



Bernd Andeweg

Vulkanen

Vulkaanuitbarstingen leidden ruim 55 miljoen jaar geleden tot een geleidelijke opwarming van de aarde. Op een gegeven moment werd het echter zo warm dat grote hoeveelheden methaan uit de oceaانبodem vrijkwamen. Het klimaat sloeg daardoor flink op hol.

Het klimaat warmde 55 miljoen jaar geleden in korte tijd flink op. Dat gebeurde toen een ongekende hoeveelheid methaan uit de oceaanbodem ontsnapte. Herhaling van zo'n klimaatsprong ligt volgens prof dr Dick Kroon ook bij de huidige opwarming van de aarde op de loer.

Klimaat op hol

Aardwetenschappers hebben de afgelopen jaren in de oceaanbodem aanwijzingen gevonden dat 55 miljoen jaar geleden de temperatuur op aarde in korte tijd met maar liefst vijf tot acht graden toenam. Een vergelijking met het heden is snel gemaakt. De komende eeuw warmt ons klimaat mogelijk ook 'flink' op door de toegenomen uitstoot van koolstofdioxide.

Wat veroorzaakte de spectaculaire temperatuurstijging 55 miljoen jaar geleden? En als we het antwoord op die vraag vinden, kunnen we dan beter voorspellen hoe ons klimaat de komende eeuwen zal veranderen? Met die vragen zette een internationaal team van onderzoekers afgelopen april koers naar de Walvis Rug, een onderzees gebergte voor de westkust van Zuid-Afrika. De expeditie vond plaats binnen het Ocean Drilling Program, een internationaal onderzoeksprogramma dat zich richt op de bestudering van de oceaanbodem en de aardkorst.

De leiding van de expeditie lag in handen van prof dr Dick Kroon, hoogleraar paleoklimatologie aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Half mei keerde Kroon met opmerkelijke resultaten terug. "Het klimaat sloeg 55 miljoen jaar geleden op hol omdat een grote hoeveelheid methaan ontsnapte uit de

oceaanbodem. Een versterkt broeikas-effect was het gevolg. De temperatuur op aarde spoot omhoog. Een belangrijke les voor ons. Als de temperatuur van de oceanen zo ver toeneemt dat methaan zich kan losmaken uit ijskristallen in de bodem is het proces van opwarming niet meer tegen te houden."

Broeikasaaarde

Even terug in de aardgeschiedenis. Dan kunnen we beter begrijpen wat de nieuwe ontdekking van Kroon en consorten betekent. Afrika en Zuid-Amerika zaten ooit aan elkaar vast, maar 120 miljoen jaar geleden begon de zuidelijke Atlantische Oceaan zich langzaam maar zeker te openen. Daar ligt tegenwoordig de Walvis Rug, waar het team in de oceaanbodem boorde.

De continenten Afrika en Zuid-Amerika dreven uit elkaar met een snelheid van een paar centimeter per jaar, de snelheid waarmee vingernagels groeien. Kroon: "55 Miljoen jaar geleden was dat dus al geruime tijd aan de gang. De oceaan was al open, zij het dat het water nog een stuk minder breed was dan nu. De noordelijke Atlantische Oceaan begon zich te openen tussen Groenland en Noorwegen, waarbij grote hoeveelheden lava naar boven kwamen."

Bij die uitbarstingen kwamen veel opgeloste gassen vrij die het broeikas-effect versterkten. Ook op andere plaatsen op aarde was de vulkanische activiteit hoog. "De gemiddelde temperatuur op aarde liep daardoor snel op. Het was in die tijd veel warmer dan tegenwoordig. Er waren kleine of geen ijskappen op de polen. We spreken wel van een broeikasaaarde, een aarde waarin het broeikas-effect extra sterk aanwezig is."

Om meer te weten te komen over het klimaat van toen lieten de onderzoekers vanaf hun onderzoeksschip de Joides Resolution kilometers aan buizen naar beneden zakken. "Een behoorlijk technische uitdaging. We boren op een waterdiepte van drie tot vijf kilometer een paar honderd meter in de oceaanbodem. Vervolgens moeten die buizen weer naar boven om de boorkernen aan dek te analyseren."

Plankton

De oceaanbodem bestaat niet uit zand en klei, zoals veel mensen denken. Kroon: "Rivieren voeren weliswaar zand en klei naar zee, maar dat blijft meestal liggen in ondiep water dichtbij de kust, zoals in de Noordzee. Slechts een klein deel daarvan komt in de open oceaan terecht. Zand en klei vormt nog



Boortoren

Vanaf het dek van de Joides Resolution boorden de onderzoekers op kilometers diepte de oceaanbodem in.

geen twintig procent van het sediment dat op de oceaanbodem terecht komt.”

Verreweg het grootste deel van de oceaanbodem bestaat uit dood plankton. Kroon: “Het zijn minuscule beestjes, voorzien van een kalkskeletje. Ze zijn zo talrijk vertegenwoordigd dat zwermen ervan op satellietbeelden te zien zijn. Eenmaal dood zinkt het kalkskeletje naar de diepte om daar dikke lagen sediment te vormen. In boorkernen van de oceaanbodem zien we dat terug als een witte kalkafzetting.”

“Maar wat zagen we toen we de boorkernen van de Walvis Rug opensneden? In alle kernen was een scherpe overgang te zien van monotoon witte kalk naar donkerrode klei”, zegt Kroon, met glimpende ogen. “Echt prachtig. Plankton kwam nog wel voor in de oceaan, maar de kalkskeletjes losten op voor ze op de oceaanbodem terechtkwamen.”

De onderzoekers haalden uit de hele boorkern om de millimeter kleine beetjes sediment om de verschillende laagjes te analyseren op soorten plankton, chemische samenstelling en kalkgehalte. Kroon: “De datering van de verschillende lagen gebeurt onder andere met magnetostratigrafie. Uit metingen elders in de aardkorst weten we dat het magnetisch veld in de loop der tijd regelmatig omgepoold is. Het sediment in de oceaanbodem bevat ijzerverbindingen

waarin die ompoling ook terug te vinden is. Door het patroon van ompoling in het sediment over miljoenen jaren vast te stellen en het te vergelijken met de literatuur weten we hoe oud het sediment is. De scherpe overgang naar rode klei bleek in alle boorkernen 55 miljoen jaar oud te zijn.”

De samenstelling van de kalkskeletjes geeft de onderzoekers bovendien een goede indruk van de temperatuur van het oceaanwater destijds (zie kader). Kroon: “Kalk, calciumcarbonaat, bevat zuurstofatomen. Zuurstof komt in twee isotopenvormen voor: ^{16}O en het zwaardere ^{18}O . De verhouding tussen deze twee isotopen hangt af van de temperatuur van het zeewater en de hoeveelheid ijs op aarde.”

Methaan

De onderzoekers gaan ervan uit dat vóór 55 miljoen jaar geleden het oceaanwater door vulkanische activiteit heel langzaam opwarmde. In drie miljoen jaar werd zelfs het diepste water vier graden warmer. Kroon: “Met nogal wat gevolgen. Plankton dat op de oceaanbodem terechtkomt wordt door bacteriën omgezet in aardgas. Omdat het water op kilometers diepte ijskoud is en onder hoge druk staat, vormen zich ijskristallen in het sediment waarin methaan is opgesloten.”

“55 Miljoen jaar geleden is er een drempelwaarde overschreden. De ijskristallen begonnen te smelten, waardoor methaan uit de bodem ontsnapte. Methaan is een veel sterker broeikasgas dan CO_2 . De opwarming van de aarde kwam daardoor in een stroomversnelling. In slecht een aantal eeuwen tot een paar duizend jaar – voor aardwetenschappers korte tijd – liep de gemiddelde temperatuur op aarde verder omhoog met vijf tot acht graden, vooral in de poolgebieden.”

Dieren en planten moesten om te overleven zich snel kunnen aanpassen aan deze extreme klimaatverandering. Het is een van de grootste sprongen geweest in de evolutie van zoogdieren. Kroon: “Het duurde 100.000 jaar voor de situatie van voor het vrijkomen van het methaangas weer hersteld was. In de boorkern zien we het sediment langzaam weer lichter worden.”

Hoe het koolstofevenwicht op aarde zich weer herstelde weten Kroon en zijn collega's overigens nog niet. “We vermoeden dat het meer is gaan regenen op aarde. Daardoor namen rivieren meer nutriënten mee naar zee. Er ontstond meer leven in de oceanen en die namen koolstof uit het water op. De komende tijd gaan we de kleilaag uit de boorkernen onderzoeken op de aanwezigheid van organische verbindingen. We hopen daarmee meer te weten te komen over de verschillende levensvormen in de oceaan.”

Walvis Rug

Kalk lost bij lage temperatuur en hoge druk op in water. Kroon: “Dichtbij het wateroppervlak wordt er veel kalk aangemaakt dat na het afsterven van het plankton naar beneden zakt. Dieper in de oceaan heersen er andere omstandigheden. De druk is er hoger, de temperatuur lager. Het evenwicht tussen oplossen en aanmaken van kalk kan hier omslaan in netto oplossen van kalk.”

Plankton als paleothermometer

Plankton dat in de bovenste meters van de oceaan leeft, maakt een kalkskeletje (CaCO_3) aan. Zuurstof dat daarvoor gebruikt wordt, legt vast welke temperatuur het water had waarin het beestje leefde. Van zuurstof bestaan meer isotopen. Naast de 'normale vorm' ^{16}O bestaat er ook ^{18}O , dat twee neutronen meer in de kern heeft. De verhouding tussen die twee isotopen zegt iets over het klimaat op aarde.

Bij hogere watertemperaturen neemt plankton relatief meer ^{16}O dan ^{18}O op in het kalkskelet. Dat is een kinetisch effect.

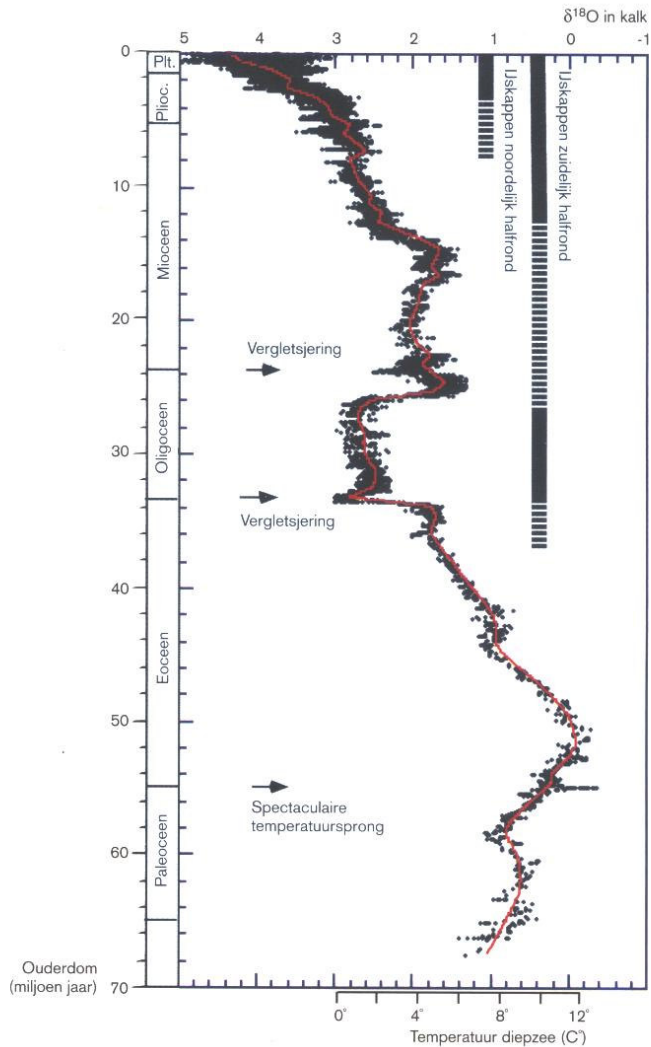
Een tweede effect is de verdamping van zuurstof uit het water. Er verdamt altijd meer ^{16}O dan ^{18}O . In koude tijden met veel ijs op de polen wordt daarom relatief veel ^{16}O vastgelegd in ijs. In die periode is het water bovendien koud en dus neemt het kalkskelet relatief weinig ^{16}O op.

Door nu boorkernen uit de bodem omhoog te halen, kunnen we achterhalen hoe de verhouding $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ in de geologische geschiedenis varieerde en daarmee de temperatuur. Elk beestje is dus een soort paleothermometer!

Gegevens uit honderden boringen zijn samengevat in de figuur hiernaast voor het Kenozoïcum ('het nieuwe leven', de periode van de zoogdieren). Deze periode loopt van het moment dat de dinosauriërs uitstierven door een meteoriet, 65 miljoen jaar geleden, tot nu.

Een hoge waarde van $\delta^{18}\text{O}$ geeft aan dat er relatief veel ^{18}O in het kalk zit. Veel ^{18}O betekent dat het koud is op aarde.

55 Miljoen jaar geleden vond er duidelijk een spectaculaire temperatuursprong plaats. Merk ook op dat we op dit moment in de koudste periode leven sinds het uitsterven van de dinosauriërs.





Boorkern

Onderzoekers snijden een aan dek gehezen boorkern in hanteerbare stukken.

Het niveau waaronder kalk oplost, de Carbonaat Compensatie Diepte, ligt vandaag de dag op 4200 meter diepte. Kroon: "Door de toename van methaan in het water schoof die grens destijds omhoog. Kortweg komt het er op neer dat het water op minder grote diepte door de aanwezigheid van methaan zuurder wordt, waardoor de kalkskeletjes van het plankton oplossen. (zie kader) Het enige wat er dan nog op de oceaanbodem terechtkomt is klei. Precies wat we zien bij de scherpe overgang in de boorkernen."

"Als we bepalen tot welke diepte het kalk is opgelost, kunnen we ook berekenen hoeveel methaan er ongeveer is vrijgekomen", verklaart Dick Kroon. "Daarom zijn we ook op Walvis Rug gaan boren. Walvis Rug is een soort onderwaterberg. De oceaanbodem loopt snel omhoog van meer dan vijf kilometer diep aan de voet, tot ongeveer 2700 meter onder zeeniveau op de ondiepste punten. Hierdoor konden we in een klein gebied op verschillende diepten boren. En wat denk je? Zelfs in de meest ondiepe boring is alle kalk weg! Er is al-

leen maar rode klei te zien."

Kroon heeft met computermodellen berekend dat voor het opschuiven van de Carbonaat Compensatie Diepte met minstens twee kilometer ongeveer vierduizend gigaton methaan nodig was. "Een onvoorstelbaar grote hoeveelheid, als je bedenkt dat er op dit moment vijf gigaton methaan in de atmosfeer zit. Dat is de grootste ontdekking geweest tijdens deze boorexpeditie, dat er zoveel methaan is vrijgekomen. De laatste honderd miljoen jaar heeft maar één keer zo'n grote methaanontsnapping plaatsgevonden."

Finse Riviëra

Ook tegenwoordig zit er methaan in de oceaanbodem dat vrij kan komen. Kroon: "Er zijn zelfs plannen om methaan te winnen als brandstof. Een land als Japan heeft geen olievoorraden, maar wordt wel omringd door methaanvelden. Technisch is het sinds een paar jaar haalbaar, maar of het handig is, is de

Koolzuur in de oceaan

Hoe komt het dat er door vrijkomend methaan meer kalk oplost in de diepzee? Dat is geen direct verband, het zit als volgt: CaCO_3 is calciet of aragoniet, kalk in vaste vorm, bijvoorbeeld het skeletje van plankton. In water lost het op door de volgende reactie:

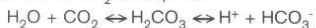


Er zijn dus vrije H^+ -ionen nodig voor het oplossen van kalk en daar zorgt het methaan indirect voor. Door de introductie van me-

thaan in het systeem wordt er CO_2 geproduceerd door oxidatie:

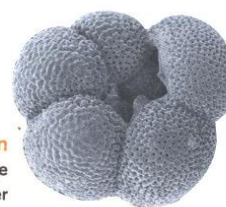


Het CO_2 gaat oplossen in water waarbij H^+ ionen en koolzuur ontstaan, of anders gezegd vrije H^+ -ionen komen in het zeewater doordat CO_2 er in oplost:



De omgekeerde reactie is welbekend: koolzuur in frisdrank! CO_2 komt vrij bij het openen van de fles, dus onder hogere druk is er

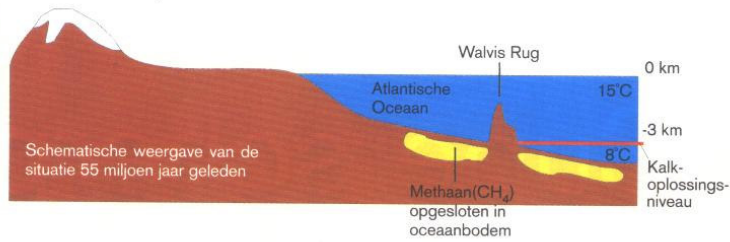
meer CO_2 op te lossen in de drank. Dit evenwicht hangt niet alleen af van druk en temperatuur maar natuurlijk ook van de hoeveelheid CO_2 . Hoe meer daarvan in het zeewater komt, des te meer vrije H^+ -ionen, des te zuurder het water. Dus: meer methaan in het water geeft meer vrije H^+ -ionen en kalk begint op te lossen.



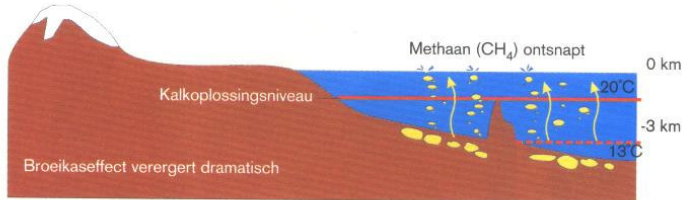
Plankton
Een kalkskeletje van foraminifeer (plankton).

Methaan

De temperatuur van de oceanen nam met minstens vijf graden toe toen 55 miljoen jaar geleden een grote hoeveelheid methaan vrijkwam. Het kalkoplossingsniveau schoof met minstens twee kilometer naar boven. Tegenwoordig is de temperatuur van de diepzee 0°C.

**Klei**

In boorkernen van de oceaانبodem is een sterke scheiding te zien tussen wit kalk en rode klei. De scheiding is gedateerd op 55 miljoen jaar geleden. Er leefde nog wel plankton in de oceanen maar onder invloed van het uit de bodem ontsnapte methaan loste het kalk volledig op. Het duurde zo'n 100.000 jaar voordat het klimaat zich herstelde.



Scheiding tussen wit kalk en rode klei



vraag. De mens zorgt al voor een snelle toename van CO_2 in de atmosfeer, vergelijkbaar met wat er 55 miljoen jaar geleden door vulkanen gebeurde. Maar gelukkig komt het methaan uit de oceaانبodem nog niet vrij."

"Daarvoor moet het diepe oceaanwater eerst behoorlijk opwarmen, nog minstens vijf graden. Voorlopig koelen de ijskappen aan de polen het water in de oceanen. Onze generatie zal het waarschijnlijk niet meer meemaken dat de ijskappen helemaal wegsmelten. Met een zo groot effect als 55 miljoen jaar geleden hoeven we binnen ons leven dus nog geen rekening te houden."

Maar volgende generaties krijgen er volgens Kroon wel mee te maken. Op een 'koude aarde' met ijskappen op de polen zit vierhonderd gigaton methaan opgesloten in de permafrost, gebieden waar de bodem het hele jaar door bevroren is. Kroon: "Die gebieden in het noorden van Canada en Siberië liggen precies in de regio die ook het meest te

maken gaat krijgen met de opwarming van de aarde. Aan de polen zal de temperatuur namelijk harder omhoog gaan dan aan de evenaar. Minus dertig in plaats van minus vijftig in de winter lijkt geen probleem. Maar daardoor ontdooit wel een flink deel van de permafrost in de zomer en kan er methaan vrijkomen. Dit proces is al in volle gang. Uit oude satellietgegevens blijkt dat de permafrostgrens zich de afgelopen twintig jaar terugtrekt. De hoeveelheid methaan die daarbij vrijkomt is onbekend, maar kan voldoende zijn om het broeikaseffect op aarde te versterken en het smelten van de ijskappen te versnellen."

En daardoor kan het diepe oceaanwater opwarmen. Kroon: "Deze gebeurtenis uit het verleden laat zien dat er mechanismen bestaan in het klimaat die we nog niet helemaal in de vingers hebben. Het bewijst dat er extremen kunnen voorkomen. Zolang we niet precies weten bij welke temperatuurstijging we dit soort extremen in gang zetten,

moeten we dus maar voorzichtig aan doen."

Op welke termijn moeten we rekening houden met drastische veranderingen? Resoluut antwoordt Kroon: "Klimaatmodellen voorspellen dat de temperatuur deze eeuw één tot vijf graden gaat oplopen. Die modellen houden alleen geen rekening met methaan dat vrijkomt. Met één graad opwarming zijn de gevolgen nog wel te overzien. Wordt het deze eeuw al vijf graden warmer, dan komt het methaan versneld vrij uit de permafrostgebieden of uit de oceaانبodem en zullen onze kleinkinderen een huisje aan het strand in Finland gaan zoeken, met warme stranden en palmen in de tuin."

Informatie

www.geo.xu.nl

Ocean Drilling Program:
www-odp.tamu.edu