

Wordt ons klimaat beïnvloed door de maan? – de rol van enkele oceanografische processen

Leo Maas, Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Texel

Op het eerste gezicht zou je zeggen van niet. Bijna alle processen op aarde worden uiteindelijk gedreven door opwarming door de zon, dus welke rol zou daarin voor de maan kunnen zijn weggelegd? Hier beschouwen we de invloed van de warme Golfstroom op het klimaat en beargumenteren dat dit transport inderdaad ten dele door de maan beïnvloed kan worden. Om dat te kunnen begrijpen is het nodig iets meer over de oceaancirculatie en de processen die daaraan bijdragen te vertellen.

Recente krantenberichten willen ons doen geloven dat de globale opwarming waar de aarde mee te maken heeft in Europa, binnen enkele tientallen jaren, op paradoxale wijze zou kunnen omslaan in een nieuwe ijstijd. De in 2004 verschenen Hollywoodfilm 'The day after tomorrow' had dit idee zelfs als thema. De film spon het oceanografische principe uit door een dramatisch toekomstscenario te schetsen waarin leven buiten de equatoriale gebieden nagenoeg onmogelijk lijkt. Maar kan de warmtetransportband werkelijk worden onderbroken door antropogene opwarming?

Thermohaline circulatie

Aan welk mechanisme wordt hier geappelleerd? De Golfstroom bestaat in feite uit een combinatie van twee stroomsystemen: een ondiepe, wind-gedreven stroming (ondieper dan 200 m) en een diepe, door dichtheidsverschillen gedreven, zogenaamde thermohaline circulatie, ook wel warmtetransportband genoemd. Deze laatste is het gevolg van verschillen in temperatuur- en zoutgehalte. Beschouw daartoe twee watermassa's: een bij de evenaar en een bij de pool. Als water bij de evenaar opwarmt zet het uit en neemt de dichtheid af. Maar als zeewater verdampt, verdampt alleen zuiver ('zoet') water, het zout achterlatend. Dit resulteert in een dichtheidstoename. Bij de evenaar is het eerste proces belangrijker. De dichtheid van het water neemt netto af. Soortgelijke processen spelen bij afkoeling in polaire streken (water krimpt en de dichtheid neemt toe). Maar de koudere lucht boven zee aldaar kan minder water bevatten: het regent, met als gevolg dat het zoutgehalte en ook de dichtheid afnemen. Ook in dit geval wint de thermische component en de dichtheid van het water neemt netto toe. Naast elkaar gezet zal dit er toe leiden dat het koudere, polaire water onder het lichtere equatoriale water zal gaan stromen, en omgekeerd. Als één geheel gezien is dit de thermohaline circulatie. De warmte die vanaf de evenaar naar het Noorden wordt gevoerd is voor een deel verantwoordelijk voor het aangename klimaat dat met name West Europa op hoge breedtegraad kent.

Het is duidelijk dat deze subtiele balans verstoord kan worden wanneer ijskappen afsmelten als gevolg van wereldwijde opwarming. Dit zal leiden tot

een verlaging van het zoutgehalte en dus van de dichtheid van het polaire water. De afname van het dichtheidscontrast tussen equatoriaal en polair oppervlaktewater kan de thermohaline circulatie doen afnemen. Deze afname in de circulatie kan versterkt worden doordat nu ook geen zout meer Noordwaarts worden getransporteerd. Het meegevoerde zout was, samen met de daaropvolgende afkoeling, immers verantwoordelijk voor de vorming van polair oppervlaktewater met een heel hoge dichtheid die het afzinken in gang zette. Als gevolg van terugkoppelingsprocessen zou dat afzwakken van de circulatie, volgens sommige theoretische modellen, wel eens onomkeerbaar kunnen zijn. Dit bracht de filmmakers er toe om te speculeren dat Europa en vervolgens het gehele Noordelijk halfrond wel eens versneld en voor langere periode in een ijstijd zouden kunnen terechtkomen...

Maar, laten we alvorens deze conclusie als definitief te beschouwen, deze 'motor van de oceaan', de diepe thermohaline circulatie, nog eens nader bekijken. Waarom vult het koude, zoute water na afzinking de diepzee niet simpelweg op, om vervolgens tot rust te komen met achterlating van een ondiepe oppervlakkige circulatie? Waarom is er eigenlijk überhaupt nog stroming in de diepzee? Het kan verhelderend werken om de processen die in de diepzee spelen te vergelijken met die in de atmosfeer. Weliswaar is de atmosfeer gasvormig, maar gassen en vloeistoffen worden op vergelijkbare manier gedreven. Temperatuur- en drukverschillen worden omgezet in beweging, net als in een stoommachine. Dit gebeurt wanneer een gas of vloeistof onder hoge druk wordt opgewarmd en bij lage druk wordt afgekoeld. Bij die opwarming vindt uitzetting van lucht (beweging) plaats in de richting waarin de druk afneemt (kracht). Volgens Newton's tweede bewegingswet wordt hiermee arbeid verricht op de vloeistof hetgeen leidt tot een versnelling (impulstoename) van die omgeving.

De atmosfeer lijkt een efficiënte stoommachine te zijn. Immers, kortgolvlige zonnestraling kan ongehinderd door de atmosfeer het aard- en zeeoppervlak verwarmen. Dit oppervlak straalt vervolgens warmte als langgolvlige straling terug de atmosfeer in die wèl geabsorbeerd wordt. De resulterende opwarming en uitzetting van de lagere luchtlagen (dus bij hoge druk) leidt tot beweging: wind. Deze opgewarmde lucht wordt uiteindelijk in de hogere atmosfeer (bij lage druk) afgekoeld. Voor de oceaan liggen de zaken geheel anders. Omdat zonlicht nauwelijks in water kan doordringen vindt opwarming in de bovenste honderd meter plaats. Maar dit is ook de laag waarin de oceaan afkoelt. Opwarming en afkoeling vinden dus op *gelijk* drukniveau plaats zodat niet duidelijk is hoe de oceanische stoommachine überhaupt gedreven wordt. Dus waarom zou hier sprake kunnen zijn van een dusdanig massale beweging, dat het daarmee samenhangende warmtetransport merkbaar, laat staan belangrijk, zou zijn voor het Europese klimaat?

Om hier een antwoord op te vinden zal gekeken worden naar een van de drijvende mechanismes: diepe convectie nabij de polen en in de zoute

Middellandse Zee. In deze gebieden wordt door afkoeling en verdamping ('forcering') de dichtheid van het water zodanig vergroot dat de zee over een groot gebied onstabiel wordt en het 'zware' water afzinkt naar grote dieptes. Een speciaal soort [slinger](#), gemaakt van LEGO illustreert dit proces. Hiermee wordt inzichtelijk hoe zelfs bij gelijkblijvende forcering, de diepte waartoe de afzinking plaatsvindt kan fluctueren.

Maar zelfs als het zwaardere water is afgezonken, waarom vult het dan niet simpelweg de hele oceaan om vervolgens onberoerd te blijven en het resterende warmtetransport tot een dunne laag te beperken? Er ontbreekt kennelijk een proces...

[Interne golven](#)

Conceptueel is wel duidelijk wat we nodig hebben: een proces dat nabij de evenaar in staat is om warmte snel en zonder tussentijdse afgifte naar grote diepte te transporteren. Maar welk proces is dat? Vreemd genoeg denkt men op dit moment aan golven, om precies te zijn aan onderwatergolven. Hoe kunnen watergolven, die we toch gewoonlijk met het wateroppervlak associëren, op grote diepte voorkomen? De reden daarvoor is alweer de dichtheidsgelaagdheid van het zeewater. Deze opent namelijk een nieuw 'venster' waardoor energie de gehele diepzee kan doorstralen. In dit geval niet in de vorm van electromagnetische maar van *interne* (zwaartekrachts) golven. Hoe kunnen we deze onderwatergolven begrijpen? Beschouw eerst een situatie waarin de oppervlaktelaag is opgewarmd, maar waar deze laag, doordat er weinig wind is, zich boven een koudere onderlaag nestelt. Dan kunnen we de overgang daartussen als een dichtheidssprong interpreteren. Dit is vergelijkbaar met de dichtheidssprong tussen water en lucht maar dan zonder een vloeistof-gas faseovergang. In een laboratoriummodel zien we dat op het grensvlak tussen beide waterlagen [enorme golven](#) worden opgewekt, hoewel aan het oppervlak weinig te merken is van deze interne golven. Dit verschijnsel staat bekend onder de term ['dood-water'](#).

In de oceaan is de dichtheidstoename met de diepte echter veel geleidelijker, met name in de diepzee. Als gevolg hiervan kunnen interne golven nu op elke diepte voorkomen. Sterker, de golven bewegen nu niet langer strikt horizontaal, maar schuin door de vloeistof, de diepzee in. Dit soort golven zijn heel anders dan oppervlaktegolven: voor een gegeven frequentie van de golf plant de energie zich onder een vaste hoek met de verticaal voort. Dit leidt ertoe dat wanneer deze golven aan een hellende bodem weerkaatsen hun energie geconcentreerd wordt, tot het moment dat de golven breken. Huidig onderzoek richt zich op de vraag of deze diep brekende interne golven de snelle menging verzorgen waar we naar op zoek zijn.

Interne golven worden veroorzaakt door wind en getijden. Getijden worden veroorzaakt door de aantrekkingskracht van zon en maan. Hierbij wordt de geringere massa van de laatste gecompenseerd door diens veel kleinere afstand

tot de aarde. Dit maakt dat bij getijopwekking de maan ruwweg twee maal zo belangrijk is als de zon. De interne golven veroorzaakt door de wind zijn variabel in tijd en ruimte, maar vanwege hun persistente aard kunnen de interne getijden doordat ze met een vaste frequentie altijd met dezelfde hoek de diepzee doorkruisen op een constante manier diep mengen.

Conclusie

Het alarmerende van de eerder genoemde krantenartikelen en film zitten hem in een explosieve combinatie van metingen en een wat onheilspellende interpretatie daarvan. De recente observationele studie die aanleiding gaf tot de krantenartikelen toont aan dat de diepe circulatie in intensiteit is afgenomen. Maar is het warmtetransport ook daadwerkelijk afgenomen? Of is dit ten dele overgenomen door de windgedreven, oppervlakte-component van de circulatie, of door atmosferisch transport (nu al verantwoordelijk voor 70% van het totale meridionale warmtetransport)? Beantwoording van deze vragen vereist meer metingen. Ook op de interpretatie van de gevolgen van een afnemend warmtetransport, het wegzinken in een ijstijd, valt nog een en ander af te dingen. Deze interpretatie volgt uit modelresultaten die aantonen dat de oceaancirculatie meerdere evenwichtstoestanden kent, leidend tot verschillende klimaten. Een met een sterke circulatie, die veel warmte transporteert, en een met een vrijwel afwezige circulatie. Deze modellen suggereren dat zodra men van het ene in het andere klimaat schiet men niet zo snel meer terug kan komen. Maar deze modellen zijn, noodzakelijkerwijs, versimpelde versies van de werkelijkheid. De eerder genoemde golven zijn bijvoorbeeld geheel afwezig. Hoewel de voorspellingen dus alarmerend kunnen zijn, zou men, alvorens verregaande conclusies te trekken mogelijk leidend tot een herinrichting van onze samenleving, moeten nagaan hoe deze voorspellingen beïnvloed kunnen worden door niet opgeloste, kleinschalige processen, met daarin, zoals hier boven geschetst, misschien zelfs een rol voor de maan...

16 December 2005