

Het ontstaan van de moderne zeestromingen in de Nordic Seas

door Stijn De Schepper

Uni Research Climate, Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Noorwegen
stijn.deschepper@uni.no

Ondanks zijn noordelijke ligging heeft Noorwegen een relatief mild klimaat. Als we de breedtegraad van Bergen en Oslo volgen (ongeveer 60°N) en we verplaatsen ons naar het westen over de *Nordic Seas* (Groenland Zee, IJsland Zee, Noorse Zee), dan komen we uit aan de zuidelijke punt van Groenland. Hier is het klimaat heel anders, met een gemiddelde jaarlijkse temperatuur van ongeveer 1°C. Ter vergelijking: de gemiddelde temperatuur in Bergen is tegenwoordig 8°C en in Oslo 6°C.

Het verschil tussen het klimaat in Noorwegen en Groenland wordt tegenwoordig voornamelijk bepaald door de zeestromingen in de *Nordic Seas*. Het klimaat in Noord- en West-Europa wordt sterk beïnvloed door de warmwaterstroming, die voor de kust van Amerika begint als de Golfstroom. Deze stroming steekt de Atlantische Oceaan over en stroomt verder langs de kust van Ierland, de Britse eilanden en Scandinavië in de richting van de Arctische Oceaan. Het warme water zorgt ervoor dat er, ondanks de hoge noordelijke ligging, een mild klimaat in Noordwest-Europa kan bestaan. Zo kunnen bijvoorbeeld tropische palmbomen overleven aan de westkust van Schotland, Ierland en Zuidwest-Noorwegen.

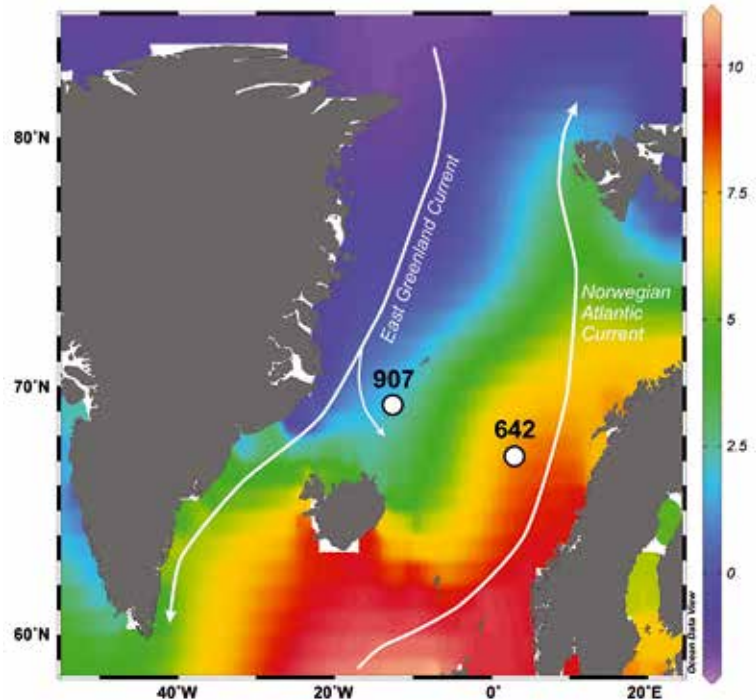
Aan de andere kant van de *Nordic Seas*, langs de oostkust van Groenland, stroomt daarentegen een koude zeestroming zuidwaarts, die zee-ijs meebrengt vanuit de Arctische Oceaan en belangrijk is voor de lage temperaturen op Groenland (afb. 1). Het was lang onduidelijk wanneer dit circulatiepatroon ontstond, maar onderzoek van fossielen van microscopisch fytoplankton toont voor het eerst aan dat dit gebeurde in het Pliocene (Laat Neogeen), rond 4,5 miljoen jaar geleden.

Het Pliocene

Het Pliocene (5,3–2,6 miljoen jaar geleden) werd wereldwijd gekenmerkt door een klimaat dat 2 tot 3°C warmer is. Het zeeniveau was gemiddeld 10 tot 40 meter hoger dan tegenwoordig en de atmosferische CO₂-concentratie was tussen de 270 en 400 ppm. In de moderne tijd werd in 2015 voor het eerst weer een atmosferische CO₂-concentratie van 400 ppm geregistreerd. Vóór de industriële revolutie was deze waarde 280 ppm. Vanwege de gelijkenissen met het globale klimaat dat wordt voorspeld voor het einde van deze eeuw, wordt het Pliocene dan ook vaak bestudeerd door paleontologen, geologen, geochemici en paleoklimatologen. Overigens leefde onze oudst bekende voorouder, Lucy, een *Australopithecus afarensis*, rond 3,2 miljoen jaar geleden in het Laat-Pliocene (in het huidige in Ethiopië).

Fossiel fytoplankton

Dinoflagellaten zijn microscopisch fytoplankton en één van de belangrijkste primaire producenten van biomassa in de moderne oceanen. Veel dinoflagellatensoorten hebben licht nodig om via fotosynthese in hun energiebehoefte te voorzien, maar ze komen ook voor als predators, parasieten en symbionten met bijvoorbeeld koralen. Ze worden voornamelijk aangetroffen in zeeën en oceanen, maar evenzeer in zoetwatermilieus. Sommige soorten maken een cyste aan, die als fossiel bewaard kan blijven in het sediment. Deze cysten hebben een celwand



Afb. 1. De huidige oppervlaktetemperatuur (World Ocean Atlas, 2005) en stromingen in de Nordic Seas. De locatie van twee Ocean Drilling Program sites met Pliocene sedimenten waarvan de dinoflagellatencysten bestudeerd werden is ook weergegeven. Bron: Stijn De Schepper, Uni Research and Bjerknes Centre for Climate Research.

van kalk, silica of organisch materiaal. Vooral de dinoflagellatencysten met een organische wand uit dinosporin, vergelijkbaar met sporopollenin uit pollen, werden traditioneel gebruikt door olie- en gasbedrijven voor biostratigrafisch onderzoek (de bepaling van de leeftijd van gesteente of sediment aan de hand van fossielen). Dergelijk onderzoek gebeurt nog steeds, maar tegenwoordig worden dinoflagellatencysten steeds vaker gebruikt voor paleo-oceanografisch en paleoecologisch onderzoek. Vooral op hoge breedtegraden zijn ze een populaire fossielgroep, omdat daar meer dinoflagellatensoorten worden gevonden in vergelijking met andere microfossielen groepen. Een aantal voorbeelden van dinoflagellatencysten met een organische wand uit het Pliocene van de *Nordic Seas* is weergegeven in afb. 2.

De verspreiding van dinoflagellatencysten in de moderne oceanen is goed gedocumenteerd in verschillende atlanten. Hun aanwezigheid in sediment is gerelateerd aan de temperatuur en het zoutgehalte van het oppervlaktewater, de aanwezigheid van nutriënten en daardoor indirect ook aan zeestromingen. De kennis over het milieu waarin de dinoflagellaten leefden, kan ook worden toegepast op het Pliocene, een geologische tijd waarin dinoflagellatencysten essentieel zijn om de geschiedenis van de *Nordic Seas* te reconstrueren en te begrijpen. Ze zijn zo belangrijk in de *Nordic Seas* omdat daar kalkschalige en silica microfossielen erg slecht bewaard blijven en dus nauwelijks als



Afb. 2. Fossiele dinoflagellatencysten uit Vroeg-Pliocene sedimenten uit de Noorse Zee (ODP Site 642, Vøring Plateau). V.l.n.r.: *Operculodinium tegillatum*, *Baticasphaera minuta*, *Corrudinium devernaliae* en *Reticulatosphaera actinocoronota*. Deze soorten stierven rond 4,5 miljoen jaar geleden in de Noorse Zee uit. Schaal: 20 µm. Bron: Stijn De Schepper, Uni Research and Bjerknes Centre for Climate Research.

fossielen voorkomen. Als ze al aanwezig zijn, dan zijn het vaak weinig diverse assemblages, terwijl dinoflagellatencysten een grote verscheidenheid aan soorten vertonen, in grote aantallen aanwezig zijn, goed bewaard zijn gebleven en het mogelijk maken om de geschiedenis van de *Nordic Seas* onthullen.

Moderne circulatie

Rond ongeveer 4 miljoen jaar geleden koelde het oppervlaktewater van de wereldoceanen geleidelijk af. Dit proces begon grotendeels tegelijkertijd met een afname van het CO₂-gehalte in de globale atmosfeer. In de *Nordic Seas* lijkt de afkoeling van het zeeoppervlak al 500.000 jaar eerder te zijn begonnen, dus rond 4,5 miljoen jaar geleden. Aanwijzingen voor deze afkoeling van de *Nordic Seas* alsook van een veranderd circulatiepatroon komen van twee sedimentkernen uit de Noorse Zee en de IJsland Zee, die met het boorschip *Ooides Resolution* tijdens wetenschappelijke cruises van het Ocean Drilling Program (www.iodp.org) geboord werden. Om Pliocene sedimenten te kunnen analyseren moet er op grote diepte in de oceanen worden geboord. Daar kan men ononderbroken, gelaagde sedimentkernen naar boven halen voor geologisch, geochemisch en paleontologisch (bijv. aan dinoflagellatencysten) onderzoek. Uit de analyses blijkt dat de soortensamenstelling van de di-

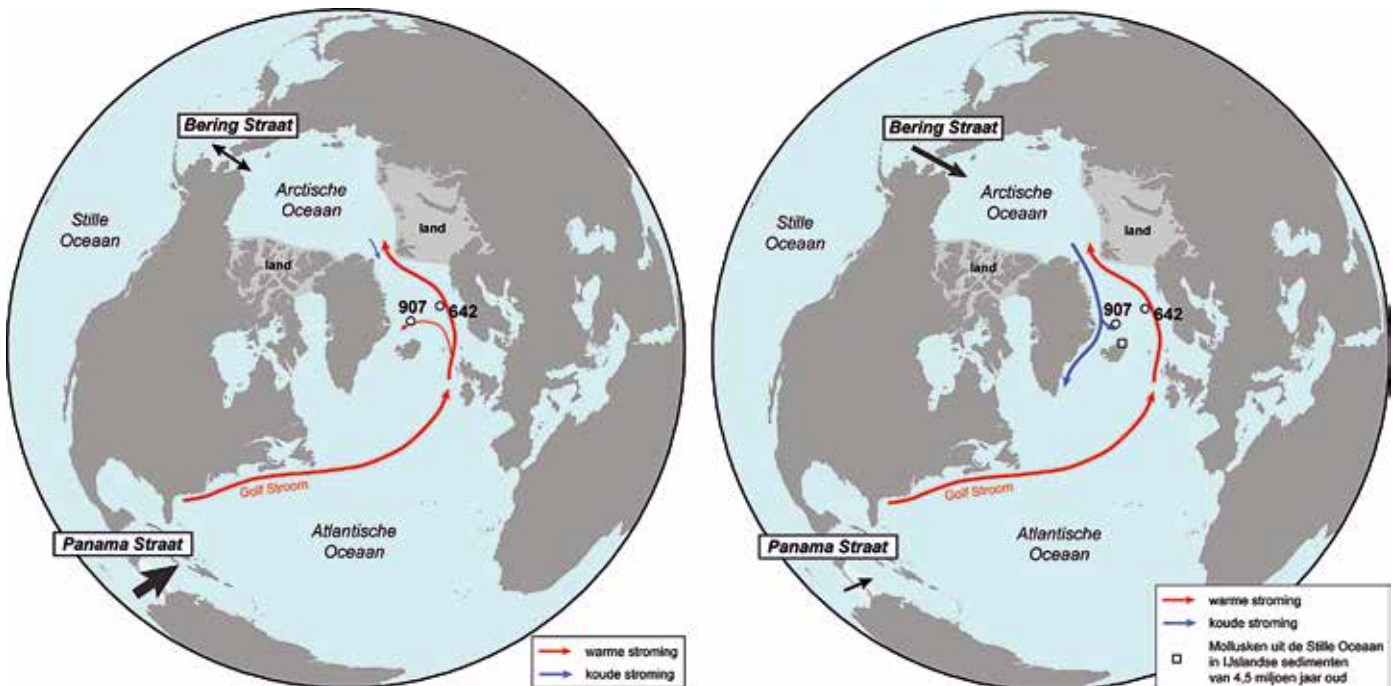
noflagellatencysten 4,5 miljoen jaar geleden een fundamentele verandering onderging; toen zijn verscheidene soorten in de IJsland Zee en de Noorse Zee uitgestorven. Deze veranderingen hangen samen met een afkoeling van de oppervlaktetemperatuur in die regio. Op grond van de analyse van de cysten blijkt dat de afkoeling het sterkst was in de IJsland Zee. Dit komt waarschijnlijk doordat kouder en zoeter water vanuit de Arctische Oceaan zuidwaarts langs Oost-Groenland ging stromen, daar

waar we tegenwoordig de moderne Oost-Groenland-stroming aantreffen.

Vanaf 4,5 miljoen jaar geleden begon het temperatuur- en circulatiepatroon van de oppervlaktestromingen, die we vandaag in de *Nordic Seas* kennen, zich dus voor het eerst af te tekenen. Aangezien dit een half miljoen jaar vóór de afkoeling van het oppervlaktewater van de wereldoceanen gebeurde, is een ander mechanisme dan de afname van het globale atmosferische CO₂-gehalte de oorzaak van de veranderingen in de *Nordic Seas*.

Veranderde stroming in de Beringstraat

De veranderingen in de *Nordic Seas* kunnen gekoppeld worden aan een gewijzigde situatie bij de Beringstraat. Vóór 4,5 miljoen jaar geleden was de stroming door de Beringstraat voornamelijk afkomstig vanuit de Arctische Oceaan naar de Stille Oceaan. Hierna keerde de stroming om en vloeide kouder en zoeter water vanuit de Stille Oceaan in de Arctische Oceaan, net zoals tegenwoordig. Bewijzen hiervoor trof men reeds aan in eerdere studies waar koudwatermollusken, die tijdens het Plioceen in de Stille Oceaan leefden, gevonden werden in de Tjörnes-sectie in het noordoosten van IJsland. De oudste mollusken met oorsprong in de Stille Oceaan werden aangetroffen in 4,5 miljoen



Afb. 3. Links. Vóór 4,5 miljoen jaar geleden stroomde water van de Stille naar de Atlantische Oceaan via de Panamastraat en waren de stromingen in de *Nordic Seas* anders dan tegenwoordig. Rechts. Toen de Panamastraat tussen 4,8 en 4,2 miljoen jaar geleden ondieper werd, ging er meer water van de Stille Oceaan via de Beringstraat naar de Arctische en Atlantische Oceaan stromen. Dit leidde tot een nieuw circulatiepatroon in de *Nordic Seas*, dat sterk lijkt op het moderne patroon. Bron: Stijn De Schepper, Uni Research and Bjerknes Centre for Climate Research.