



Scheepswolken studieobject

Openluchtlaboratorium voor wolkenfysici

Schepen laten bij rustig weer aan de flank van hogedrukgebieden boven de oceaan af en toe wolken sporen achter. De sporen zijn langwerpig, waaieren enigszins uit, lijken soms wat te zigzaggen en hebben daardoor wel wat weg van rookpluimen. Ze lijken zich weinig aan te trekken van de heersende windrichting...

Scheepswolken kunnen tot duizend kilometer lang worden en in breedte variëren van enkele kilometers (dichtbij het schip) tot enkele tientallen kilometers (op grotere afstand). De wolkenpluimen blijven enkele uren tot enkele dagen intact. Op satellietbeelden zijn ze geregeld te zien (fig. 1), waarmee zelfs schepen die zich onder bewolking tegen spionagesatellieten proberen te verschuilen, hun aanwezigheid verraden. Daar was de Amerikaanse marine natuurlijk niet zo blij mee; vandaar dat ze reeds in de jaren zeventig van de vorige eeuw onderzoek begon te

verrichten of te financieren naar het optreden van dit verschijnsel. De weersomstandigheden waaronder scheepswolken ontstaan, konden zo verder worden vastgelegd. Naast de reeds genoemde nabijheid van een hogedrukgebied en de zwakke tot matige wind bleek een hoge luchtvochtigheid van 90% of meer vereist. Het zeewater is dan meestal net iets warmer dan de lucht erboven. Vaak is het enigszins mistig of zit er een dunne laag bewolking – in het meteorologisch jargon *stratus* of *stratocumulus* – op geringe hoogte. Soms valt er uit de stratocumulus wat lichte motregen. In geval-

len waarin het temperatuurverloop met de hoogte kon worden vastgesteld, bleek er een dunne, onstabiele en vochtige luchtlaag boven de oceaan aanwezig: de zogenoemde maritieme grenslaag. Aan de bovenzijde daarvan blijft de temperatuur constant of neemt ze zelfs iets toe, een zogeheten inversie. Deze inversie wordt veroorzaakt door dalende luchtbewegingen die kenmerkend zijn voor hogedrukgebieden en heet daarom ook wel subsidentie-inversie. Eventuele stratus- of stratocumulusbewolking bevindt zich net onder de inversie en datzelfde geldt voor de scheepswolken, indien die zich vormen.

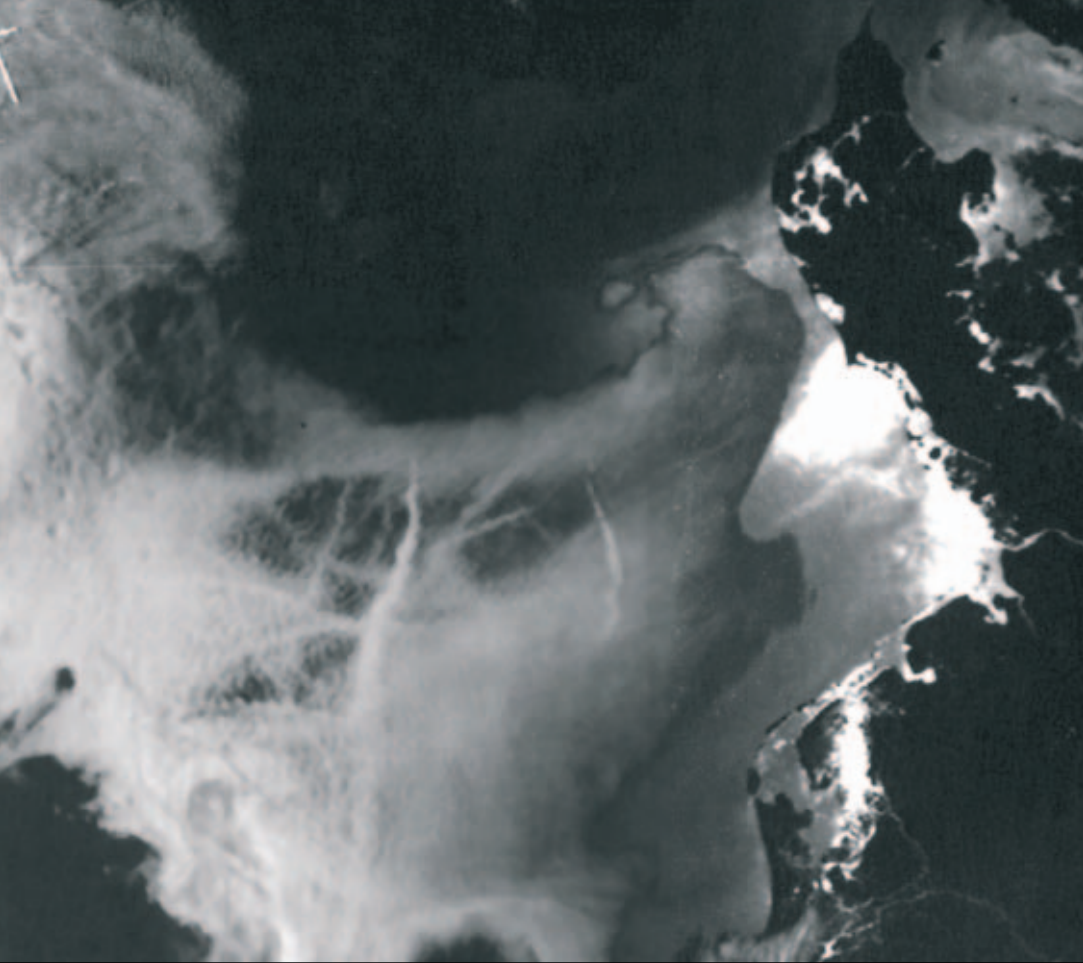
Wolkenfysica

Het optreden van wolken sporen achter schepen herinnert ons eraan dat er bij een verklaring van wolkenvorming meer komt kijken dan condensatie van waterdamp in tijdens

1. Scheepswolken boven de Golf van Biskaje en de Atlantische Oceaan; rechts is de Franse westkust in beeld, rechtsonder de Spaanse noordkust. De opname werd gemaakt op 27 januari 2003 en is afkomstig van de MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) van de Amerikaanse satelliet Aqua van het Earth Observing System (EOS) van de NASA.

Kees Floor*

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



2. Scheepswolken boven de Noordzee. Deze zeldzame wolken sporen werden op 21 juni 1983 in beeld gebracht door de Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) van de Amerikaanse operationele weersatelliet NOAA 8. De NOAA 8 werd gelanceerd op 28 maart 1983 en bleef satellietbeelden naar de aarde zenden tot eind oktober 1985.

opstijging afkoelende lucht. De waterdamp is afkomstig van het aardoppervlak; de zon levert de benodigde verdampingswarmte en klaar is Kees. Als dit het hele verhaal was, zouden de schepen geen invloed hebben op details van de bewolking die bij aanwezigheid van de wolken sporen zichtbaar is. Dat dit in werkelijkheid wel het geval is, komt doordat in de atmosfeer het proces van wolkenvorming op gang wordt gebracht door condensatiekernen, zo leert ons de wolkenfysica.

Wolkenfysica is het onderdeel van de meteorologie dat over de vorming en het oplossen van bewolking gaat. Condensatiekernen zijn microscopisch kleine, onzichtbare maar overvloedig aanwezige deeltjes in de lucht. De meeste condensatiekernen zijn van natuurlijke oorsprong; daarnaast is een deel afkomstig van menselijke activiteit, met name de verbranding van fossiele brandstoffen of biomassa. Zonder condensatiekernen zou het op aarde steeds onbewolkt zijn en zou de lucht waarin we leven altijd vettig en vochtig zijn; satellietfoto's zouden een overloze herhaling vormen van wat we al kennen van de Bos-atlas.

De eigenschappen van de kleine deeltjes in de lucht lopen uiteen; vooral als ze makkelijk oplossen in water, blijken ze een grote aantrekkingskracht voor waterdamp te be-

zitten en een sterke stimulans te vormen voor het ontstaan van wolken. Deeltjes met deze eigenschap noemt men hygroscopisch. De rook van schepen bevat zwaveldioxide, dat hygroscopische sulfaatdeeltjes kan vormen. In de rookpluim is het aantal deeltjes dat voor druppelvorming beschikbaar is veel groter dan daarbuiten. Dit geldt des te sterker voor de lucht waarin de scheepswolken zich gewoonlijk vormen; deze blijkt namelijk van zichzelf relatief schoon te zijn en weinig werkzame condensatiekernen te bevatten. Daarom zien we de scheepswolken ook alleen op de oceanen. Boven de Middellandse Zee of de Oostzee zijn ze nooit waargenomen, omdat de lucht er altijd over land komt aanwaaien en daardoor niet zuiver genoeg is. Boven de Noordzee doen de wolken sporen van schepen zich wel eens voor (zie fig. 2); bij noordwestenwinden kan de zuivere oceaanolucht namelijk ook over de Noordzee uitstromen.

Het beschikbare vocht verdeelt zich in de rookpluim van schepen over veel meer condensatiekernen dan daarbuiten. Wolken met veel kleine druppeltjes reflecteren opvallend zonlicht sterker dan andere wolken met evenveel water erin, maar verdeeld over een kleiner aantal grotere druppels. Aldus konden de witte pluimen op de satellietfoto's

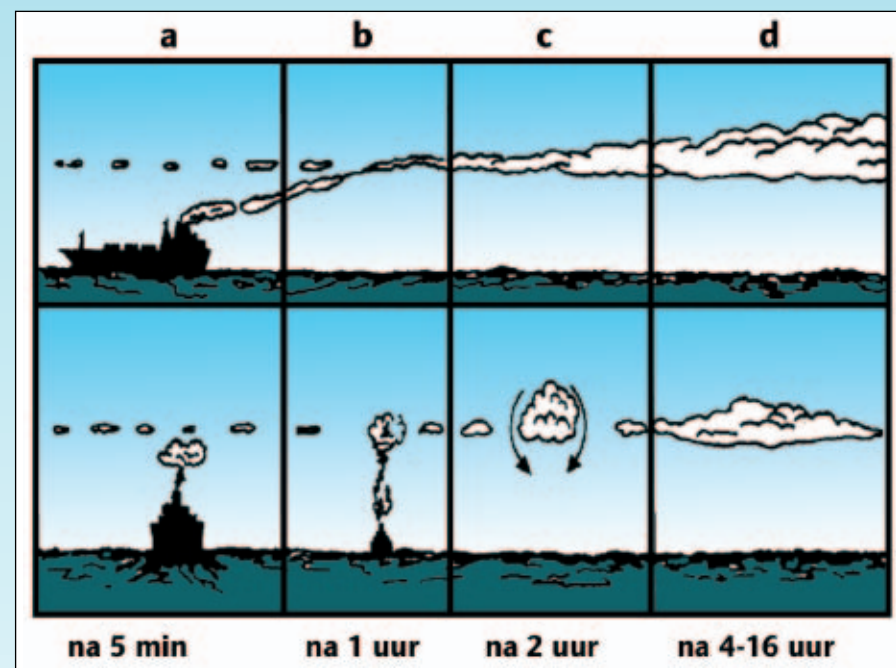
verklaard worden (fig. 3). Meteorologen kunnen nu de gebieden aangeven waar zich gemakkelijk scheepswolken vormen en militairen kunnen daar bij hun manoeuvres rekening mee houden.

Openluchtlaboratorium

Ook al leek het verschijnsel nu volledig verklaard, toch bleven onderzoekers geïnteresseerd in de scheepswolken: na de militaire invalshoek van de jaren zeventig, werd in de decennia daarna het onderzoek naar klimaat en klimaatveranderingen de drijfveer. Men vermoedt dat bewolking bij die klimaatveranderingen een belangrijke rol speelt; daarom wil men meer te weten komen over de processen die met wolkenvorming gemoeid zijn. Ook de invloed van menselijke activiteit op het gedrag van bewolking moet daarbij in kaart worden gebracht. Scheepswolken vormen in dat kader een dankbaar studieobject; bovendien zijn de omstandigheden om dat onderzoek uit te voeren in de regio's waar de scheepswolken optreden ideaal. Over het algemeen komt daar namelijk weinig turbulentie of con-

vectie voor, wat erop neer komt dat de atmosfeer er rustiger is dan boven land. Daarnaast vormt de subsidentie-inversie aan de bovenzijde van de maritieme grenslaag als het ware een deksel dat voorkomt dat de te onderzoeken stoffen te sterk verdunnen.

Zoals gezegd ontstaan scheepswolken uit een bron van verontreiniging in relatief schone lucht; aan die verontreiniging kan daardoor makkelijk gemeten worden. Vergelijk dit met de situatie boven land, waar zoveel uiteenlopende verontreinigingsbronnen zijn die vanuit verschillende locaties stoffen in de dampkring brengen dat je het overzicht snel kwijt bent. Bovendien is de uitwisseling met hoger gelegen luchtlagen boven land over het algemeen veel intensiever, zodat de te meten stoffen sterker verdund raken en moeilijker meetbaar zijn. We zagen reeds dat de scheepswolken zich enkele uren tot enkele dagen kunnen handhaven; dat is lang genoeg om de onderzoekers, meestal wolkenfysici, rustig hun werk te laten doen. Kortom, de gebieden waarin zich wolken sporen van schepen bevin-



3. De vorming van scheepswolken in zijaanzicht (boven) en achteraanzicht (onder):

a. De verbrandingsgassen van scheepsmotoren zijn warmer dan de omringende lucht en stijgen langzaam op naar de bovenkant van de maritieme grenslaag.

b. De verbrandingsgassen van de scheepsmotoren bevatten onder andere zwaveldioxide, dat hygroscopische sulfaatdeeltjes kan vormen. De sulfaatdeeltjes fungeren als werkzame condensatiekernen. Het aantal druppeltjes in de wolk neemt daardoor toe en de wolk gaat meer zonlicht terugkaatsen

c. Verdere uitbreiding en uitdunning van het wolken spoor naar boven toe wordt tegengegaan door de subsidentie-inversie, die als een deksel op de maritieme grenslaag ligt. Soms ontstaan aan beide zijden van het wolken spoor neerwaartse bewegingen die de eventueel aanwezige bewolking naast de scheepswolken doen verdwijnen.

d. Als het proces van wolkenvorming enige tijd heeft geduurd, is het schip zo ver weg dat geen nieuwe uitlaatgassen de wolk nog kunnen bereiken. Het wolken spoor dijt uit en wordt breder dan een jonger gedeelte van dezelfde scheepswolk.

den, vormen een ideaal openlucht-laboratorium voor wolkenfysici, die daar dan ook dankbaar gebruik van maakten. De werkvoorbereiding vindt thuis of op een instituut plaats aan de hand van satellietfoto's zoals figuur 1; voor het eigenlijke meetwerk moet men met meetvliegtuigen naar het 'openluchtlab'. Dat heeft onder meer de volgende onderzoeksresultaten opgeleverd: in de scheepswolken bleek de diameter van de waterdruppeltjes 6% kleiner – veelal te klein om nog motregen te kunnen opleveren – en de hoeveelheid wolkenwater per m³ bleek zowat verdubbeld! Vooral dat laatste was totaal onverwacht: voor de verklaring van scheepswolken werd gegeven, was een toename van de waterinhoud namelijk niet noodzakelijk. Het reflecterend vermogen van de scheepswolken wordt door dit effect extra opgevoerd. Satellietdata hebben laten zien dat de scheepswolken 13% helderder zijn dan de omringende bewolking.

Gevolgen voor klimaatverandering

De onderzoeksresultaten zijn belangrijk voor de studie van klimaatverandering. Kennelijk bevordert de uitstoot van zwaveldioxide (SO₂), dat naast koolstofdioxide (CO₂) vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen, de wolkenvorming; tevens verhoogt het de reflectiviteit van bewolking en onderdrukt het de neerslag. Zonlicht dat door wolken wordt teruggekaatst, bereikt het aardoppervlak niet meer en kan ook niet worden vastgehouden door het broeikaseffect. Mogelijk verklaart deze gang van zaken dat de temperatuurstijging op het zuidelijk halfrond, waar minder menselijke activiteit plaatsvindt en waar minder biomassa wordt verbrand, groter is dan op het noordelijk halfrond.

Dit betekent overigens niet dat we de opwarming van de aarde kunnen tegengaan door méér fossiele brandstoffen te gebruiken. Het CO₂ verblijft jaren in de atmosfeer en verspreidt zich over de hele aardbol. De sulfaatdeeltjes vallen langzaam naar beneden of regenen uit, verblijven daardoor korter in de dampkring en steken vrijwel nooit de evenaar over. De opwarming door CO₂ is dus mondiaal, terwijl de tempering van de aanwarming door SO₂ en daarvan afgeleide stoffen slechts regionaal plaatsvindt.



BYNOSTAR®
www.bynostar.nl

ONTDEKKINGSREIS DOOR HET HEELAL



**Bij elke BYNOSTAR®
telescoop leveren wij
GRATIS**

- * **Nederlandstalige montagehandleiding en gebruikershandboek**
- * **Planisfeer (sterrenkaart) voor 52° NB**
- * **Boek "Ontdekkingsreis door het heelal"**





Optioneel verkrijgbare accessoires

ASTRODEALERS:
Schmidt Optiek, Rokin 72, Amsterdam • Koopman Optiek, Kaasmarkt 2, Purmerend • Combi Foto Loek Anderson, Burg.Mooystraat 27a, Castricum • Foto de Leeuw, Gierstraat 22, Haarlem • Optiek v.d.Wiel, Nieuwe Rijn 62, Leiden • Combi Focus, Loosdunse Hoofdstraat 88, Den Haag • W.D.Bos & Zoon, Optiek, Thomsenlaan 40-40 B, Den Haag • Foto van der Waal, Rembrandtlaan 71, Schiedam • Foto Video van der Vooren, Voorstraat 95, Woerden • Polaris Optische Instrumenten, Nachtegaalstraat 76, Utrecht • Egbers Optiek, Tilburgseweg 76, Goirle • Optiek Cyszewski, Chaamseweg 14, Baarle-Nassau • Opticien Bloemendal, Steenstraat 136, Arnhem • Foto Dubach, Korenstraat 112, Apeldoorn • Combi Foto Kemper, Grotestraat 264, Nijverdal • J.C.Oland Opticien, Kampenstraat 8, Zwolle • Combi Foto Joop Baars, Stadhuisstraat 64, Lelystad • Combi Foto Sijkes, Poolestraat 19, Groningen • Foto Aktief, Laarderweg 142, Bussum • Foto Dalshheim, Uiterdijksterweg 13, Leeuwarden • Foka Foto Video Audio, Kerkerstraat 8, Daurne • Focus Optiek, Nieuwe Burg 9, Middelburg • Foto Hein Manné, Markt 15, Roosendaal.

Technolyt
Industrieweg 35
1521 NE WORMERVEER
Tel. 075 - 64 74 547
info@technolyt.nl
www.technolyt.nl

