



Paleoklimaat onderzoek rond Antarctica

JULIAN HARTMAN

De gevolgen van de klimaatverandering zijn met name merkbaar op de polen. De concentratie zeeijs in het Arctisch gebied neemt al enkele decennia sterk af en ook rondom Antarctica lijkt – terwijl eerder geen duidelijke trend waarneembaar was – een omslagpunt te zijn bereikt nu enkele jaren nieuwe laagterecords zijn gemeten (Afb. 1). Daarnaast wordt de Antarctische ijskap mogelijk meer bedreigd door opwarming dan voorheen werd gedacht, omdat veel van het ijs onder zeeniveau ligt en daarom gevoelig is voor relatief warmer water dat de ijskap van onderaf kan doen smelten. De concentratie zeeijs op de polen wordt echter pas sinds de vorige eeuw met satellieten gemonitord. Om te bepalen wat de effecten zijn van klimaatverandering voor het ijs op de polen gedurende langere perioden en daarmee wat we kunnen verwachten in de toekomst moeten we ons wenden tot periodes opwarming in het geologisch verleden van de Aarde.

AFBEELDING BOVEN. | *Antarctica.*

Bron: *AdobeStock.*

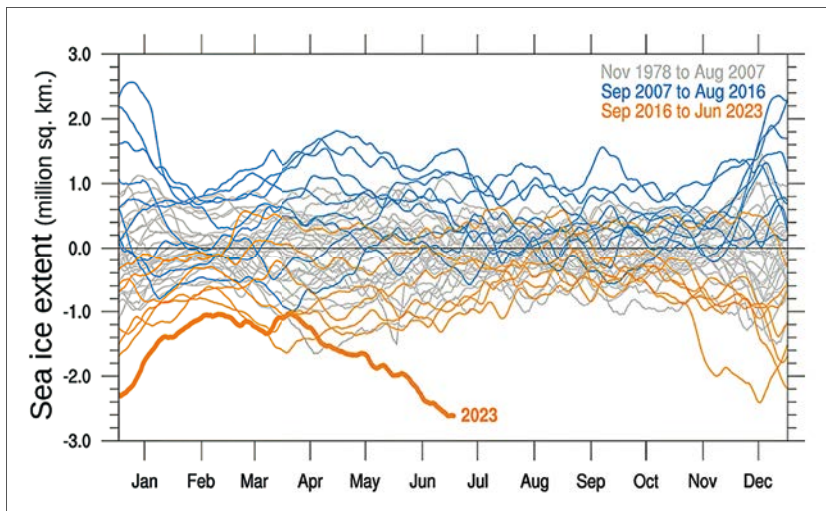
Om dat verleden te onderzoeken wordt gebruik gemaakt van zogenaamde proxies: indirecte bepalingen op basis van chemische samenstelling of biologische resten, die over periodes van miljoenen jaren bewaard zijn gebleven op de oceanbodem. Verschillende soorten plankton die rondom Antarctica leven produceren een ‘huisje’ van een resistent materiaal, waarvan een fractie uiteindelijk als sediment op de oceanbodem belandt en fossiliseert. In paleoklimaatreconstructies worden deze microfossielen gebruikt

om de condities in het oppervlaktewater van de oceaan te reconstrueren. Dergelijke reconstructies gaan ervan uit dat de beestjes die die ‘huisjes’ maken voorkeur geven aan bepaalde oppervlaktewatercondities en dat deze voorkeur door de tijd heen constant is gebleven. Door de microfossielen uit oppervlaktemonsters van de oceanbodem op verschillende breedtegraden te onderzoeken en deze te relateren aan de verschillende oppervlaktewatercondities, kunnen correlaties tussen het voorkomen van soorten en bij-

voorbeeld de temperatuur, saliniteit, zeeijsconcentratie of productiviteit in het oppervlaktewater worden gelegd en worden gebruikt in klimaatreconstructies.

Veel van deze reconstructies zijn gebaseerd op microfossielen van carboonaat of silica, maar in veel mindere mate zijn deze gebaseerd op organische microfossielen (zogeneten palynomorphen), zoals dinoflagellatencysten (Afb. 2). Het is van belang om ook palynomorphen te bestuderen, omdat





AFBEELDING 1. | Sterk afwijkende zeeijsbedekking rond Antarctica in 2023 vergeleken met langjarige gemiddeldes.

rondom Antarctica microfossielen van carbonaat niet goed preserven en ook microfossielen van silica beneden een bepaalde diepte onder de zeebodem, het zogenaamde diagenetisch front, rekristalliseren. Organische microfossielen kunnen daarom een waardevol alternatief dan wel een waardevolle toevoeging zijn aan de beschikbare proxies die ons in staat stellen het klimaat uit het verleden te reconstrueren. Een van de uitdagingen hierbij is dat de soortendiversiteit aan dinoflagellatencysten richting de Antarctische kust afneemt. Er is daarom behoefte aan kennis over wat andere palynomorphen ons kunnen vertellen over de oppervlaktewatercondities in het verleden.

Om die reden is er recent onderzoek gedaan naar de zeer koolstofrijke monsters uit boorkern U1357, die is opgeboord in het Adélie Bekken (Afb. 3). Monsters uit deze kern zijn in het laboratorium zó bewerkt met zuren waardoor alle carbonaat en silica is opgelost en alleen de organische resten achterblijven. In deze monsters zijn naast dinoflagellatencysten ook resten van tintinniden, copepoden (roeipootkreeftjes), prasinofyten (groene algen) en borstelwormen gevonden en heeft daarmee onze kennis over palynomorphen nabij Antarctica sterk vergroot. Kennis van de leefomgeving van deze dieren draagt bij aan het reconstrueren van het klimaat aan de hand van boorkernen, zoals kern U1357, die de afgelopen 11.000 jaar (het Holocene) bevat.

Naast microfossielen kan ook gebruik worden gemaakt van moleculaire resten voor het reconstrueren van het klimaat in het verleden. Een voorbeeld hiervan zijn de moleculaire resten van Archaeabacteriën, specifiek die van de groep van de Thaumarchaeota, die afhankelijk van de temperatuur van het zeewater meer

of minder cyclopentaan-ringen in hun membraanlipiden synthetiseren. Op basis van de verhouding tussen de overblijfselen van deze verschillende membraanlipiden (met de chemische afkorting GDGTs; zie ook Afb. 4) met meer of minder cyclopentaanringen is een proxy ontwikkeld, die bekend staat als TEX₈₆. Voor deze proxy zijn meerdere calibratiemethoden ontwikkeld om de absolute temperatuur van het zeewater te reconstrueren. Boven de 5°C is sprake van een eenduidige relatie tussen TEX₈₆ en de temperatuur van het oppervlaktewater van de oceaan, maar daaronder niet, waardoor het gebruik van deze proxy uitdagend is in de polaire gebieden. Momenteel wordt onderzocht of in polaire gebieden een nieuwe proxy kan worden ontwikkeld door ook gebruik te maken van de verhouding tussen GDGTs en andere moleculen die in het sediment bewaard zijn gebleven en oorspronkelijk door Archaeabacteriën zijn geproduceerd.

Met behulp van dergelijke proxies kunnen periodes van opwarming in het verleden worden onderzocht. Warme periodes in het geologisch verleden zijn bekend aan de hand van de ratio tussen de lichtere en zwaardere zuurstofisotopen in de carbonaathuisjes van op de oceaانبodem levende foraminiferen. In ijs bevinden zich namelijk met name lichtere zuurstofisotopen en hoe groter de ijskap hoe lager het relatieve gehalte aan lichtere zuurstofisotopen in de oceaan. Daarnaast nemen deze foraminiferen ook minder lichtere zuurstofisotopen op in hun carbonaathuisjes als de temperatuur van het diepzeewater kouder is. Beide processen zorgen voor relatief meer zwaardere zuurstofisotopen in de car-



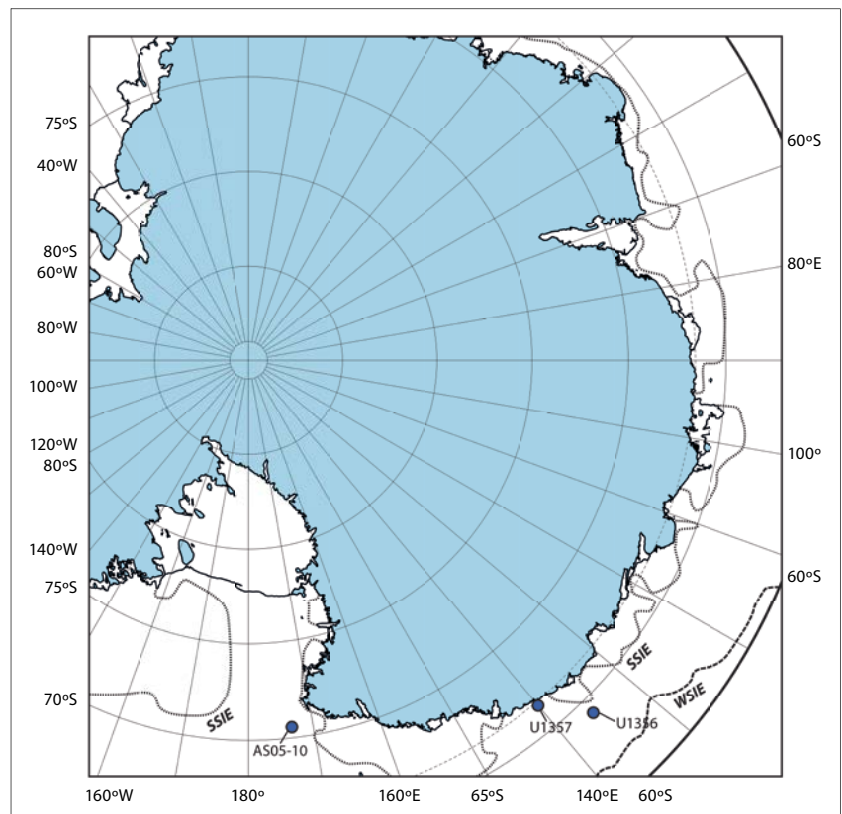
AFBEELDING 2. | Voorbeelden van organische dinoflagellatencysten.

bonaathuisjes en vice versa bij warmere perioden en een (daarmee samenhangende) kleinere ijskap.

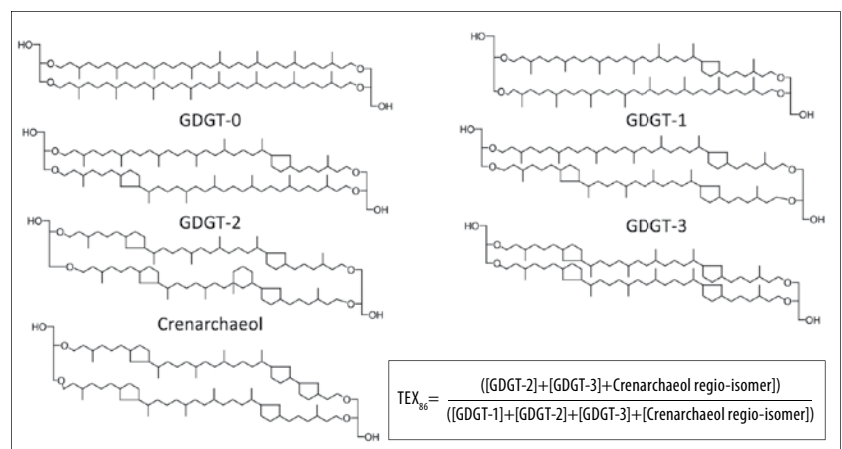
Een belangrijke periode sinds het bestaan van een grote Antarctische ijskap zo'n 34 miljoen jaar geleden is het Oligoceen (34 tot 23 miljoen jaar geleden; Afb. 5). Het Oligoceen wordt namelijk gekenmerkt door koolstofdioxideconcentraties (CO₂) in de atmosfeer die overeenkomen met vandaag de dag en wat in de rapporten van het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) voorspeld is voor de komende eeuw (400 tot 650 ppmv). CO₂ is het belangrijkste broeikasgas op Aarde als het gaat om het versterken van de warmtestraling van de zon. Het onderzoeken van periodes met CO₂concentraties die vergelijkbaar zijn met vandaag of wat men verwacht in de toekomst, kan belangrijke inzichten geven in de stabiliteit van de Antarctische ijskap bij dergelijke CO₂ concentraties. Het Oligoceen wordt gekenmerkt door sterke schommelingen in de verhouding tussen lichte en zware zuurstofisotopen, wat er op zou kunnen duiden dat de Antarctische ijskap zeer dynamisch is als de variabiliteit volledig wordt veroorzaakt door volumeveranderingen van de ijskap en de temperatuur van de diepzee nauwelijks veranderde. Op basis van deze variabiliteit zou de omvang van de Antarctische ijskap moeten hebben gefluctueerd tussen de 50 en de 125% van zijn huidige omvang. Andersom zou de Antarctische ijskap juist zeer stabiel zijn geweest als de schommelingen van de zuurstofisotopen met name het gevolg zijn van schommelingen in de temperatuur van het diepzeewater.

Recent onderzoek aan de hand van boorkern U1356, afkomstig van de kust van Wilkesland toont met behulp van dinoflagellatencysten en TEX₈₆ aan dat de oppervlaktewatertemperaturen nabij Antarctica tijdens het Oligoceen gemiddeld 17°C waren en sterk schommelden. Het is daarmee waarschijnlijk dat (een deel van) deze temperatuurschommelingen ook zijn weerslag vindt in de diepzee, aangezien oppervlaktewater rondom Antarctica door natuurlijke processen naar de diepzee wordt getransporteerd. Dat zou betekenen dat de Antarctische ijskap destijds vrij stabiel zou zijn geweest ondanks dat de oppervlaktewatertemperaturen veel hoger waren dan tegenwoordig.

De configuratie van de continenten op Aarde was in het Oligoceen echter anders dan tegenwoordig, wat van invloed kan zijn geweest op het warmtetransport via het oceaanwater naar Antarctica. Australië en Zuid-Amerika bevonden zich dichterbij Antarctica, waardoor de Antarctische Circumpolaire Strooming nog niet zo sterk was als nu. De warme watertemperaturen maken het niet waarschijnlijk dat gletsjers van de Antarctische ijskap ver in zee uitmondten, maar dat een grote ijskap toch mogelijk was doordat – anders dan nu – de basis van die ijskap niet onder zeeniveau lag omdat nog veel minder erosie van het Antarctisch continent had plaatsgevonden. Dat zou ook kunnen verklaren waarom de ijskap relatief stabiel was, omdat deze minder gevoelig was voor beïnvloeding door warme zeevatertemperaturen. Het is daarom ook belangrijk om naar recentere periodes van opwarming te kijken, waarbij de configuratie van de continenten meer lijkt op vandaag de dag.



AFBEELDING 3. | Locaties van de verschillende boorkernen rond Antarctica.



AFBEELDING 4. | GDGTs zijn moleculen die in de membranen van Archaea worden gevormd en afhankelijk van de watertemperatuur meer of minder cyclopentaanringen vormen. GDGTs blijven goed bewaard in sedimenten op de zeebodem. Door ratio's van de moleculen te meten ten opzichte van een standaard kan de temperatuur van het zeewater in het verleden worden bepaald.

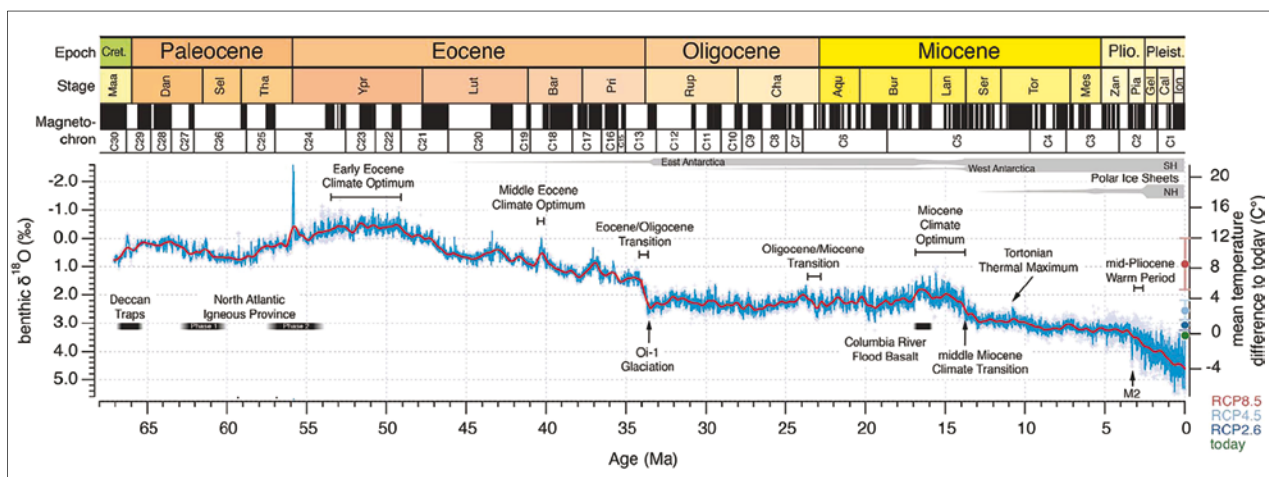


Het verschuiven van continenten is een langetermijnproces, maar bij klimaatreconstructies is het tevens van belang om rekening te houden met de variatie op kortere termijn. Afhankelijk van de stand van de Aarde en de vorm haar baan rondom de Zon ontvangt de Aarde meer of minder zonnestraling en derhalve ook meer of minder warmte. Deze veranderingen zijn cyclisch en herhalen zich elke 19 tot 100 duizend jaar. Dit leidt tot de afwisseling van glacialen (ijstijden) en interglacialen (warme periodes tussen ijstijden), waarbij het einde van de laatste ijstijd zo'n 11.000 jaar geleden was. Elk van de glacialen en interglacialen van het Pleistoceen (2,5 miljoen jaar tot 11.000 jaar geleden) zijn genummerd als *Marine Isotope Stages* (MIS).

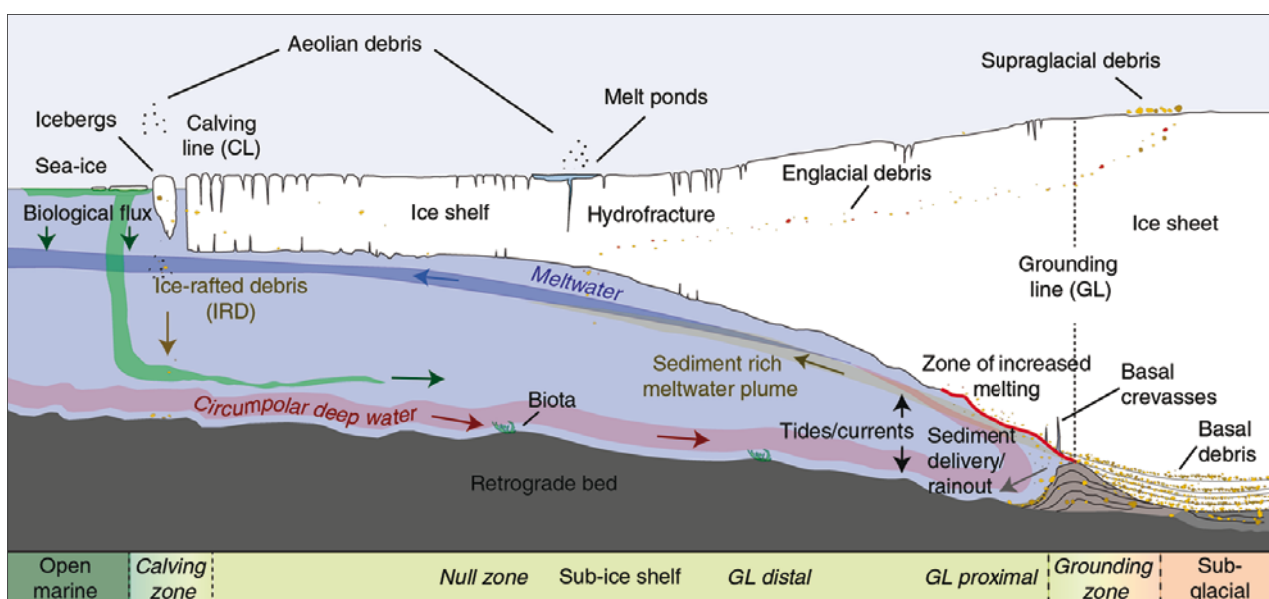
Aan de hand van monsters van boorkern AS05-10 uit het Adare Bekken nabij de Ross Zee zijn de oppervlaktewatercondities gedurende MIS9 tot MIS5 gereconstrueerd. Daarbij is het einde van MIS5, ookwel bekend als de Laatste Interglaciaal, een belangrijke periode om te onderzoeken, omdat deze periode warmer was dan nu (gemiddeld 0,7°C warmer), terwijl de configuratie van de continenten en de oceaanstromen nagenoeg hetzelfde waren. Naast organische microfossielen en TEX₈₆ zijn ook diatomeeën (microfossielen van silica), foraminiferen en andere geochemische proxies gebruikt. Daaruit blijkt dat elke glaciale-interglaciale transitie wordt gekenmerkt door het opbreken van het ijsplateau dat vanaf de gletsjer in zee uitmondt, vrijkomend smeltwater en een

steeds verder zuidelijke terugtrekking van de zomerzeeijsgrens. De gereconstrueerde (zomer)temperatuur van het oceaanwater tijdens de Laatste Interglaciaal was 2,5°C warmer dan nu.

Deze veranderingen zijn vergelijkbaar met de effecten van klimaatverandering vandaag de dag, gezien het feit dat de temperatuur van het oceaanwater ten westen van het Antarctisch Peninsula reeds met 1°C is gestegen sinds 1955 en er sprake is van een toename van smeltwater van het Antarctisch continent dat uitstroomt in de Ross Zee. Dit soort reconstructies schetsen dus een beeld van wat ons in de nabije toekomst mogelijk staat te wachten en onderstrepen het belang van klimaatreconstructies van warme periodes uit het geologisch verleden.



AFBEELDING 5. | Lange termijn ontwikkeling van watertemperatuur gebaseerd op zuurstofisotopen in foraminiferen.



AFBEELDING 6. | Doorsnede door Antarcticaanse ijskap. De ijskap wordt beïnvloed door oceaan water temperaturen. Warmer water dat de ijskap van onder doet smelten zorgt voor instabiliteit.

