

Om de huidige klimaatveranderingen te begrijpen moeten we naar de ontwikkelingen in het verleden kijken. Het verre verleden is te reconstrueren via verschillende methoden die elkaar aanvullen in tijd en plaats. Samen leveren ze de data om klimaatmodellen te verfijnen, te testen en het klimaat te voorspellen.

‘Dat is nog niet zo warm als 120.000 jaar geleden, toen het in het Eemien in De Bilt op 12 februari 18 °C werd.’ Erwin Krol zal het niet zeggen tijdens zijn weerbericht. Vóór de 18de eeuw werden er geen systematische waarnemingen gedaan van het klimaat op aarde. Over de situatie in de Middeleeuwen kunnen we nog putten uit oude bronnen van bijvoorbeeld wijnoogsten of journalen van dijkgraven, waarin hoge waterstanden of ijsgang in de rivieren beschreven staan. Uit de schilderijen van de oude Hollandse meesters zou je kunnen opmaken dat de winters strenger waren dan nu. Al deze waarnemingen geven echter eerder extremen aan dan dat ze ons een beeld verschaffen van de gemiddelde situatie.

Hoe zien die methoden eruit, waarop zijn ze gebaseerd en wat leveren ze op? We beginnen met de metingen in de oceaan, kruipen via de rivierdelta’s het land op en eindigen in de bergen.

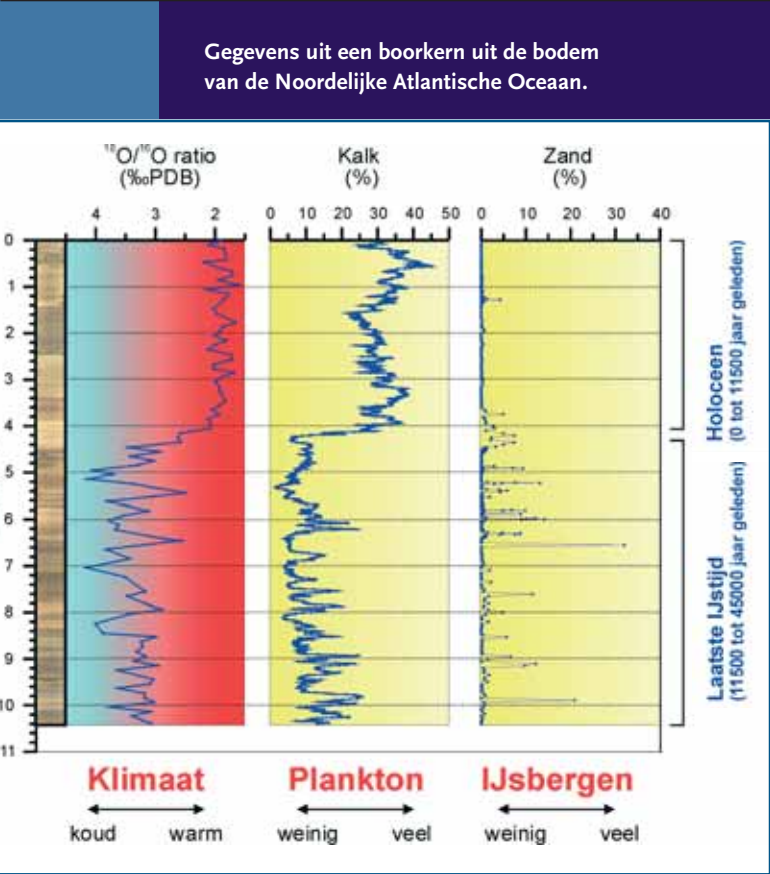
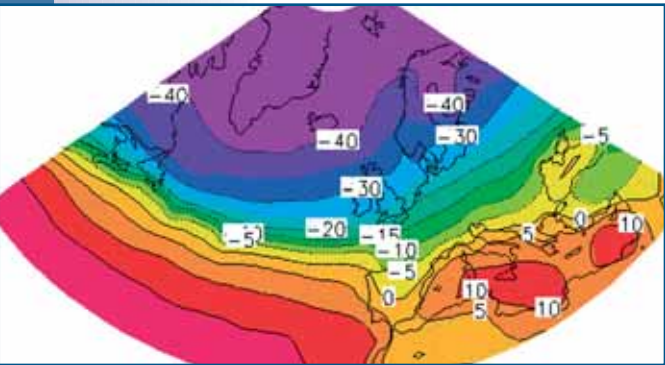
Stoffig
‘Löss, bekend uit de Limburgse heuvels en uit de Sahara als er een oranje laagje op de auto achterblijft na een regenbui, waait de aarde over en komt ook in de oceaan terecht’, begint Maarten Prins, paleoklimatoloog zijn uitleg. ‘Bij boringen voor de kust van Zuidoost-Azië vertellen woestijnstof en riviermodder ons hoe sterk zomer- en wintermoessons daar zijn geweest. Dat gaat als volgt. In de winter ligt een groot hogedrukgebied

Oude thermometers

om het klimaat te reconstrueren

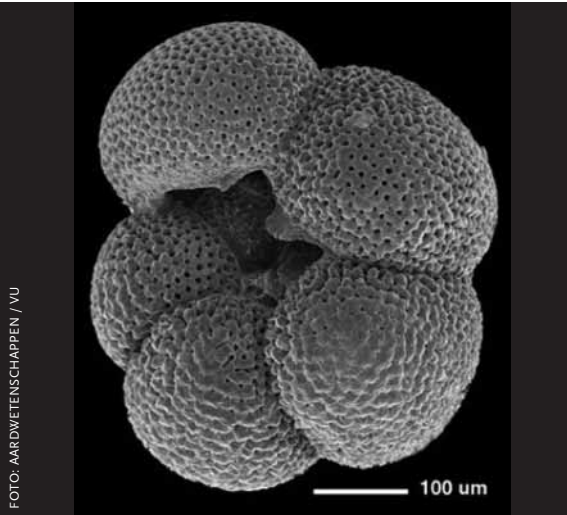
Nog verder terug, vóór het geschreven woord, zullen we het moeten doen met indirecte gegevens die ons iets vertellen over het klimaat van vroeger. Ze worden geduid met de Engelse term *proxy*’s. Neem bijvoorbeeld de boomringen waarmee Mann tot zijn hockeystick-grafiek kwam (zie pag. 14). Maar er zijn meer methoden; de ene vertelt in detail over plaats en tijd, de ander is juist handig voor een grootschaliger beeld over langere tijd. De ene keer komen we iets te weten over het klimaat op het land, de ander keer over de zee. Bij elkaar geven ze een redelijk compleet beeld van de klimaatgeschiedenis op aarde.

Gemiddelde temperaturen in januari tijdens de laatste volgglaciale periode, het Weichselien, volgens een model van paleoklimaatmodelleur Hans Renssen.



Links een boorkern, daarnaast de verhouding van de zuurstofisotopen, het percentage kalk (veel plankton betekent hogere temperaturen) en zand (dat uit smeltende ijsbergen op de oceaانبodem valt: veel zand betekent veel ijsbergen, dus koud). Een duidelijke verandering voor alle drie de gegevens valt samen met het einde van de laatste ijstijd.

neutronen in de kern en daarmee een beetje zwaarder en trager in reacties. Er verdampt uit water dan ook meer ¹⁶O dan ¹⁸O. In koude perioden blijft die ¹⁶O vooral achter in sneeuw en ijsbedekking op het land, en is er relatief iets meer ¹⁸O in het zeewater. Het plankton legt de verhouding tussen ¹⁶O en ¹⁸O zeer nauwkeurig vast. ‘Na afsterving komt het grootste deel van het plankton op de oceaانبodem terecht op vorige generaties’, vervolgt Peeters. ‘En de kinderen en kleinkinderen komen er weer achteraan. Zo is de oceaانبodem een gigantisch kerkhof van plankton. Als we nu door boringen tot kilometers diepte in de oceaانبodem de fossieltjes



Kalkskeletje van ongeveer een halve millimeter. Elke soort plankton (foraminifeer) heeft een karakteristieke vorm. Dit is het genus *Neoglobobulimina* en de soort *quadrina*.

‘Uit schelpen weten we dat Columbus in een droge periode met veel harde wind op het eiland Guadeloupe landde. Was hij op een ander moment gekomen, dan was hij bij Brazilië uitgekomen.’

omhooghalen en weten hoe lang geleden ze geleefd hebben, vertelt het fossiel ons de temperatuur van het zeewater waarin het geleefd heeft. Een paleothermometer dus. Door de geologische tijd heen hebben deze organismen een snelle ontwikkeling doorgemaakt. De verschillende soorten kunnen daarmee ook een snelle eerste indruk geven van hoe oud het naar boven gehaalde oceaانبodemsediment is.’

Schelpen
Op basis van dit principe kan het klimaat uit de jaar-ringen van allerlei kalkbouwsels worden gereconstrueerd. Paleoklimatoloog Simon Troelstra werkt de laatste tijd met steeds meer verschillende ‘kalkskeletten’: onder andere mammoettanden, koralen, schelpen en stalagmieten.
Troelstra enthousiast: ‘Bij schelpen kun je met andere isotopen zoals strontium en barium nog meer achterhalen. Niet alleen de temperatuur, maar ook of een jaar nat of droog is. Zo zijn al heel wat opmerkelijke feiten boven water gekomen. Colombus landde op zijn tweede tocht naar Amerika in 1493 op Guadeloupe. Uit schelpen weten we dat dit tijdens een droge periode was met harde wind. Het eiland was daarom vrijwel onbewoond. Was hij vroeger of later gekomen, dan was hij in Brazilië geland.’ Troelstra loopt naar zijn tafel vol fossielen, slakkenhuisjes en koralen, en pakt een paar oude schelpen. ‘Weet je dat deze fossiele schelpen aangeven dat in het Amazonegebied al ruim 17 miljoen jaar dezelfde afwisseling van droge en natte seizoenen plaatsvindt? Dat verklaart meteen de enorme diversiteit in het gebied: planten en dieren hoefden zich nauwelijks aan de omstandigheden aan te passen en hadden alle tijd voor een extra blauwe veer of een andere bloeiwijze. In Nederland was het krap 15.000 jaar geleden nog een barre toendra voor het ijs uit. Geen wonder dat onze meest exotische vogels de merel en de pimpelmees zijn.’ Maar ook dichterbij huis valt van alles uit schelpen te lezen. ‘Fossiele stroommossels (*Unio crassus batavus*), die vijftien jaar oud kunnen worden, hebben feilloos vastgelegd hoe vaak de Maas en de Rijn overstroonden vóór de mens dijken ging aanleggen. Afhankelijk van de groeisnelheid zit in een stukje schelp van slechts 0,1 mm al een geschiedenis van een week tot enkele maanden. Met een tandartsboortje worden de jaarringen uitgeboord en met een massa-

‘Fossiele stroommossels hebben feilloos vastgelegd hoe vaak de Maas en de Rijn overstroomden vóór de mens dijken ging aanleggen.’

spectrometer wordt per jaarring de isotopensamenstelling bepaald. Het water van de Maas heeft een andere $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -verhouding dan Rijnwater (respectievelijk een regen- en smeltwaterrivier) en daarmee kun je dus bepalen welke rivier wanneer is overstroomd. Dat is vervolgens een indicatie voor de zogenoemde Noord-Atlantische oscillatie, het drukverschil tussen het hoge-drukgebied boven de Azoren en de lage druk in de polaire regio. Als dit verschil groot is, worden depressies afgebogen en komen ze in Noordwest-Europa aan land: dan is het nat bij ons. Als het drukverschil klein is, drijven de depressies af naar het Iberische schiereiland en is het juist droger in onze streken. Let maar eens op het weerbericht: als het bij ons mooi weer is, trekken depressies over Spanje en andersom!’

Druipsteengrotten

Stalagmieten en stalactieten uit druipsteengrotten zijn ook zeer bruikbaar voor klimaatmetingen. Ze groeien voornamelijk aan in natte perioden, als er veel water in de grotten doorsijpelt. In een dun plakje stalagmiet zijn deze groeiringen duidelijk zichtbaar en is het verschil tussen natte perioden (veel kleine ringen) en een droge periode met het blote oog te zien. Een beetje stalagmiet heeft enkele tienduizenden jaren aan klimaatgeschiedenis vastgelegd! Ook hier gebruiken we de verhouding tussen verschillenden isotopen. Paleoklimatologen en studenten van de VU zijn nu bezig met het verzamelen van stalagmieten uit grotten in Marokko om uit te zoeken hoe en wanneer precies de Sahara veranderde van een groene savanne waar nijlpaarden en leeuwen rondliepen, in een dorre woestijn.

Stuifmeelkorrels

Pollen, stuifmeelkorrels van planten, mogen bijzonder lastig zijn voor mensen met een allergie, voor klimaat-onderzoekers hebben ze een aantal handige eigenschappen: ze komen in groten getale voor, blijven goed bewaard en elk soort heeft een karakteristieke vorm.

Stuifmeel van 'warme vegetatie', gezien door een microscoop.

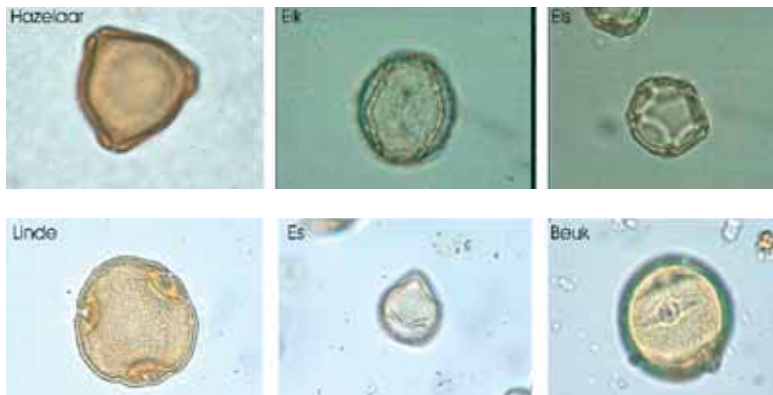


FOTO: AARDWETENSCHAPPEN / VU



FOTO: JACQUES DESCLOTRES / NASA / MODIS RAPID RESPONSE TEAM

Sjoerd Bohncke, palynoloog (stuifmeelkorrelspecialist), legt uit: ‘Als we met een boring uit een meertje sediment van verschillende ouderdom omhooghalen, kunnen we met een microscoop precies zien welke vegetatie in welke periode overheerste. Zo is de stuifmeelkorrel van een berk duidelijk te onderscheiden van die van gras- sen.’ En die vegetatie vormt een indicatie voor de temperatuur. ‘Een goed voorbeeld is de grote lisdodde (*Typha latifolia*)’, vertelt Sjoerd Bohncke. ‘Deze waterplant gedijt ’s zomers alleen als het minimaal 13°C is. Wanneer de paleo-ecologen in oude afzettingen zaden of stuifmeelkorrels van de lisdodde vinden, weten ze dat het in de zomer in ieder geval 13°C was.’

IJzig

‘Ook landschapsvormen kunnen ons vertellen wat de temperatuur op zijn minst moet zijn geweest’, aldus Kees Kasse, kwartairgeoloog. ‘Dit principe werkt vooral voor zogeheten periglaciaire omstandigheden, waarin de bodem geheel of gedeeltelijk bevroren was. Voor Nederland dus de perioden van de ijstijden. Het bekendste voorbeeld is een vorstwig. Die ontstaat doordat de bodem scheurt; het scheurtje loopt in de zomer vol met water dat in de volgende winter bevroert, uitzet en daarmee voor een bredere scheur zorgt. Zulke ijswiggen vinden we ook in de ondergrond van Nederland. De gemiddelde jaartemperatuur moet voor een ijswig rond min 8°C liggen, in de winter zal min 20°C geen uit-

zondering zijn geweest. Overdag welteverstaan. Door nu te kijken naar gebieden die overeenkomen met hoe het er hier in de ijstijden uitgezien moet hebben, zoals Canada en Lapland, vind je nog meer karakteristieke landschapsvormen die wat over ijsbedekking zeggen.’ Een ander voorbeeld zijn eskerruggen. Dat zijn oorspronkelijk holtes onder een ijsbedekking geweest, die door stromend water met zand en grind gevuld raakten. Na het afsmelten van de ijskap bleven de ruggen in het landschap achter. De temperatuur moet daar gemiddeld ruim onder nul zijn geweest om de ijskap op zijn plek te houden.

Smelten

De langste ongestoorde klimaatgeschiedenis halen we uit ijskappen op Antarctica en Groenland. De ijskappen zijn laagje voor laagje opgebouwd uit sneeuw dat werd samengeperst tot ijs. Tussen de ijskristallen blijft altijd wat lucht zitten waarin zowel het CO₂- als het methaangehalte te bepalen zijn. Boringen in de ijskap van de zuidpool kwamen tot 3100 m diep. Dat is tot 400.000 jaar terug in de tijd! Zo hebben onderzoekers de atmosferische concentraties van deze broeikasgassen voor een lange periode in de geschiedenis van de mens nauwkeurig kunnen vaststellen.

De andere methode zal niemand onbekend voorkomen: wie wel eens gletsjers bezoekt, kent de bordjes ‘in 1975 lag de gletsjer tot hier’. De Rhône-gletsjer in de

Stofstormen en rivierdelta's voor de kust van India en Pakistan. Bij boringen in de oceaانبodem vertellen de gevonden verhouding woestijnstof/riviermodder en de grootte van het woestijnstof hoe sterk de zomer- en wintermoesson in dit gebied geweest zijn.

Ook bij klimaatbepaling geldt: the past is the key to the present and the future!

Alpen is waarschijnlijk het bekendste voorbeeld. Het afsmelten zegt iets over de gemiddelde temperatuur in het smeltseizoen (mei-september) en over de neerslag ter plaatse. In 2003 trokken de gletsjers in de Zwitserse Alpen zich met gemiddeld 150 meter terug – sneller dan ooit sinds de metingen begonnen in de 19de eeuw. Ook de Vatnajökull, IJslands grootste ijsbedekking, is zich aan het aanpassen aan het huidige klimaat. Op historische luchtfoto's in het gebouwtje bij het ijsbergenmeer aan de zuidkant, waar afgekalfde blokken blauw ijs drijven, is duidelijk te zien dat het meer steeds groter wordt.

Combineren

Hans Renssen, paleoklimaatmodelleur, tovert een animatie van het wereldklimaat in de afgelopen 9000 jaar op zijn beeldscherm. ‘Kijk, hier in Noord-Afrika wordt het steeds geler, je ziet duidelijk

dat de Sahara verdroogt. Ook Spanje moet het met steeds minder neerslag doen.’ Door steeds krachtiger computers is het mogelijk geworden om met dezelfde formules als het KNMI gebruikt voor weersvoorspellingen, een computermodel te laten draaien. Daarbij zijn allerlei verbanden ingebouwd: door het smelten van het ijs op de polen neemt de aarde daar meer warmte op. Door de opwarming van de poolzeeën kan er minder CO₂ in het water opgelost blijven en dat komt weer vrij. ‘Je kunt zo'n model vergelijken met een *flight simulator*, alles zit erin om het vliegtuig te laten vliegen. Je kunt er allerlei verstoringen en scenario's mee doorrekenen en kijken wat er gebeurt.’

Door gegevens van verschillende plekken en resultaten van enkele van de hier genoemde methoden te combineren, kunnen we voor sommige tijdseenheden in de geologische geschiedenis het klimaat reconstrueren. En als we erin slagen met computermodellen deze vroegere klimaten te reconstrueren, kunnen we de modellen ook gebruiken om te testen hoe het wereldklimaat reageert op de huidige veranderingen in broeikasuitstoot. En weten we wat ons te wachten kan staan. *The past is the key to the present and the future!* ■

Meer informatie

- www.falw.vu.nl/klimaat
- www.geo.vu.nl/~pal, de website van de afdeling waar alle geciteerde werken.