldkaart geeft een beeld van de gemiddelde scheepvaartdrukke in de wereldzeeën (kleurschakeringen) en van de geregistreerde scheepvaartongevallen (zwarte vierkantjes) tussen 1995 en 1999 volgens de 'Lloyd's Marine Information Service' databank. Hieruit blijkt dat de scheepvaartdrukke het grootst is aan de Europese en Noord Amerikaanse kusten van de Atlantische Oceaan (incl. de binnenzeeën) en ter hoogte van NW-Amerika en Canada. De 'zwartste' zones qua scheepvaartongevallen zijn ZO-Azië en het NO-Atlantische gebied. Bron: eindrapport MaxWave project

Het grote voordeel van SAR-beelden is dat ze overzichtelijke golfgegevens opleveren van zeer uitgestrekte delen van de oceanen. SAR-systemen aan boord van satellieten kunnen, mits het inschakelen van de gepaste instelling, kenmerken van het zeeoppervlak ontwaren op verschillende ruimtelijke schalen (bv. in 'wave mode': 10 x 5 km²; in 'image mode': 100 x 100 km²; of zelfs nog groter in 'Scan SAR mode' zoals voorzien in de nieuwe Europese satelliet ENVISAT). Tijdens het MaxWave project verzamelde men heel wat SAR-gegevens. Zo analyseerde men extreme golven in de grote oceanen en wereldzeeën aan de hand van 34.000 werelddekkende beelden van ERS-2 genomen in een periode van 27 dagen tijdens de zuidelijke winter. Er werd ook een overeenkomst gesloten met de Europese Ruimtevaart Organisatie om meer gegevens over een lange termijn te verwerken vanuit de ruwe radardata, en om hieruit op termijn een 'Radar Hogben Atlas' te produceren.

WaMoS II is dan weer een operationele golfmeetsensor die, gebruik makend van

een klassieke scheepsradar, metingen 'op afstand' kan uitvoeren. Om langetermijnggegevens te bekomen kunnen dergelijke radarsystemen bevestigd worden aan vaste platformen (bv. het Statoil 'Ekofisk' platform) of op schepen, bij hun doortocht door gevaarlijke zeegebieden. Tijdens het project konden op die manier zeer waardevolle data worden verzameld vanop het containerschip 'Grey Fox', bij diens tochten van Duitsland naar Mozambique (zie kaart pag. 5). Dit gebied van de zuidelijke Atlantische en Indische Oceaan, en meer in het bijzonder het gebied langs de oostkust van Zuid-Afrika waar de Agulhasstroom heerst, wordt gekenmerkt door het frequent optreden van extreme golven. De combinatie van hoge golven en sterke stromingen wordt aanzien als één van de oorzaken van 'freak waves', en kan zo beter bestudeerd worden.

Sleutel tot het geheim van de monstergolven te vinden in scheepsongevallen?

De ongevallen-databank

Het tijdig en nauwkeurig kunnen inschatten van gevaarlijke zeecondities werd als prioriteit naar voor geschoven binnen het MaxWave project. Eén van de belangrijkste resultaten bereikt in het MaxWave project is dat, op voorstel van Météo France, WMO (World Meteorological Organisation) in haar richtlijnen heeft opgenomen dat het gebruik van golfgerelateerde parameters en meer in het bijzonder waarschuwingen voor gevaarlijke zeetoestanden moet gepromoot worden. Daartoe is het nodig de bestaande golfmodellen te verbeteren. Om meer inzicht te verkrijgen in welke parameters belangrijk zijn en vanaf welke waarden sprake is van een gevaarlijke zeetoestand, screenden onderzoekers van het UK Meteorological Office (UKMO) en van de Katholieke Universiteit Leuven zoveel mogelijk scheepsongevallen wereldwijd. Uit de zeer betrouwbaar

geachte 'Lloyd's Marine Information Service' databank werden 650 scheepsongevallen van koopvaardij schepen van 100 ton of meer gelicht die zich voordeden tussen 1995 en 1999 bij slecht weer (Bitner-Gregersen & Eknes, 2001).

Enkele van deze ongevallen maken ook gewag van schade ten gevolge van het optreden van monstergolven. Voor twee dergelijke gevallen liet de UKMO zogenaamde 'hindcasts' draaien, om zo meer inzicht te verkrijgen in de condities op zee ten tijde van het optreden van 'freak waves':

1. De 'Stenfjell' die schade opliep ten gevolge van 'freak waves' tijdens een tocht van Duitsland naar Noorwegen op 26 oktober 1998

2. De 'Schiehallion FPSO' (zie ook hoger) die op 9 november 1998 bij activiteiten ten westen van de Shetland-eilanden rake klappen kreeg van een monstergolf

Deze hindcasts geschieden met een voldoende hoge resolutie, zowel in tijd (30 minuten) als in ruimte (12 km) en maakten gebruik van een zogenaamd 'limited-area' spectraal model voor de NO-Atlantische Oceaan. De 'Benjamin-Feir instabiliteit' (zie hoger) werd naar voor geschoven als mogelijk verklarend mechanisme voor extreme-golf-ontwikkeling. Als dusdanig werd dit gegeven gebruikt om een kenmerkende parameter te ontwikkelen, de zogenaamde Benjamin-Feir index, die zowel kan worden afgeleid uit waarnemingen als uit de output van spectrale golfmodellen.

Uit de kast gehaald voor nader onderzoek: 270 'verdachte' scheepsongevallen

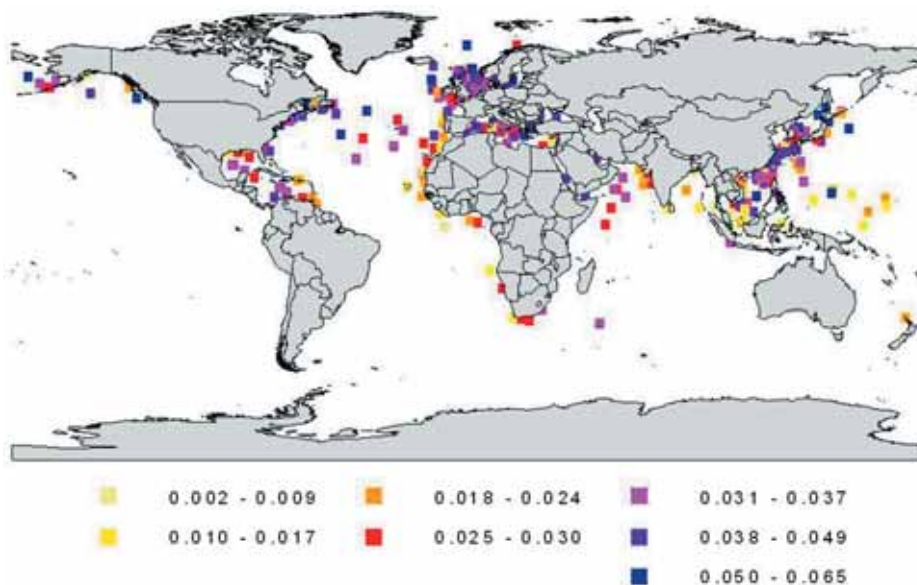
Om nu ook de zones te kunnen aanduiden waar de kans op het voorkomen van monstergolven het grootst is, doken de KULeuven en Météo France in bestaande databanken en haalden er gegevens op over de toestand van de zee op het moment en de plek van 270 'verdachte' scheepsongevallen. Deze gegevens zijn afkomstig uit het ERA-40 archief, dat te consulteren is bij het European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF).

En wat blijkt uit de analyse? 2 op 3 ongevallen deden zich voor bij een significante golfhoogte van minder dan 4 meter! En hoewel er een zekere onderschatting van de zeecondities kan hebben plaatsgevonden ten gevolge van de groffe ruimtelijke resolutie van de voor het ERA-40 project gebruikte golfmodel (1,5 op 1,5°), zijn er uit de analyse van radar-altimetergegevens (van de ERS-1/2 en de Topex-Poseidon missies) sterke aanwijzingen te vinden die bevestigen dat nogal wat ongevallen

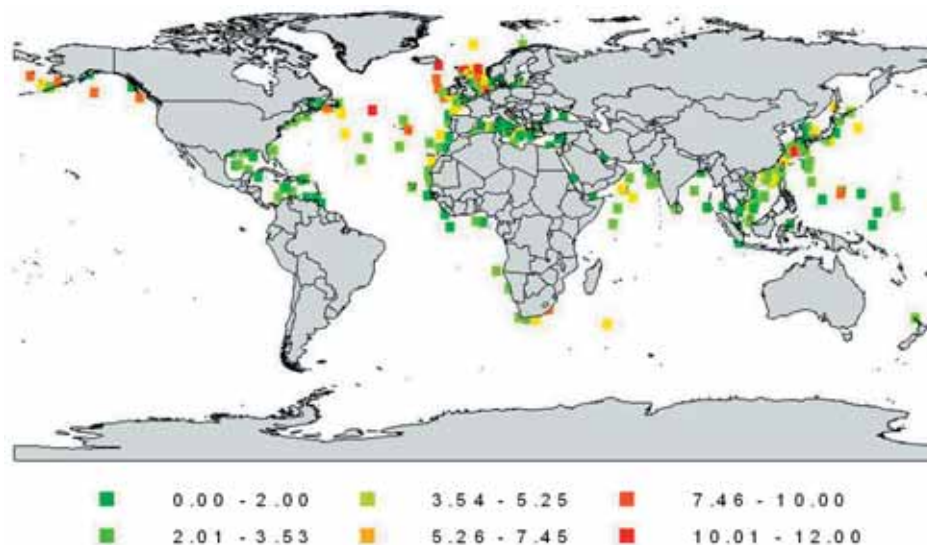
geschiedden bij relatief geringe golfhoogtes. Eerder geringe significante golfhoogtes sluiten immers niet uit dat de golven gevaarlijk steil kunnen zijn, een situatie die niet zonder risico is voor schepen (bv. 'slamming' of het stampen op de golven) en een situatie die o.a. volgens Olagnon en van Iseghem (2000) een verhoogd risico voor extreme golven inhoudt. Net deze steile golven bleken bij heel wat ongevallen (ongeveer 3 op 5) op te treden, een conditie die vaak samengaat met dominante windzeesystemen.

Ook kon worden vastgesteld dat zo'n 45% van de ongevallen zich voordeden bij zogenaamde 'crossing seas'. Dit zijn omstandigheden waarbij ter plekke ontstane windgolven zich verplaatsen in

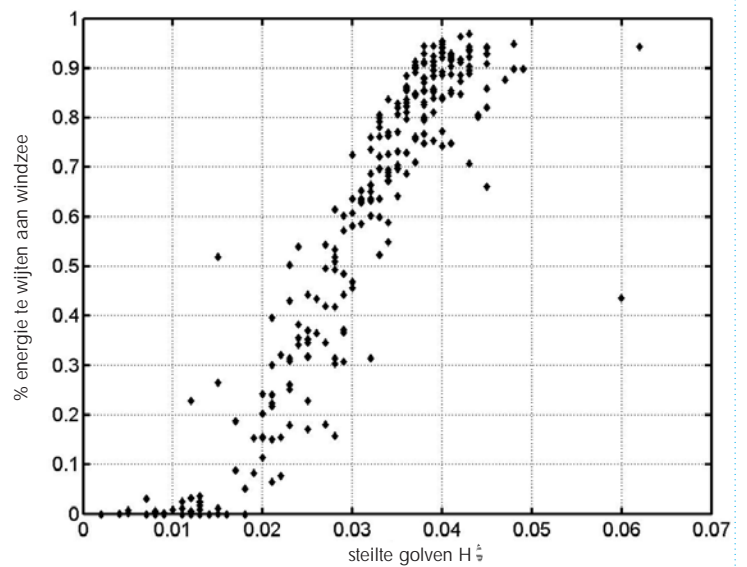
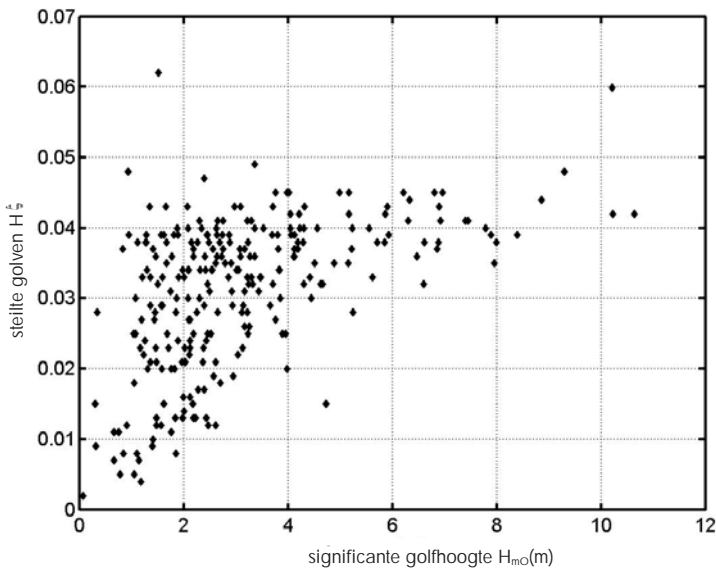
een richting die een hoek vormen met een deining, zelf ontstaan in een verderaf gelegen gebied of tijdstip onder andere windcondities. De globale conclusie luidt dan ook dat de kans op een ongeval ten gevolge van een monstergolf het grootst is in het Noordoost-Atlantische gebied en in ZO-Azië, twee gebieden waar veel scheepvaart gecombineerd wordt met het vaak optreden van zeer steile golven en 'crossing-seas' (zie figuren). Ter hoogte van Zuid-Afrika zorgt de Agulhas zeestroming in combinatie met een ruw golfklimaat voor analoge omstandigheden. Alleen is hier de scheepvaart en dus het risico op ongevallen een stuk kleiner dan in hogergenoemde gebieden.



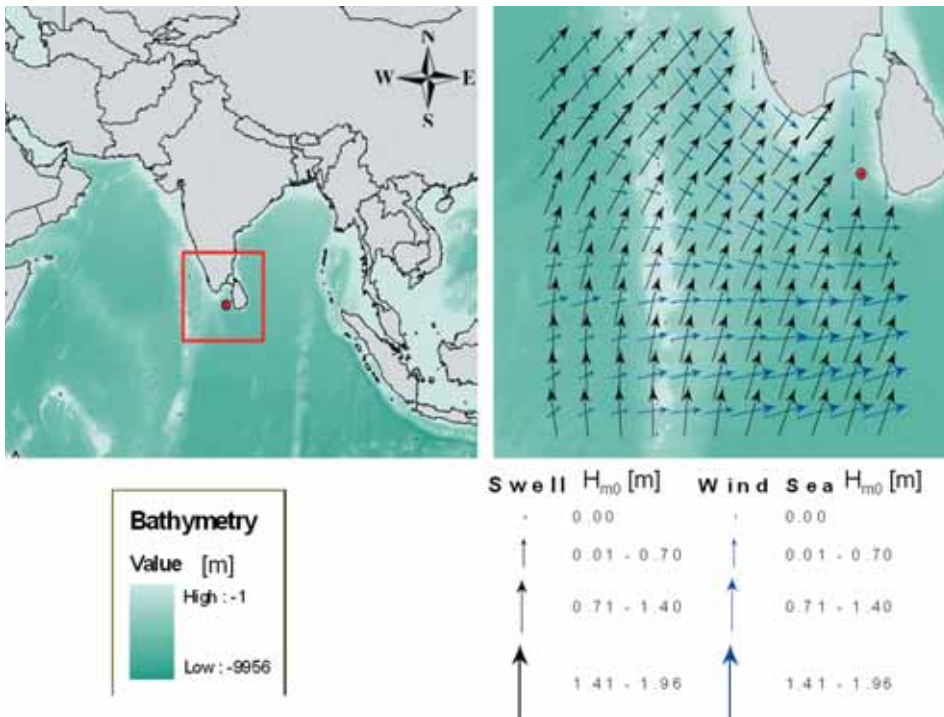
Uit een analyse van 270 'verdachte' scheepsongevallen wereldwijd blijkt dat minstens de helft van de rampen zich voordeden bij opvallend steile golfcondities (uit MaxWave eindrapport)



Bij een analyse van 270 'verdachte' scheepsongevallen wereldwijd bleek dat 2 op de 3 ongevallen zich voordeden bij significante golfhoogtes van minder dan 4 meter, condities die op zich geen probleem mogen vormen voor grotere zeeschepen. Golfhoogte alleen kan dus onmogelijk verklaren waarom een aantal schepen ongemerkt van het oceaanoppervlak verdwijnen (uit MaxWave eindrapport)



Uit een analyse van de golfgegevens op de plaats en het tijdstip van 270 'verdachte' scheepsongevallen blijkt dat: (a) steile en dus gevaarlijke golven reeds kunnen optreden bij relatief geringe significante golfhoogtes; je hoeft dus niet per se zeer hoge golven te hebben om gevaarlijke condities voor schepen te verkrijgen; (b) het soort steile golven waarvan sprake voor een belangrijk deel toe te schrijven zijn aan windzeeeën (uit MaxWave eindrapport)



De figuur illustreert een zogenaamde 'crossing sea', waarbij t.h.v. de zuidpunt van India een deining uit Z-ZW (zwarte pijlen) dwars met windgolven uit W-NW (blauwe pijlen)(LH)

Consequenties voor de scheepsbouw en voor offshore constructies

Hoewel uit bovenstaand relaas blijkt dat reeds heel wat vorderingen zijn gemaakt bij het verklaren van monstergolven, is het mechanisme zeker nog niet volledig ontluisterd. Toch is het belangrijk dat nu reeds informatie over de trefkans en vorm van monstergolven wordt aangeleverd aan ontwerpers en operatoren van schepen en offshore constructies. Dit laat hen toe om a.d.h.v. tijdseries van golven (incl. optredende mega-golven) hun ontwerpen zo goed en kwaad mogelijk aan te passen aan een mogelijk opduikende 'freak wave'. Ook kan men analyseren hoe reuzegolven ontstaan door ze op schaal na te bootsen in golftanks en vervolgens – zowel experimenteel als via modelberekeningen – na te gaan wat de krachten zijn die ze uitoefenen op constructies en schepen.

Naar een veiligere toekomst

Zowel de scheepvaart als de offshore industrie zijn vragende partij voor een verdere opwaardering van de nauwkeurigheid van data en modellen t.b.v. ontwerp en operationaliteit. De standaarden en richtlijnen zijn in volle ontwikkeling en vereisen hoog-kwalitatief onderzoek. Gedurende de laatste twee decennia heeft een probabilistische analyse in belangrijke mate bijgedragen tot de verbetering van verschillende modellen en tot het kwantificeren van de onzekerheden van data en modellen.

Ook extreme golfcondities zijn onderwerp van gesprek geworden bij het ontwikkelen van criteria voor ontwerp en onderhoud van schepen en offshore constructies. Noorwegen vereist voor zijn boorplatforms bijvoorbeeld dat ze bestand zijn

Van waarneming tot voorspelling?

Om deze bevindingen wat in perspectief te kunnen plaatsen, werd het gemiddelde maandelijks golfklimaat – zo dicht mogelijk bij de ongevallenlocaties – berekend op basis van de gegevens uit het ERA-40 archief (zie hoger). Door op die manier de waarschijnlijkheid te berekenen van het voorkomen van een bepaalde golfstoestand gegeven het golfklimaat, kan de wetenschap bijdragen aan het vastleggen van drempelwaarden voor waarschuwingscriteria. Uit de analyse bleek alvast dat de meeste ongevallen zich niet hadden voorgedaan bij gemiddelde lokale golf-

condities maar eerder bij condities overeenkomend met 0,8 à 0,9 kwantielen.

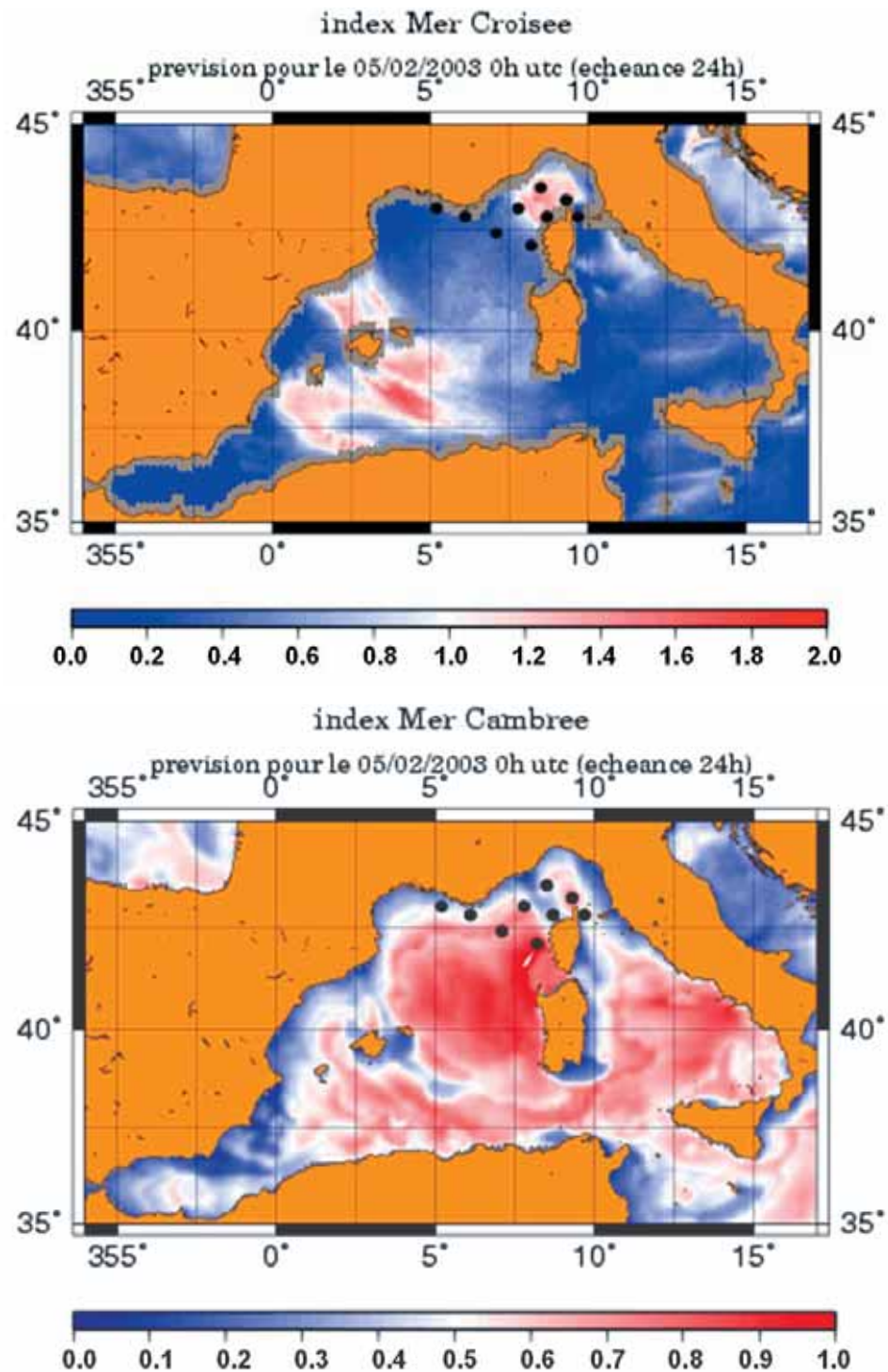
Om de relevantie van de parameters en de hieraan verbonden drempelwaarden verder te testen, loopt momenteel een oefening in het Middellandse Zeegebied. Op initiatief van Météo France gaan scheepskapiteinen na hoe zinvol het gebruik van een 'crossing sea index' of een 'steilheidsindex' kunnen zijn bij het bevaaren van mogelijk gevaarlijke zeegebieden.

tegen een '10.000 jarige golf' (d.i. het type reuzegolf dat gemiddeld slechts éénmaal om de 10.000 jaar voorkomt). Anderzijds is er nog geen consensus binnen de offshore industrie over welke golfmodellen dienen te worden gebruikt ter voorspelling van monstergolven, kritische parameters en design scenario's.

Momenteel moeten we ook vaststellen dat – niettegenstaande de recente aandacht voor monstergolven en de bijhorende onderzoeksinspanning – het fenomeen nog niet expliciet wordt meegenomen in de scheepsontwerpregels van de classificatiebureaus. Het project MaxWave heeft echter wel het belang aangetoond van het gebruik van computercodes in het tijdsdomein. De tijdstap in dit soort computermodellen is aanzienlijk kleiner dan de periodes van de golven die op het schip werken, zodat elke individuele golf en de daaruitvolgende belasting expliciet kan berekend worden. Ook is aangetoond dat de nog steeds beperkte kennis over monstergolven in de bestaande ongevallendatabanken deels kan gecompenseerd worden door gebruik te maken van de nieuwste analysetechnieken voor de betrouwbaarheid van structuren. De huidige methodologie voor de bepaling van het veiligheidsniveau biedt het vereiste kader bij de ontwikkeling van codes van goede praktijk die een evenwicht nastreven tussen economische haalbaarheid en minimum gegarandeerde veiligheid. Hoewel het project MaxWave dus reeds een significante bijdrage heeft kunnen leveren tot het begrijpen van 'freak waves', is duidelijk nog heel wat extra onderzoek vereist vooraleer deze golven ook ten volle zullen doordringen tot de praktijk van de scheepsbouw, en vooraleer het fenomeen in al zijn facetten zal zijn drooggelegd.

Bronnen

- * Benjamin, T.B., and Feir, J.E., 1967: The disintegration of wave trains on deep water. Part 1: Theory. *J. Fluid Mech.*, 27, 417-430.
- * Dean, R.G., 1990: Freak Waves: A possible explanation. *Water Wave Kinematics*, A. Troun and O.T. Gudmestad, Eds., Kluwer, 609-612.
- * Faulkner, D., Buckley, W.H., 1997: Critical Survival Conditions for Ship Design. *Proceeding of the 1st Int. Conf. Design and Operation for Abnormal Conditions*, Glasgow, 21-22 Oct., 1997.
- * Haver, S., Andersen, O.J., 2000: Freak Waves – Rare Realization of a Typical Population or Typical Realizations of a Rare Population?. *Proceeding of the Tenth (2000) International Offshore and Polar Engineering Conference*, Seattle, USA, May, 2000.
- * Olagnon, M., Van Iseghem, S., 2000: Some cases of observed rogue waves and attempts to



Binnen het project MaxWave engageerde Météo France scheepskapiteinen om in de Middellandse Zee de bruikbaarheid van golfklimaatindices te testen. In bovenstaande figuren is een index voor de kans op het optreden van 'crossing seas' (boven) en van zeer steile golven (onder) weergegeven voor een welbepaalde datum. Als blijkt dat deze indices inderdaad nuttig zijn bij het voorspellen van gevaarlijke zeecondities zal de scheepvaart er een belangrijk nieuw instrument bij hebben (uit MaxWave eindrapport)

- characterize their occurrence conditions. *Proceeding of the Rogue Waves 2000 Conference*, Brest, France, 29-30 November, 2000.
- * MaxWave, 2003: *Rogue Waves – Forecasts and Impacts on Marine Structures*. Project Number: EVK3-CT-2000-00026.
- * Trulsen, K., Dysthe, K., 1997: *Freak Waves – a three dimensional wave simulation*. *Proceeding of the 21st Symposium on Naval Hydrodynamics*, E.P. Rood, Ed., National Academy Press, 550-558.

- * Toffoli, A., Lefevre, J.M., Monbaliu, J., Bitner-Gregersen E., 2004: *Dangerous Sea-State for Marine Operations*. *Proceeding of the Fourteenth (2004) International Offshore and Polar Engineering Conference*, Toulon, France, 24-28 May, 2004.

Alessandro Toffoli & Jaak Monbaliu
Laboratorium voor Hydraulica
Katholieke Universiteit Leuven