

# De (bijna) onbereikbare oceaan

De oceaan verhult haar grootste geheimen onder water, maar hoe meet je een oceaan van duizenden kilometers breed (geplaagd door stormen en ijsbergen) met hoge nauwkeurigheid? Met schepen die ter plekke meten en door instrumenten voor langere tijd weg te zetten. Alleen is dit makkelijker gezegd dan gedaan.



Figuur 1. Een veld zee-ijs blokkeert ons de toegang tot het laatste CTD-station bij de kust van Groenland. Deze *growlers* or *bergy bits* zijn een paar meter groot en daartegen is de romp van de Pelagia niet bestand. De kust van Groenland is verborgen achter de mist.

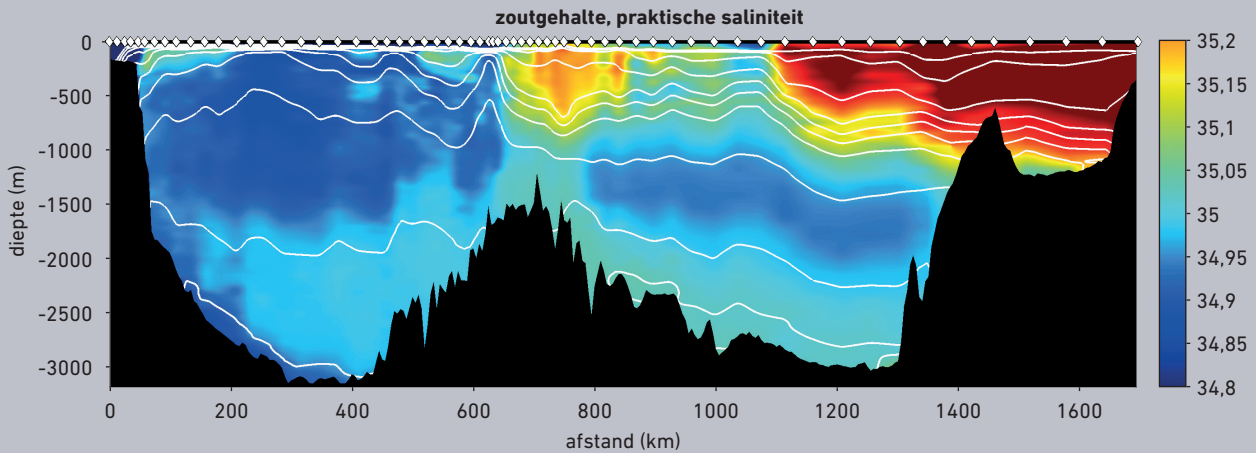
**V**aak hoor je dat we minder weten van de oceaan dan van de planeet Mars. Dat is gedeeltelijk waar, want de topografie van Mars is in vrij hoge resolutie in kaart gebracht terwijl dit voor de oceaanbodembodem voor een groot deel nog moet gebeuren. Dit komt vooral doordat Mars alleen een ijle atmosfeer heeft en geen oceanen, waardoor de (weinig veranderlijke) topografie makkelijk in kaart te brengen is door satellieten. Voor onze oceaan is dit een heel ander verhaal. Het oceaanoppervlak is in kaart te brengen door satellieten, dit geeft ons informatie over de oppervlaktetemperatuur en de hoogte van het zeeniveau boven de geoïde (vorm die het oceaanoppervlak zou aannemen onder invloed van alleen de zwaartekracht, zonder invloed van wind en getijden). Maar helaas kunnen satellietsensoren niet onder water kijken omdat water slecht doorlaatbaar is voor licht en radar. Voor het meten van de zeebodem kunnen we wel geluid gebruiken:

door vanaf een schip de reflectietijd van een uitgezonden signaal te meten, kun je meten hoe diep het is. Maar aangezien het gemiddelde onderzoeksschip (met een snelheid van ongeveer tien knopen of 18,5 km/uur) wat langzamer is dan een satelliet (de Jason-1-altimetrie-satelliet vliegt met ongeveer 25.200 km/uur) is er enorm veel scheepstijd nodig om de hele oceaanbodembodem in detail in kaart te brengen. En dan hebben we het ook nog over iets wat, uitzonderingen zoals de bodem van de Waddenzee daargelaten, relatief langzaam verandert. De oceaan zelf is veel dynamischer en verandert continu. Juist deze veranderingen zijn belangrijk, aangezien de oceaan een belangrijke rol speelt in ons klimaatstelsel. Zo is meer dan 90% van de extra warmte die door broeikasgassen in ons klimaatstelsel vastgehouden wordt, opgeslagen in de oceanen en kunnen veranderingen in de grote zeestromingen gevolgen hebben voor het weer en klimaat op het land [1].

Als zeegaande fysisch oceanograaf probeer ik de dynamische veranderingen in de oceaan te meten en te verklaren. Mijn eerste vaartocht was in 2003 in de Irmingerzee, ten zuidoosten van Groenland. De lijn die we daar voeren, van de zuidpunt van Groenland naar het Europese continentale plat, werd sinds 1990 jaarlijks gemeten, afwisselend door Engelse, Nederlandse en Duitse oceanografen. Zo'n lijn bestaat uit een reeks van stations, vijftien tot dertig zeemijl uit elkaar, waar in-situ metingen gedaan worden (figuur 3). Op elk station wordt de CTD (een combinatie van conductiviteit/zoutgehalte-, temperatuur- en druksensoren en flessen voor watermonsters voor kalibratie en chemische analyse) te water gelaten. De CTD wordt aan de kabel naar de bodem gevierd en maakt zo een profiel van de eigenschappen van de waterkolom op die locatie. Per kilometer waterdiepte duurt dit ongeveer een uur en de hele lijn van west naar oost duurt ongeveer een



Figuur 2. Het binnenhaken van een verankering aan boord van onderzoeksschip Pelagia in zomer 2020. Dit is een van de twee boeien (met stroommeter) die de verankering omhooghoudt.

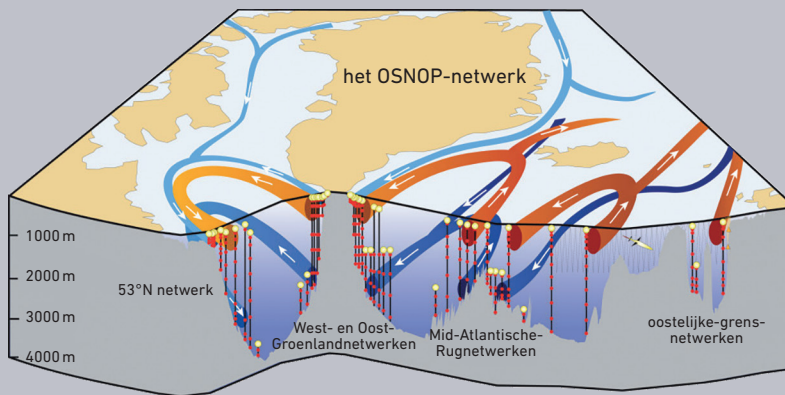


Figuur 3. Hydrografie van de zoutverdeling langs de sectie tussen de zuidpunt van Groenland (links) en Rockall (rechts) in zomer 2020. Posities van de CTD-stations zijn aangeven met de witte wiebertjes aan de bovenkant. Het relatief zoute water van de Atlantische stromingen, met zijn oorsprong in de Golfstroom, contrasteert met de zoetere polaire en Arctische watermassa's. Witte contourlijnen verbinden punten van gelijke dichtheid.

maand. Dat is een maand lang een schema van een paar uur varen – een paar uur meten. Deze metingen gaan dan ook 24 uur per dag door en aan boord werken de wetenschappers in wachten. Tijdens de wacht zijn we verantwoordelijk voor de metingen en het nemen van de watermonsters. Buiten de wacht zijn we bezig met het opwerken en analyseren van de data. Als expeditieleider ben ik daarnaast verantwoordelijk voor de logistiek en de planning van de tocht. Er is een globale planning vooraf, maar vaak moet die aangepast worden aan het weer of andere omstandigheden. In ons onderzoeksgebied proberen we zo veel mogelijk in het gunstige seizoen te varen. Dat zijn de maanden juni, juli en augustus. Tot in mei is er nog veel zee-ijs (figuur 1) te vinden voor de kust van Groenland. Aangezien de meeste onderzoeks-schepen geen ijsclassificatie hebben belemmert dit ons om daar te meten. Vanaf september begint in dit gebied het stormseizoen en worden de omstandigheden aan dek te gevaarlijk om apparatuur van en aan boord te hijsen. In de zomermaanden is het meestal rustiger, al hebben we dan vaker last van mist die het soms moeilijk maakt om instrumenten terug te vinden. De meeste lange

tijdseries die we hebben van dit gebied, zoals die vanaf 1990, zijn dan ook voornamelijk metingen in het zomerseizoen. Pas later, met meer geautomatiseerde instrumenten, zijn we tijdseries gaan maken die het hele jaar beslaan. Met verankeringen (figuur 2) zetten we instrumenten voor langere tijd weg. Deze verankeringen bestaan uit staal- of dyneemakabels (dyneema is een sterke kunststofvezel) tussen een of meer boeien die de kabel vertikaal houden en een anker van oud ijzer op de zeebodem. Bij het uitzetten van de verankeringen worden de boeien als eerste overboord gezet. Terwijl de boeien achter de boot aan gesleept worden, wordt de kabel langzaam uitgevierd en de instrumenten worden aan de kabel bevestigd. Als laatste worden een akoestische release (letterlijk een loslater) en het anker aan de kabel bevestigd. Op dit moment sleept de hele verankering, die vaak enkele kilometers lang is, achter de boot aan. Dit betekent dat, door de weerstand van de verankering in het water, het anker na het overboord zetten niet recht naar beneden valt maar een stuk terug zwaait. Hoeveel precies is enigszins afhankelijk van de omstandigheden, maar een vijfde deel van de lengte van de veranke-

ring is niet ongebruikelijk. Je kunt je voorstellen dat het lastig mikken is op een precieze locatie. Ten eerste moet je ver vanaf de gekozen locatie beginnen zodat je voldoende tijd hebt om de drie kilometer kabel, die we gebruikten voor een verankering in de Irmingerzee achter de boot uit te vieren. Niet te snel, want dan staat er te veel spanning op de kabel, maar ook niet te langzaam want de kabel mag uiteraard niet in de schroef komen. Dan moet het schip iets voorbij de locatie varen zodat wanneer het anker de drie kilometer naar beneden aflegt het naar de juiste plek zwaait. Het voelt als een soort van spijkerpoepen op kilometerschaal. Aan de hand van een trilateratie (een uitpeiling in 3D) met de releases kunnen we de exacte locatie bepalen waar de verankering terechtgekomen is. Wanneer wij terugkomen om de verankering op te halen zenden we de release een akoestische code waarop de release het anker loslaat en de boeien naar het oppervlak komen. De boeien halen we aan dek, waarna de kabel, de instrumenten en als laatste de releases binnengehaald worden. Eenmaal aan boord kunnen de instrumenten uitgelezen worden, waarna de datakalibratie en eerste opwerking van de data kan beginnen.



Figuur 4. De verankeringsarray waarmee het volume, warmte en zouttransport van de noordelijke Noord Atlantische Oceaan gemeten wordt in het Overturning in the Subpolar North Atlantic Project. In rood en blauw worden grofweg de belangrijkste warme en koude oceaanstromingen aangegeven die met de verankeringen (zwarte lijnen) gemeten worden. Credit: Penny Holliday (National Oceanography Centre, UK).

Eventueel kan een nieuwe verankering, met instrumenten met nieuwe batterijen, weer op dezelfde plek teruggezet worden om de tijdserie door te zetten.

In de Irmingerzee hebben we zo, met de door het NIOZ geplaatste verankering voor het eerst de sterke convectie die in de winter plaatsvindt kunnen meten [2]. Er waren weliswaar aanwijzingen voor sterke convectie in de zomermetingen, maar direct gemeten was het nog nooit. Met de metingen van instrumenten aan verankeringen, die een tijdsresolutie hebben van één keer per dag tot elke vijf minuten, kunnen we de variaties in de jaarlijkse zomermetingen ook beter interpreteren. Sinds 2014 meten we samen met internationale partners ook het noordwaarts transport van water, warmte en zout tussen Canada, Groenland en Schotland (het Overturning in the Subpolar North Atlantic Project). Dit is een groot project waarvoor zestig verankeringen in het water staan die elke twee jaar opgehaald en opnieuw uitgezet worden. Uit deze metingen komen nieuwe inzichten, bijvoorbeeld dat het transport ten oosten van Groenland belangrijker is dan dat ten westen van Groenland [3]. Dit is van belang voor het begrijpen van

de rol van de oceaanstroming in het klimaatsysteem.

Het boeiende van de metingen op zee is dat er daadwerkelijk nog nieuwe dingen te ontdekken zijn en de enorme tegenstellingen die je tegenkomt. De schalen waarop we werken zijn groot, dus de metingen die we doen moeten daarom juist van hoge kwaliteit zijn. Het gaat om relatief kleine verschillen in temperatuur en zout (orde milli-Kelvin en milligrammen zout per kilogram water), maar geïntegreerd over drie kilometer diepte en een Atlantische bekken van drieduizend kilometer breed resulteert dat in een enorm verschil in water- en warmtetransport. Vroeger dacht men ook dat oceaanstromingen redelijk stabiel waren, maar met onze metingen zien we dat de oceaan heel dynamisch is. Gemiddeld transporteert de Atlantische Oceaan water naar het noorden, maar op sommige dagen kan het op een specifieke breedtegraad ook zo maar naar het zuiden zijn. Hoe belangrijk dit is voor variaties op de langetermijn, en of dit allemaal in detail in klimaatmodellen gerepresenteerd moet worden, is een vraag waarmee fysisch oceanografen druk bezig zijn. Daarbij is het belangrijk om lange tijdseries door te zetten zodat we trends van klimaatverande-

ring, die klein zijn ten opzichte van seizoens- en interjaarlijkse veranderingen, kunnen herkennen en volgen. De klimaatmodellen voorspellen dat de Atlantische oceaanstroming in de toekomst af zal nemen, maar hoeveel is nog niet duidelijk. Wat wel duidelijk is dat dit mogelijk ernstige consequenties zal hebben voor het landklimaat [1]. Als de veranderingen eenmaal doorzetten in deze enorme bak water, dan zullen ze moeilijk te stoppen zijn.

**Femke de Jong studeerde Meteorologie en Fysische Oceanografie in Utrecht en is nu senior onderzoeker bij het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ).**

**Femke.de.Jong@nioz.nl**

#### REFERENTIES

- 1 IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.), [www.ipcc.ch/srocc](http://www.ipcc.ch/srocc).
- 2 M.F. de Jong, H.M. van Aken, K. Våge en R.S. Pickart, Convective mixing in the central Irminger Sea: 2002-2010. *Deep-Sea Research I* **63**, 36-51 (2012). [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063712000155](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063712000155).
- 3 M.S. Lozier, A sea change in our view of overturning in the subpolar North Atlantic, *Science* **363** (6426): 516-521 (2019). <https://dx.doi.org/10.1126/science.aau6592>.