



1. Patroon met zonneglinstering bij noordoostenwind achter de Kaapverdische Eilanden in de Atlantische Oceaan ten westen van de Afrikaanse kust. Opname van de MODerate Imaging Spectroradiometer (MODIS) van de Amerikaanse satelliet Aqua; 7 maart 2003.

**Satellieten bewaken atmosfeer, landoppervlakken en oceanen overal ter wereld. Dat levert van tijd tot tijd fascinerende beelden op van zonovergoten eilanden op afgelegen locaties ver weg in de oceaan, zoals bijgaande satellietbeelden laten zien. Meestal liggen de eilanden in een donkergetinte oceaan. Oceaanwater reflecteert namelijk relatief weinig zonlicht. Soms zijn de eilanden echter omgeven door een zilverkleurige schittering, die het zonnige karakter nog eens extra benadrukt; dat is bijvoorbeeld het geval in de hierbij afgebeelde situaties, waarbij de eilanden een spoor door het oceaanwater lijken te trekken. Opvallend is dat de Bovenwindse Eilanden in de Caribische Zee een donker spoor trekken (fig. 2), terwijl het zog van de Kaap Verdische Eilanden in de Atlantische Oceaan voor de kust van Afrika zilverwit is (fig. 1)**

## Schitterend zeewater rond zonovergoten eilanden

**D**e zilveren banden op de oceaan zijn een gevolg van schitteringen van zonlicht in het oceaanwater. Beelden van weersatellieten vertonen dergelijke weerspiegelingen geregeld. De reflecties zijn zichtbaar als heldere plekken of banen op een donkere achtergrond. Deze achtergrond is boven zeeën en oceanen donker, doordat water slechts ongeveer tien procent van het opvallende zonlicht terugkaatst. De heldere plekken ontstaan alleen als aan de volgende voorwaarde is voldaan: satelliet en zon moeten de juiste positie hebben ten opzichte van het wateroppervlak om de zonnestralen zo van richting te veranderen dat ze de sensor van de satelliet kunnen bereiken.

### Golvend wateroppervlak

Een volkomen gladde zee fungeert als een vlakke spiegel; in dat geval beslaan de reflecties van het zonlicht een klein cirkelvormig gebied en zijn ze uitzonderlijk helder. Meestal is het wateroppervlak echter gerimpeld,

wat er in de praktijk op neerkomt dat er niet één aaneengesloten spiegelend oppervlak is, maar dat in een bredere strook van elke golf een deel de juiste stand kan hebben om reflecties in de richting van de satelliet-sensor mogelijk te maken. Binnen het cirkelvormige gebied waar bij windstil weer een felle reflectie op zou treden, resulteert dit in een afname van de intensiteit van het weerkaatste zonlicht. Buiten het weerkaatsingsgebied-bij-spiegelgladde-zee bevinden zich nu echter eveneens golven die maken dat een deel van het wateroppervlak de juiste oriëntatie heeft om reflecties op het satellietbeeld te veroorzaken. Uiteindelijk toont het beeld daardoor een minder felle, maar bredere witte of zilverkleurige band: de zone met zonneglinstering.

### Tegengestelde effecten

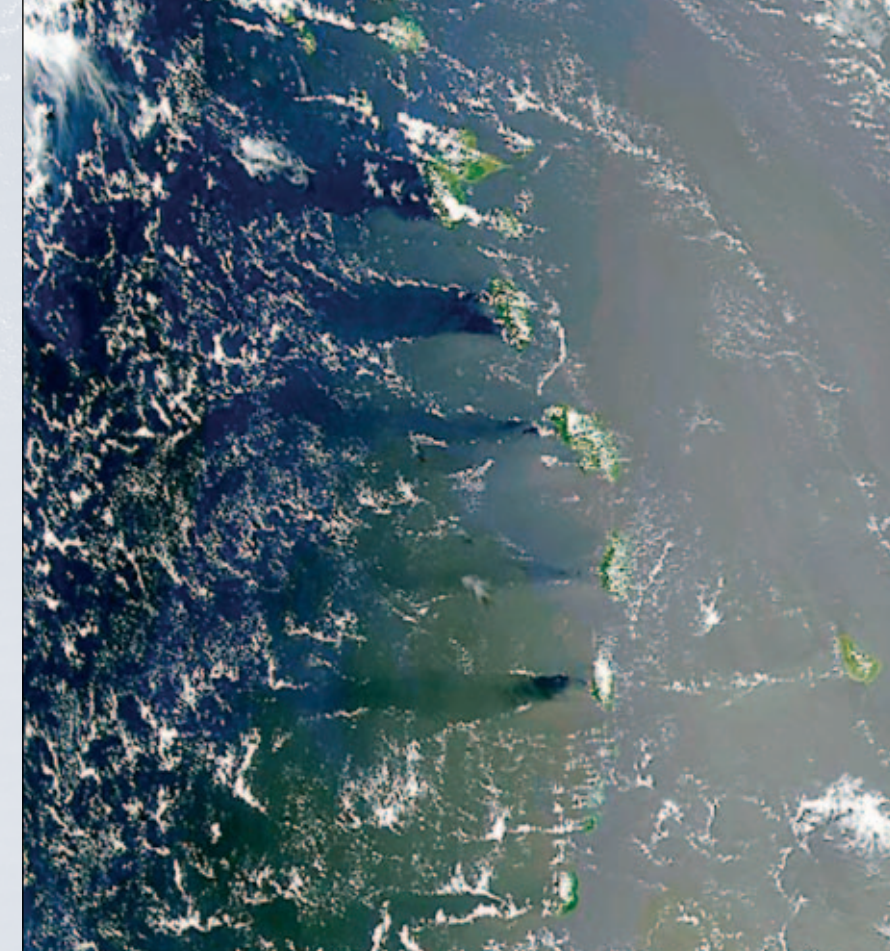
De rechterhelft van figuur 2 maakt deel uit van zo'n band met zonneglinstering; het zeewater is er aanzienlijk lichter van tint dan aan de linkerrand. Links

van de eilanden op het satellietbeeld is het patroon met lichtschitteringen echter onderbroken. In de luwte van de eilanden staat minder wind; de golven zijn er kleiner en in dit geval niet hoog genoeg meer om nog weerspiegelingen van zonlicht te kunnen veroorzaken.

De verstoringen in het patroon met zonneglinstering in de luwte van eilanden in de oceaan hebben in de situatie van figuur 1 juist een tegenovergesteld effect. Nu is het zeewater achter de eilanden lichter van tint dan ertussen. Kennelijk is de oceaan tussen de eilanden te ruw om geschikte reflecties op te leveren. In de luwte achter de eilanden is het rustig genoeg om een lichtgolvend zeeoppervlak te krijgen met voldoende geschikte golfhellingen voor het weerkaatsen van zonlicht naar de sensor van de satelliet.

Meer voorbeelden van weerspiegelingen van zonlicht zijn te vinden in de nu volgende artikelen 'Weerspiegelingen vormen afspiegeling van satellietbaan' en 'Zonneglinstering maakt interne oceaangolven zichtbaar'.

2. Verstoringen in het patroon met zonneglinstering achter de Bovenwindse Eilanden in de Caribische Zee. Opname van de Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) van de Amerikaanse satelliet OrbView-2, 18 juli 1998.



## Weerspiegelingen vormen afspiegeling van satellietbaan

**Van tijd tot tijd tonen satellietbeelden weerspiegelingen van zonlicht in zeeën, in oceanen en op oppervlaktewateren boven land (zie het voorgaande artikel). De weerspiegelingen hebben gewoonlijk de vorm van een langgerekte streep of band. De oriëntatie van die banden is niet altijd dezelfde; de oorzaak daarvan ligt in verschillen in de baan die de satelliet volgt.**

**D**e beelden van figuur 1 (blz. 122) zijn afkomstig van NOAA-satellieten die op 833 km hoogte een bijna cirkelvormige baan om de aarde volgen die min of meer over de polen loopt. De banen hebben een vaste oriëntatie ten opzichte van de sterren; een omloop duurt ruim honderd minuten. In die tijd draait de aarde onder de satellietbaan door, zodat het spoor van een baan 25 graden meer naar het westen ligt dan dat van de vorige overkomst. De banen zijn zo gekozen dat de satelliet de evenaar steeds op dezelfde plaatselijke tijd passeert; om te compenseren voor de draaiing van de aarde rond de zon, schuift de baan dus elke dag 0,986 graden op (overeenkomend met 360 graden in 365 dagen).

Door de overkomst steeds rond dezelfde tijd treden op satellietbeelden van opeenvolgende dagen nauwelijks veranderingen op in de belichting van het aardoppervlak door de zon; de beelden kunnen daardoor gemakkelijker met elkaar vergeleken worden. Elke ochtend verschijnt de satelliet vanuit het noorden om na overkomst in zuidelijke richting te verdwijnen. Na een halve omwenteling van de aarde kunnen we de satel-

liet opnieuw zien overkomen, ditmaal trekt hij van zuid naar noord.

Het diagram van figuur 2 (blz. 123) laat zien hoe een waarnemer op de draaiende aarde de satellietbanen waarneemt. In de figuur is te zien dat de satelliet nu eens van noord naar zuid overkomt (de ochtendbaan), dan weer in tegenovergestelde richting (de avondbaan). Het diagram toont eveneens dat de noord-zuidbanen een andere oriëntatie hebben dan de tegenovergesteld gerichte banen.

### Reflecties boven Nederland

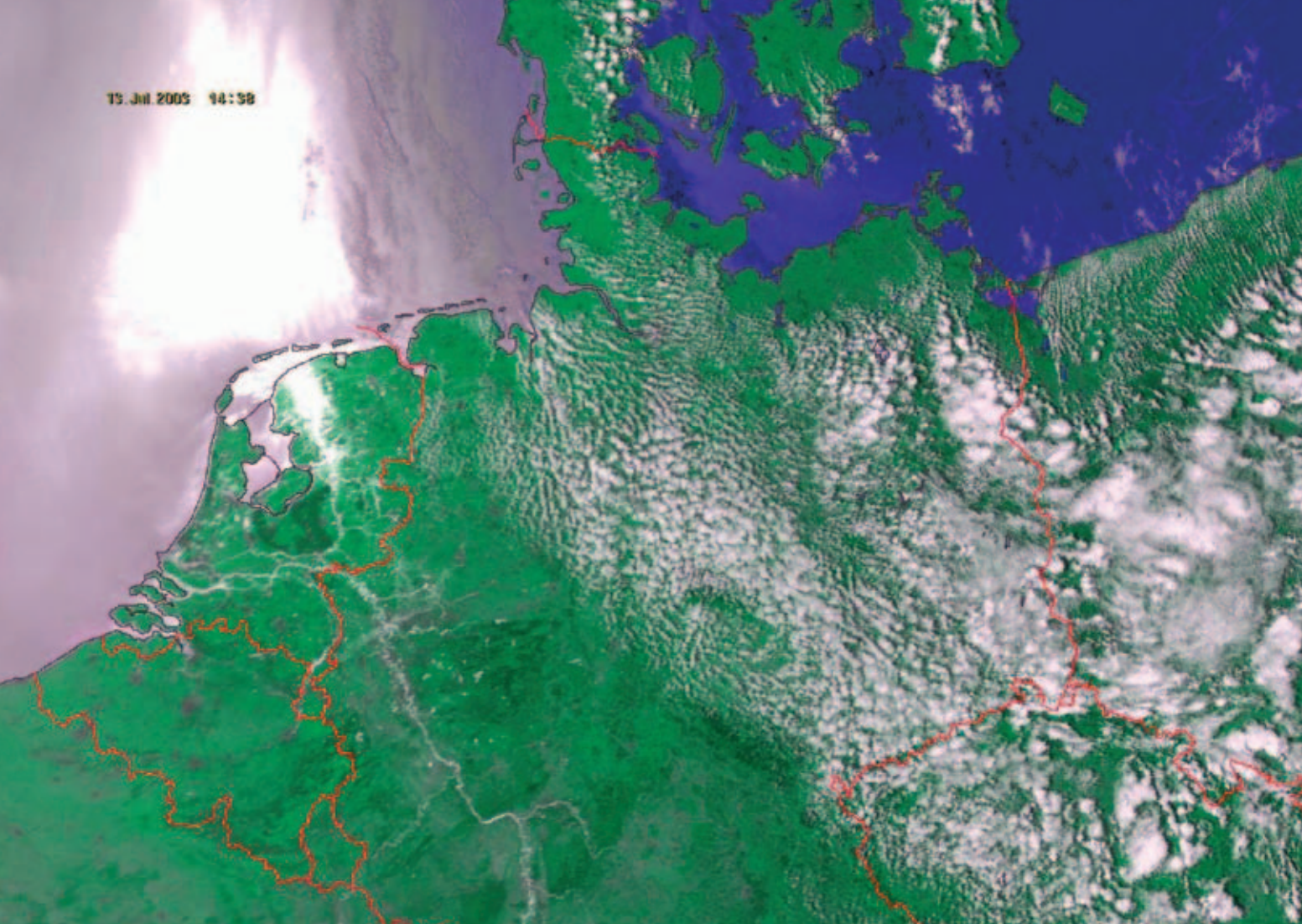
De oriëntaties van de felle strepen met gereflecteerd zonlicht komen vrijwel overeen met de oriëntaties van de banen in figuur 2. De positie van de zon verandert namelijk nauwelijks tijdens het vastleggen van het satellietbeeld. Vanuit de satelliet gezien lijkt het of de zon, en dus ook het spiegelbeeld van de zon, meereizen. Dit effect treedt ook op wanneer we de zon of de maan vanuit een rijdende auto of trein bekijken; we zien het hemellichaam steeds in dezelfde richting, dus beweegt het schijnbaar met ons mee.

**Kees Floor\***

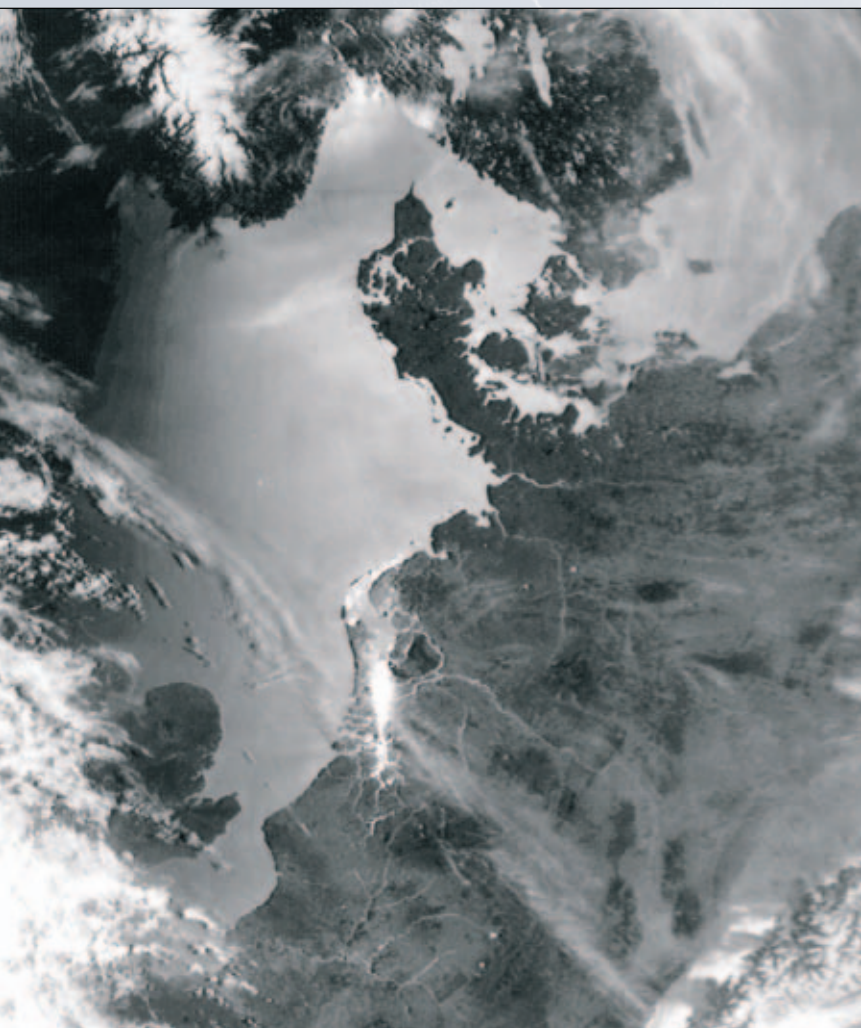
\* Kees Floor is hoofd van de afdeling Meteorologische Opleidingen van het KNMI in De Bilt.

**Kees Floor\***

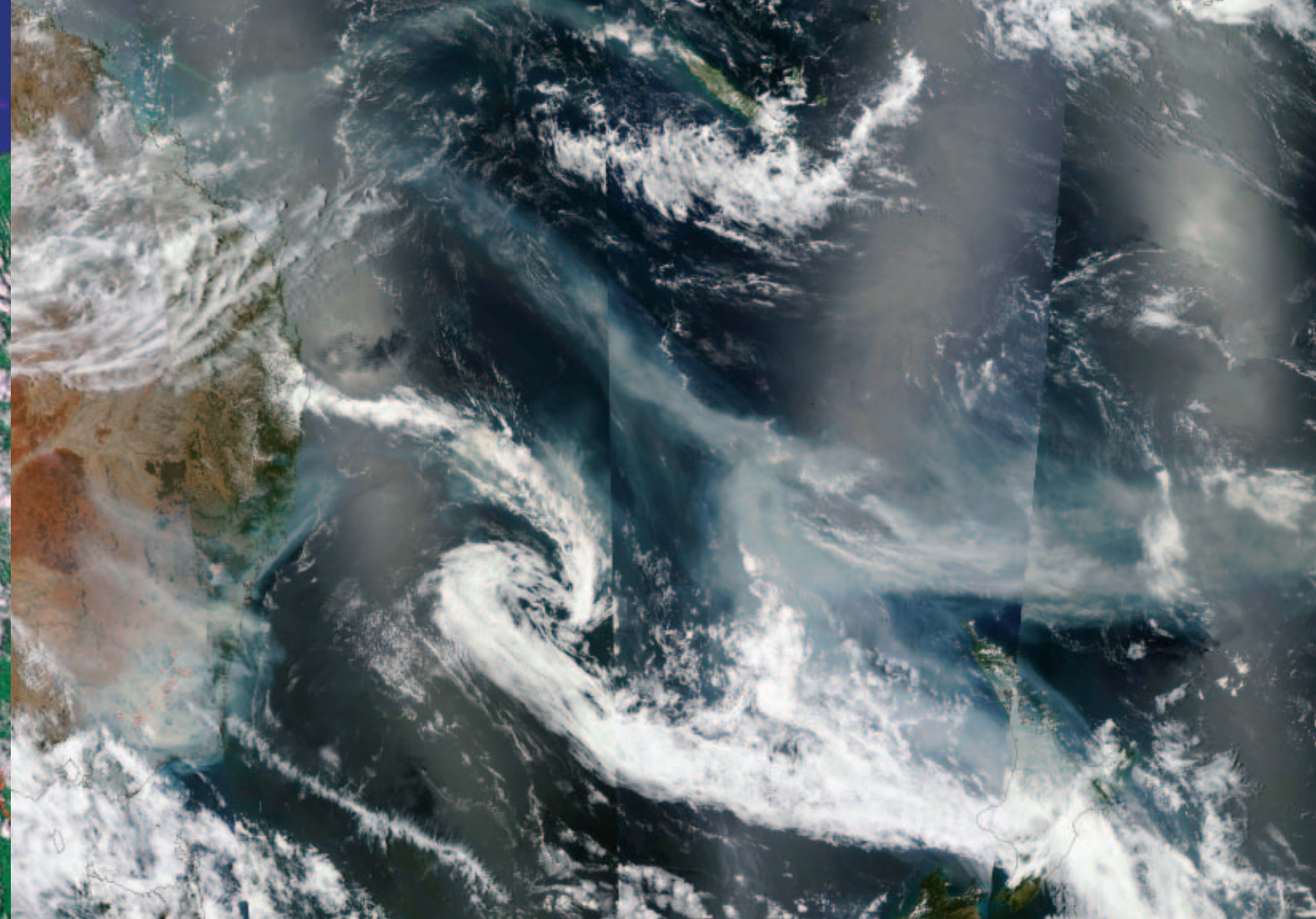
\* Kees Floor is hoofd van de afdeling Meteorologische Opleidingen van het KNMI in De Bilt.



1. Satellietbeelden met onder andere weerspiegeling van zonlicht boven Nederland: (onder) tijdens een ochtendbaan, 7 juni 1987 (AVHRR; NOAA/KNMI) en (boven) tijdens een middagbaan, 13 juli 2003 (AVHRR; NOAA/DLR).



De oriëntatie van de zonnerreflecties boven Nederland in het satellietbeeld van de foto links spoort met de richting van de noord-zuidbanen, de ochtendbanen dus, in figuur 2. Het gaat hier inderdaad om een ochtendbaan; het satellietbeeld is van 7 juni 1987 rond 8,30 UTC en werd gebaseerd op data afkomstig van een Amerikaanse polaire NOAA-weersatelliet. De Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) op de satelliet gaf die ochtend de meetwaarden door aan het satellietontvangstation van het KNMI in De Bilt. Voor de presentatie van figuur 1 werden de gegevens gebruikt van het zichtbaarlichtkanaal van het meetinstrument. Het satellietbeeld van de foto hierboven heeft betrekking op de situatie van 13 juli 2003 's middags en is eveneens gebaseerd op NOAA-data. De AVHRR-meetwaarden werden in dit geval bewerkt op het DLR in Oberpfaffenhofen (Duitsland). Daar werden meetwaarden van het zichtbaar licht, het nabij-infrarood en het infrarood gecombineerd, gecorrigeerd voor vervormingen, 'ingekleurd' en, om een betere oriëntatie mogelijk te maken, voorzien van kustlijnen (blauw) en landsgrenzen (rood). Op de aldus bewerkte satellietbeelden is bij onbewolkt weer de zee blauw en het land groen of bruin, afhankelijk van de vegetatie. Koude bewolking is wit, warmere bewolking geel, terwijl doorschijnende sluierbewolking en zeer koude landoppervlakken blauwe tinten krijgen. Op het satellietbeeld is het aantal tinten beperkt: de zee is blauw, het land groen en de bewolking wit. De kleuren van het water van de Noordzee, de Waddenzee en



3. Satellietbeeld met onder andere weerspiegeling van zonlicht boven de Stille Oceaan (rechts). De banden met zonneglinstering hebben verschillende oriëntaties (MODIS).

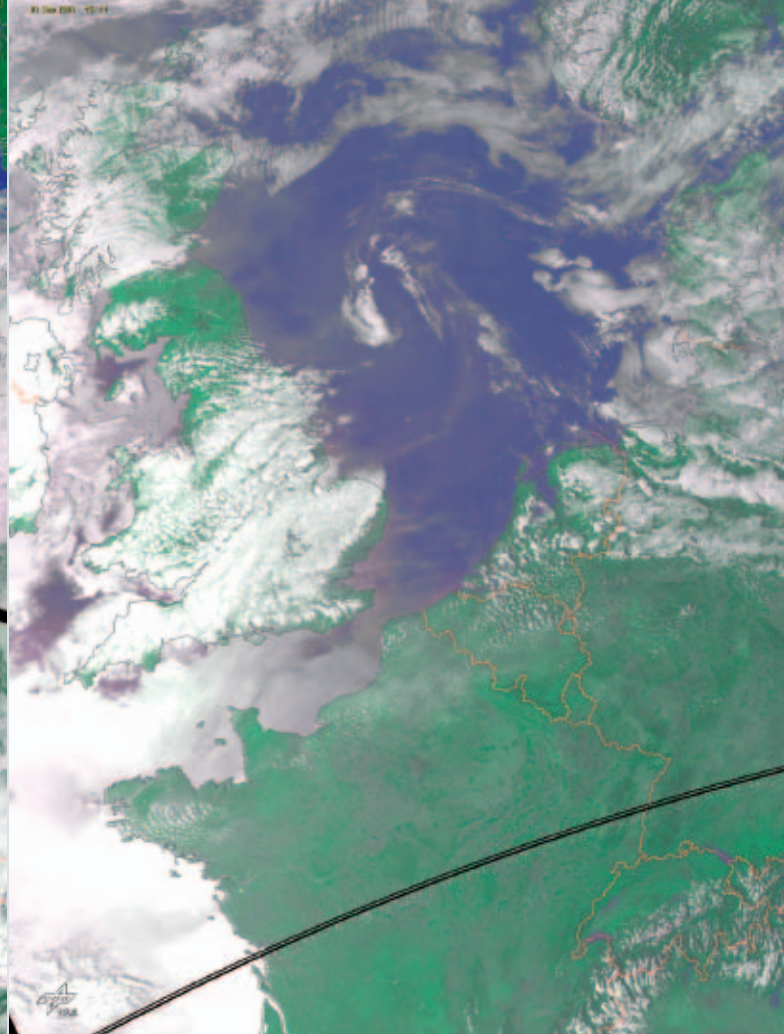
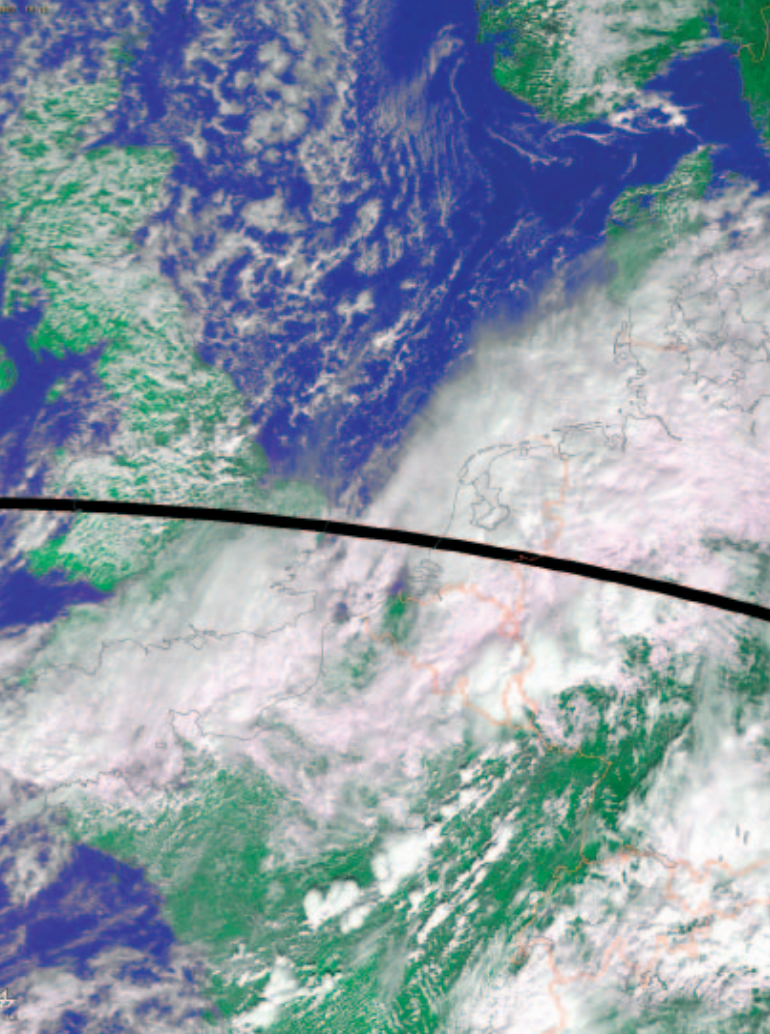
het IJsselmeer vormen hierop echter een uitzondering; de van oorsprong blauwe tint is 'aangetast' door zonneglinstering. Hoewel deze reflecties van zonlicht uitsluitend geregistreerd kunnen worden in het zichtbaar licht en het nabij-infrarood, (dus niet in het infrarood zelf), werken ze zeer duidelijk door in het eindresultaat. Vooral op het gedeelte van de Noordzee ten noorden van de Nederlandse Waddeneilanden, op de Waddenzee en boven de waterrijke streken van Friesland en de kop van Overijssel is de zonneglinstering nadrukkelijk aanwezig. Boven land is de oriëntatie van de heldere strook met zonneglinstering het best vast te stellen; ze wijkt af van de richting in de foto links en spoort ditmaal met de richting van de middagbanen zoals getoond in figuur 2.

#### Terra en Aqua

Ook uit figuur 3 is af te leiden dat verschillen in satellietbanen terug te vinden zijn in verschillende oriëntaties van de band met zonneglinstering. De figuur toont het oosten van Australië, Nieuw-Zeeland en het omliggende zeegebied. Het satellietbeeld is van 19 januari 2003, toen de oostkust van Australië op grote schaal door bosbranden werd geteisterd (zie *Zenit*, maart 2003, blz. 116 e.v.). De rookpluim van de branden waaiert duizenden kilometers uit over de Stille Oceaan. De figuur is gebaseerd op satellietdata van de Amerikaanse satellieten Terra en Aqua, die beide zijn uitgerust met onder meer een Moderate Imaging Spectroradiometer (MODIS). Deze satellieten van het Earth Observation System (EOS) volgen



2. Banen van polaire satellieten; de oriëntatie van noord-zuidbanen in de ochtend wijkt af van die van zuid-noordbanen in de middag.



1. Inwendige golven in de Rode Zee tussen Egypte en Saoedi-Arabië. Verschillen in de ruwheid van het zeeoppervlak veroorzaken verschillen in de mate waarin zonlicht wordt weerspiegeld; daardoor zijn de inwendige golven zichtbaar geworden. (Instrument: MODIS; satelliet: Terra; datum: 26 juli 2003, ochtendbaan; bron: NASA)

4. Satellietbeelden met storingen tijdens de ontvangst van een ochtendbaan, 29 augustus 2003 (links) en een middagbaan, 3 september 2003 (rechts). De strepen geven de scanrichting aan, loodrecht op de baan van de satelliet; ze hebben verschillende oriëntaties. De lichte tint van Het Kanaal en de Golf van Biskaje wordt veroorzaakt door zonneglinstering

evenals de NOAA-satellieten van figuur 1, een polaire baan. Ze bevinden zich echter wat lager: ongeveer 705 km boven het aardoppervlak. Terra heeft een ochtendbaan, Aqua komt in de middag over.

Een strook die wordt afgebeeld tijdens een overkomst van de satelliet is ook nu weer verschoven naar het westen in vergelijking met een voorgaande baan. Ditmaal sluiten de gebieden die in beeld gebracht worden door één satelliet niet goed aan; daarom zijn gegevens van twee ochtendbanen van de Terra (van links af de eerste en derde strook) en twee middagbanen van de Aqua (de andere stroken) gecombineerd tot één satellietbeeld. De data van de derde strook met onder andere het Zuidereiland van Nieuw-Zeeland, werden in de ochtend van 19 januari het eerst ingewonnen, enkele uren daarna kwamen die van de naar het westen opgeschoven eerste strook met onder andere Tasmanië en een deel van Australië. In de middag volgden de data van de Aqua voor strook 4 met het Noordereiland van Nieuw-Zeeland en de ten westen daarvan gelegen strook 2.

De zilverkleurige banden met weerspiegelingen van zonlicht zijn zichtbaar op strook 3, afkomstig van de Terra, en strook 4, afkomstig van de Aqua. Duidelijk is het verschil in oriëntatie te zien: van noordoost naar zuidwest op strook 3 en van zuidoost naar noordwest op strook 4.

#### Storingen

Het verschil in oriëntatie van de ochtend- en de middagbanen van polaire satellieten is niet alleen af te

leiden uit de richting van de weerspiegelingen van zonlicht in oppervlaktewater boven land of in het water van de oceanen. Ook bij storingen in de satelliet, de ontvangstapparatuur of de communicatie tussen beide worden de verschillen zichtbaar. Indien zo'n storing optreedt, komen geen gegevens binnen. Als gevolg daarvan lopen er, afhankelijk van de manier waarop de beeldbewerking plaatsvindt, witte of zwarte 'strepen' door het satellietbeeld. Elke streep toont het gebied dat de satelliet tijdens de duur van de storing in kaart had moeten brengen en is opgebouwd uit een of meer scans. De scanrichting staat loodrecht op de richting van de satellietbaan; als de ochtendbaan een andere oriëntatie heeft dan de middagbaan, zal dus ook de door een storing veroorzaakte streep op het satellietbeeld van een ochtendbaan een andere richting moeten laten zien dan bij een middagbaan. Op de NOAA-beelden van figuur 4 zien we dat dit inderdaad het geval is. De figuur toont beelden van een ochtendbaan (a) en van een middagbaan (b) van hetzelfde gebied en in dezelfde projectie; ze zijn tot stand gekomen op de manier zoals hierboven beschreven voor figuur 1. Op het beeld van de middagbaan (fig. 4b) is zonnepiegeling zichtbaar boven Het Kanaal en de Golf van Biskaje. Vooral boven de Golf van Biskaje, waar het in beide situaties onbewolkt was, is door vergelijking met het beeld van de ochtendbaan van figuur 4a goed te zien hoe groot het effect is van weerspiegeld zonlicht.

## Zonneglinstering maakt inwendige oceaangolven zichtbaar

**In de oceanen treden geregeld inwendige golven op. Hoewel het verschijnsel zich onder water afspeelt, is het soms toch te zien op 'gewone' satellietbeelden, op plekken waar zonlicht in het oceaانwater weerspiegelt.**

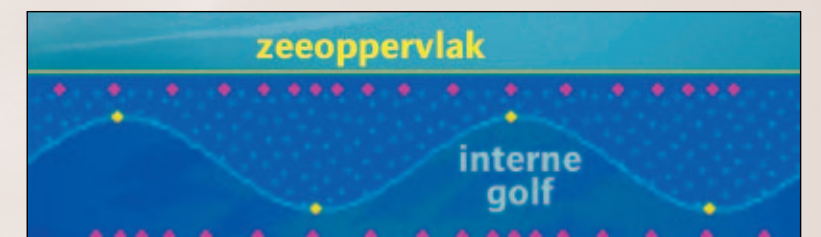
**A**n het oppervlak van zeeën en oceanen bevinden zich op de grens tussen water en lucht talrijke golven. Afhankelijk van de wind zijn ze enkele centimeters tot enkele meters, in uitzonderlijke gevallen zelfs enkele tientallen meter hoog. De afstand tussen twee opeenvolgende golftoppen, de zogeheten golflengte, loopt gewoonlijk uiteen van 60 tot 150 meter.

Hoewel meestal onttrokken aan het zicht, treden dieper in de oceaan eveneens golven op; daarvan is het bestaan minder bekend. Ook ditmaal is er sprake van een grensvlak waarlangs de golven zich voortbewegen (fig. 2). De oceaan bestaat dan als het ware uit twee lagen met een onderling verschillende dichtheid. Deze dichtheidsverschillen hangen samen met verschillen in temperatuur van het water of verschillen in zoutgehalte. De golven ontstaan als er verstoringen zijn aangebracht op het grensvlak waar ze optreden. Aan het oppervlak zijn sterkere verstoringen nodig dan dieper in

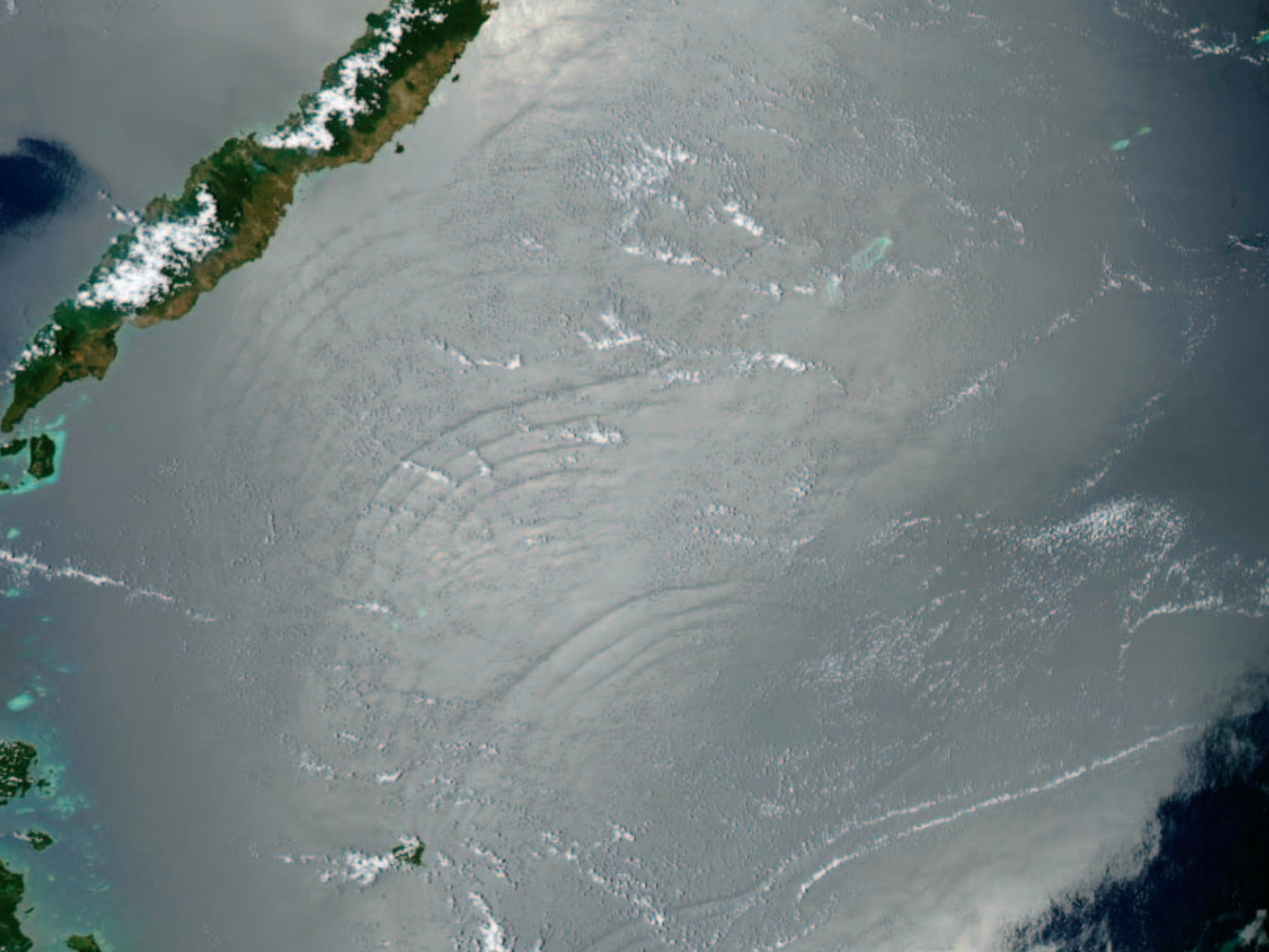
de oceaan, doordat de verschillen in dichtheid tussen water en lucht veel groter zijn dan de dichtheidsverschillen tussen zoeter en zouter water of tussen warmer en kouder water. Oppervlaktegolven krijg je als je een steen in het water gooit of als het gaat waaien. Bij inwendige golven wordt de verstoring gewoonlijk veroorzaakt door het getij, dat watermassa's dwingt een drempel of rug onder water te passeren. Daardoor worden de inwendige golven meestal gezien in de buurt van eilandengroepen, of langs de randen van de continenten; op de oceaan komen ze eveneens geregeld voor, zij het minder vaak dan langs de randen. De inwendige golven zijn vaak meer dan vijftig meter hoog en hebben golflengten variërend van enkele honderden meters tot tientallen kilometers – een

#### Kees Floor\*

\* Kees Floor is hoofd van de afdeling Meteorologische Opleidingen van het KNMI in De Bilt.



2. Inwendige golven ontstaan onder water aan het grensvlak tussen lichter (lees: warmer of minder zout) water bovenin de oceaan en zwaarder (lees: kouder of zouter) oceaانwater daaronder.



4. Inwendige golven in de Sulu Zee tussen de Filippijnen en Maleisië. Net als bij figuur 1 veroorzaken verschillen in de ruwheid van het zeeoppervlak op hun beurt verschillen in de mate waarin zonlicht wordt gereflecteerd; daardoor zijn ook hier de inwendige golven zichtbaar geworden. (Instrument: MODIS; satelliet: Aqua; datum: 8 april 2003, middagbaan; bron: NASA)

schaal die groot genoeg is om op satellietbeelden gezien te kunnen worden. De golven kunnen schade aanrichten aan meet- en boorplatforms in de oceaan en verstoren de normale geluidsvoortplanting onder water, wat problemen kan opleveren voor bijvoorbeeld onderzeeërs.

#### Radarbeelden

De waterbeweging is in situaties met inwendige golven het grootst aan het grensvlak waarlangs de golven zich voortplanten en neemt zowel naar boven als naar onderen toe af. In eerste benadering veroorzaken de inwendige golven daardoor geen op- en neergaande bewegingen van het water aan het oppervlak. Wel tre-

3. Inwendige golven veroorzaken verschillen in ruwheid van het oceaanooppervlak, die met radar vanaf satellietplatforms kunnen worden gedetecteerd. Dit satellietbeeld toont inwendige golven nabij de Straat van Gibraltar. De gegevens van het SAR-instrument op de satelliet ERS-1 werden op 7 januari 1992 ontvangen op het grondstation in Fucino (Italië). Het afgebeelde gebied is 90 bij 100 km; het beeld is kunstmatig ingekleurd. (Bron: ESA/ESRIN)

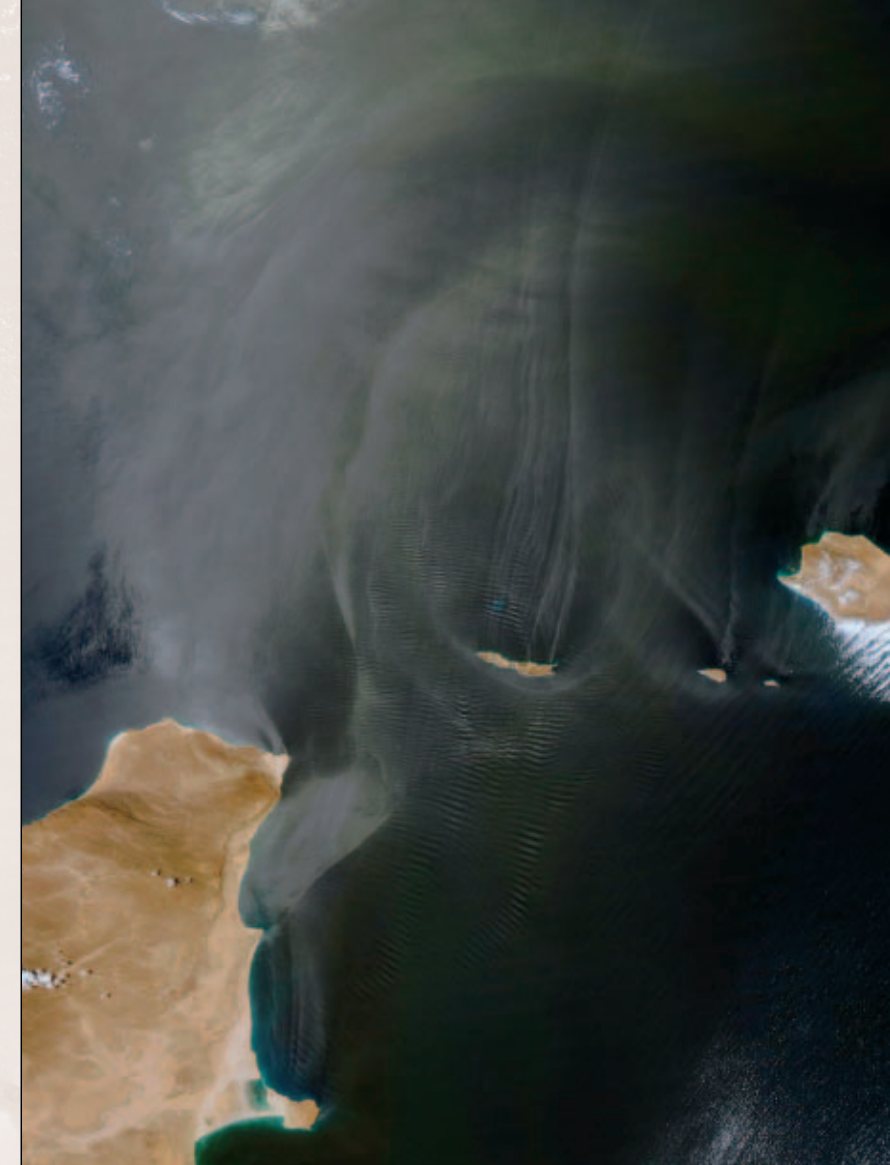
den er in horizontale richting stromingen op langs het oceaanooppervlak; in wisselwerking met de oppervlaktegolven veroorzaken deze stromingen verschillen in de ruwheid van de zee. Daardoor worden de golven 'zichtbaar' op radarbeelden van het zeeoppervlak, gemaakt met de *Synthetic Aperture Radar* (SAR) van satellieten als ERS-1, Radarsat en SIR-C.

Figuur 3 toont de Straat van Gibraltar, waar inwendige golven met een golflengte van ongeveer twee kilometer ten oosten van Gibraltar en Ceuta van de Atlantische Oceaan de Middellandse Zee in trekken. De golven hangen samen met het getij en doen zich voor aan het grensvlak tussen twee lagen met verschillend zoutgehalte. Als de getijstroom de Straat van Gibraltar passeert, ontmoet deze de 'drempel' in de zee-engte. Daarbij worden de inwendige golven opgewekt; ze bereiken het oppervlak enkele kilometers verderop.

#### Weerspiegeling van zonlicht

Ook zonder radar kunnen de inwendige golven in incidentele gevallen zichtbaar zijn en wel op 'gewone' satellietbeelden (fig. 1 en 4). Voorwaarde is dan dat de golven zich voordoen in een gebied waar weerspiegeling van zonlicht optreedt aan het zeeoppervlak (zie ook het voorgaande artikel: 'Schitterend water rond zonovergoten eilanden'). In sommige gebieden heeft de zee op het satellietbeeld een grijze tint; dat is het geval op plaatsen waar de zee ruwer is door de wisselwerking van de door inwendige golven in gang gezette stromingen aan het wateroppervlak en de oppervlaktegolven zelf. Boven rustiger water is de tint levendig zilver. Op die manier worden bijvoorbeeld de inwendige golven in de Sulu Zee tussen de Filippijnen en Maleisië op figuur 4 zichtbaar. Het satellietbeeld is van 8 april 2003 en gebaseerd op gegevens van het MODIS-instrument (MODERate resolution Imaging Spectroradiometer) van de Amerikaanse satelliet Aqua. Linksboven ligt het eiland Palawan en ten noordwesten daarvan zien we nog net de Zuid-Chinese Zee. Overigens is de tint van het zeewater ook donker in het gebied waar de wind zo sterk is afgenomen dat er vrijwel geen oppervlaktegolven meer zijn die het zonlicht in de richting van de satelliet kunnen weerkaatsen. Dat is bijvoorbeeld het geval op de Zuid-Chinese Zee, linksboven op de opname, en op het gedeelte van de Sulu Zee dat rechts onderin in beeld is.

Figuur 1 geeft een voorbeeld van het optreden van inwendige golven in de Rode Zee tussen Egypte en Saoedi-Arabië. Er werd gebruik gemaakt van dezelfde apparatuur, ditmaal op de Amerikaanse satelliet Terra. De Aqua en de Terra maken beide deel uit van het



5. Interne golven in het overgangsgedebied tussen de Golf van Oman en de Indische Oceaan, zichtbaar gemaakt door zonneglinstering. Linksonder is de noordoostpunt van Somalië te zien; de eilanden horen bij Jemen. (Datum: 27 augustus 2003; satelliet: Aqua, middagbaan; instrument: MODIS; bron: NASA Earth Observatory)

Earth Observing System (EOS) van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA. Figuur 5 ten slotte komt weer van de Aqua. De inwendige golven op dit satellietbeeld ontstaan op de overgang tussen de Golf van Oman en de Indische Oceaan. Linksonder ligt Somalië; de vier eilanden midden in beeld behoren tot Jemen.



**Speciale Aanbieding**  
 90 mm F= 910 mm  
 lenzentelescoop  
 inclusief:  
 \* motordrive  
 \* 2 groothoekocularen  
 \* zoeker 6 x 30  
 \* zenitprisma  
 \* aluminium driepoot

€ 495,- uit voorraad leverbaar

**Ook leverbaar:**  
 70 mm, F = 910mm zonder motor  
 op EQ-2 montering, € 299,-

**GANYMEDES OPTISCHE INSTRUMENTEN**  
 Middeldorpstraat 1  
 1182 HX Amstelveen  
 tel. 020 - 6412083 & 4536860  
 www.ganymedes.nl



**Aquarius OPTICS** Tel : 0488 440706



Upgrade motoren  
 CCD-camera's  
 Telescopen  
 Verrekijkers



Atlas 8  
 EQ-6

STF-Maksutovs

*Online Winkelen*  
**aquariusoptics.com**