

Raadsels van ruimte en tijd

door dr. J. van Diggelen

Een van de meest raadselachtige problemen van de paleontologie is het uitsterven van vele diergroepen aan het einde van het Krijt. Het verdwijnen van de dinosaurïërs en andere reusachtige reptielen van de aardbodem is een bekend feit, maar niet alleen deze dieren zijn in die tijd uitgestorven. Tal van andere diergroepen verdwenen aan het einde van het Mesozoïcum bijna gelijktijdig van de gehele aarde. Juist dat universeel uitsterven is een van de meest bijzondere aspecten van deze gebeurtenis.

Op het land en in de zee leefden allerlei soorten Reptielen van verschillende vorm en grootte, aangepast aan hun natuurlijke omstandigheden. Aan het eind van het Krijt stierven de meeste soorten echter uit, en dit proces verliep geenszins geleidelijk maar zeer snel en er zijn plaatsen, waar resten van hun skeletten soms bijna geheel compleet in groten getale zijn te vinden. Maar daarnaast verdwenen ook vele lagere diergroepen in diezelfde tijd. Zowel sommige soorten Lamellibranchiaten (schelpdieren) als diverse Cephalopoda (zoals de Ammonieten en de Belemnieten) hebben het Cenozoïcum niet beleefd. Maar ook een groot aantal soorten van kleinere lagere organismen, zoals Phytoplankton en Planktonische Foraminiferen zijn aan het einde van het Krijt uitgestorven.

Het vrijwel gelijktijdig uitsterven van zoveel en zo gevarieerde groepen dieren over de gehele wereld moet veroorzaakt zijn door een of meer bijzondere omstandigheden. De meest voor de hand liggende hiervan zijn:

1. veranderingen in het klimaat,
2. tekort aan voedsel door overbevolking,
3. parasieten of een fatale epidemie,
4. verandering in de samenstelling van de atmosfeer van de aarde,
5. mutaties door kosmische straling, die de eieren of embryo's vernietigden.

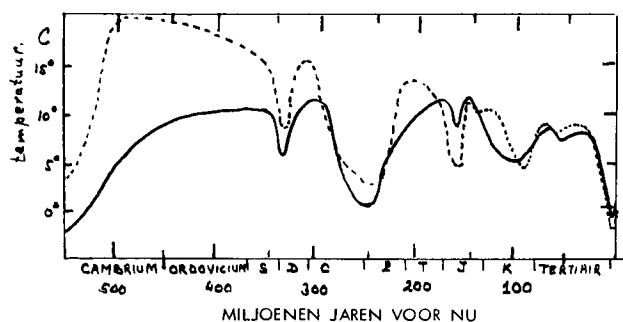
Tientallen andere hypothesen zijn niet de moeite waard om te vermelden, omdat ze zo onwaarschijnlijk zijn, dat ze zonder meer kunnen worden geschrapt. Het is namelijk allereerst noodzakelijk dat de enige juiste verklaring (of misschien zijn het er wel meer dan een) rekening houdt met het universeel uitsterven van al die verschillende diergroepen. Daarom lijkt de derde hypothese, die hierboven werd genoemd, ook niet houdbaar, want een epidemie onder zoveel verschillende groepen dieren is ondenkbaar. De vierde is onwaarschijnlijk omdat ze zou moeten leiden tot het uitsterven van al het dierlijk leven (en misschien ook het plantaardig) en het overblijven van sommige Reptielsoorten en van diverse Zoogdieren is in strijd met die

hypothese. Ook de tweede veronderstelling lijkt tamelijk onwaarschijnlijk evenals de dikwijls genoemde hierboven niet opgegeven hypothese van verdrinking door vloedgolven, die dan zouden moeten samenhangen met de aan het begin van het Cenozoïcum tot zijn hoogtepunt komende periode van gebergtevorming. Het is zeer wel mogelijk dat er voedseltekorten en vloedgolven zijn opgetreden en dat daardoor grote aantallen dinosaurïërs omkwamen. Zo'n ramp kan echter niet universeel zijn geweest. Zulke gevallen zijn altijd lokaal en beperken zich tot bepaalde gebieden der aarde.

Er zijn echter in de afgelopen 25 jaar belangrijke vorderingen gemaakt bij het onderzoek naar de waarschijnlijkheid van de eerste en de laatste van de bovengenoemde hypothesen. Mede in verband met een publikatie hierover in het tijdschrift "Nature" van het afgelopen jaar lijkt het ons de moeite waard hier nader op in te gaan.

Reeds voor 1950 heeft men getracht het verloop van het klimaat en in het bijzonder van de gemiddelde temperatuur gedurende de geschiedenis van de aarde te achterhalen. Zowel de theoretisch berekende waarden, waarbij in rekening werden gebracht: de evolutie van de zon, de seculaire veranderingen in de baan van de aarde, de invloed van de maan, het verschuiven van de continenten, de grootte van de poolkappen, de variatie van het koolzuurgehalte van de dampkring, het door de zee bedekte deel van het oppervlak van de aarde en de hoogte der bergen als empirisch bepaalde temperaturen-berekening uit verspreiding en aard van flora en fauna vertonen een redelijke overeenkomst in vorm (figuur 1).

Figuur 1. Gemiddelde temperaturen van de aarde tussen 50° en 90° N.Br. volgens C.E.P. Brooks, Compendium of Meteorology, Boston 1951. De gestippelde kurve is berekend, de getrokken lijn empirisch bepaald uit paleontologische gegevens. S = Siluur, D = Devoon, C = Carboon, P = Perm, T = Trias, J = Jura, K = Krijt.



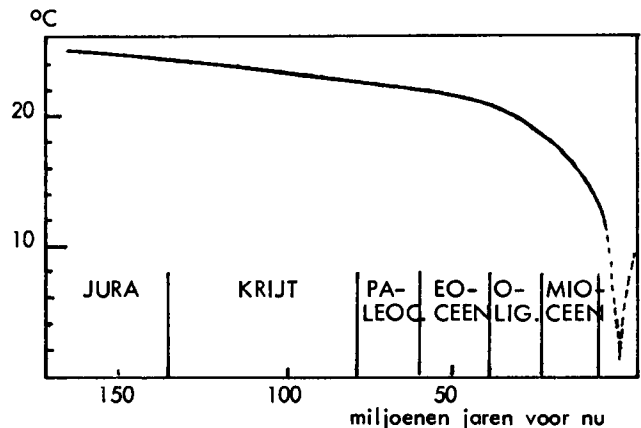
Betrouwbaarder en direct meetbare resultaten zijn te verkrijgen met een in 1947 door W.D.Urry ontworpen methode. In de aardse oceanen bevindt zich uiteraard tussen het zeewater ook zuurstof opgelost. Alle zeedieren nemen deze zuurstof bij hun ademhaling op en gebruiken dat voor de in hun lichaam optredende verbrandingsprocessen. Sommige, zoals schelpen en vele andere, verwerken die zuurstof met andere uit het voedsel afkomstige chemische elementen tot het calciumcarbonaat, waaruit ze hun schaal opbouwen.

Over het gehele oppervlak van de aardse oceanen vindt verdamping plaats. Ook bij lage temperaturen gaat voortdurend zeewater in damp over waardoor wolken en later regen ontstaat. In de warme tropische oceanen is dat proces uiteraard intensiever dan in de koudere polaire zeeën. Hoe hoger de gemiddelde temperatuur van het zeewater hoe sterker het verdampingsproces. Het is een gevolg van het feit, dat de molekulen in een vloeistof, zoals zeewater, niet in rust zijn maar bewegen en wel des te sneller naarmate de temperatuur hoger is. Regelmatig zullen er dus molekulen zo snel bewegen, dat ze uit de vloeistof wippen en aan de aantrekking van hun soortgenoten ontkomen en de ruimte van de aardse dampkring binnentreden. Hoe lichter een molekuul is des te groter zijn gemiddelde snelheid bij een bepaalde zeewatertemperatuur en de lichtere molekulen hebben dus een grotere kans om te verdampen dan de zwaardere. Nu bestaan de in het water opgeloste zuurstofmolekulen uit drie verschillende typen, die de fysicus isotopen noemt. Ze worden O^{16} , O^{17} en O^{18} genoemd, waarbij O = oxygenium de afkorting is van het element zuurstof en de getallen slaan op de atoomgewichten van de isotopen (de molekulairgewichten kunnen het dubbele bedragen). Het isotoop O^{18} is dus zwaarder dan zuurstof O^{16} . Het verdampende zeewater zal dus meer lichte zuurstofisotopen bevatten dan het oorspronkelijk in de zee aanwezige water. Daardoor is dat in de zee overblijvende water verrijkt aan O^{18} ten opzichte van de atmosferische zuurstof en wel des te meer naarmate het verdampingsproces intensiever is dus naarmate de temperatuur hoger is.

Tengevolge van vermenging door golfslag maar ook door plantengroei komt de atmosferische zuurstof steeds weer in het zeewater terug. Er ontstaat dus een soort evenwicht dat zich vrij snel (geologisch gesproken) instelt tussen de in het zeewater aanwezige hoeveelheden van de diverse zuurstofisotopen O^{18}/O^{16} . Dit evenwicht is van de gemiddelde zeewatertemperatuur afhankelijk. Ook in de kalkskeletten van de in dat zeewater levende dieren vindt men diezelfde O^{18}/O^{16} -verhouding. Door deze verhouding met een zeer gevoelige massaspectrometer te bepalen kan men de temperatuur vinden van de zee, waarin het dier leefde. Deze methode is zeer gevoelig en klopt uitstekend voor de afgelopen 500 000 jaar met andere methodes, zoals het direkte onderzoek van diepzeeboorkernen.

Voornameijk uit Belemnieten heeft men de temperatuur van de Jurazeeën bepaald, waarin deze dieren leefden en de gemiddelde jaarlijkse temperatuur, die slechts 5° schommelde met het seizoen, bleek $25^{\circ}C$. In het Krijt vond men gemiddelde temperaturen, die

iets lager waren, maar niettemin hoger dan tegenwoordig. Nergens op aarde waren er waarschijnlijk gletsjers, behalve op de hoogste bergen. De oceanen waren warm en vormden onmetelijke warmtereservoirs. Het voorkomen van reusachtige ijsmassa's aan de aardse polen, zoals we dat nu kennen, was waarschijnlijk een onbekend verschijnsel en dat is het in de geologische geschiedenis van de aarde waarschijnlijk ook in de meeste tijd geweest.



Figuur 2. Verloop van de gemiddelde temperatuur van het zeewater sedert de Boven-Jura uit de O^{18}/O^{16} van mariene fossielen, gevonden in Europa en Amerika, bepaald. In de polaire zeeën bleek de gemiddelde temperatuur steeds ca 10° lager dan de kromme aangeeft.

De temperatuurcurve van de gemiddelde oppervlakte-temperatuur van de aardse oceanen (figuur 2) vertelt ons eenzelfde verhaal. Een dalende temperatuur vooral in het Oligoceen, Mioceen en Pliocene gevolgd door de grote ijstijden, die op een figuur als deze niet in details tevoorschijn komen door de te kleine horizontale schaal.

Het is niet de bedoeling van dit artikel in te gaan op het optreden van die ijstijden en hun ontstaan. Hoewel het niet onwaarschijnlijk is dat zij direkt in verband staan met wat wij straks naar voren zullen brengen en het zeer wel mogelijk is dat ook die vier laatste ijstijden manifestaties zijn van eenzelfde verschijnsel. Bovendien is het waarschijnlijk, dat weliswaar de gemiddelde temperatuur in een ijstijd ver naar beneden zakte, maar in de tropische gebieden van de aarde zouden dan vele van de aan het eind van het Krijt uitgestorven diersoorten ongetwijfeld een goede kans op overleving hebben gehad. De temperatuurdaling, zo die al de oorzaak van het uitsterven is geweest, moet veel intensiever zijn geweest, hoewel misschien van kortere duur.

Het is duidelijk geworden, dat groeistoornissen in de schalen van de eieren een belangrijke rol gespeeld kunnen hebben bij het uitsterven van de dinosauriërs. Dit is ontdekt door een onderzoek van Dughi en Sirugue in het bekken van Provence. Hier vonden zij fossiele eieren, waarvan de schalen talrijke typerende

kenmerken vertoonden. In de schalen zijn steringen in de groei terug te vinden, die er op wijzen, dat de omgevingstemperatuur gedurende de ontwikkeling van de schaal buiten bepaalde nauwe grenzen is getreden. Het aantal dergelijke excessen neemt toe tegen het einde van het Krijt. Het is waarschijnlijk, dat dit samenhangt met sterke en snel op elkaar volgende temperatuurschommelingen, die tenslotte geleid hebben tot het uitsterven van deze dieren.

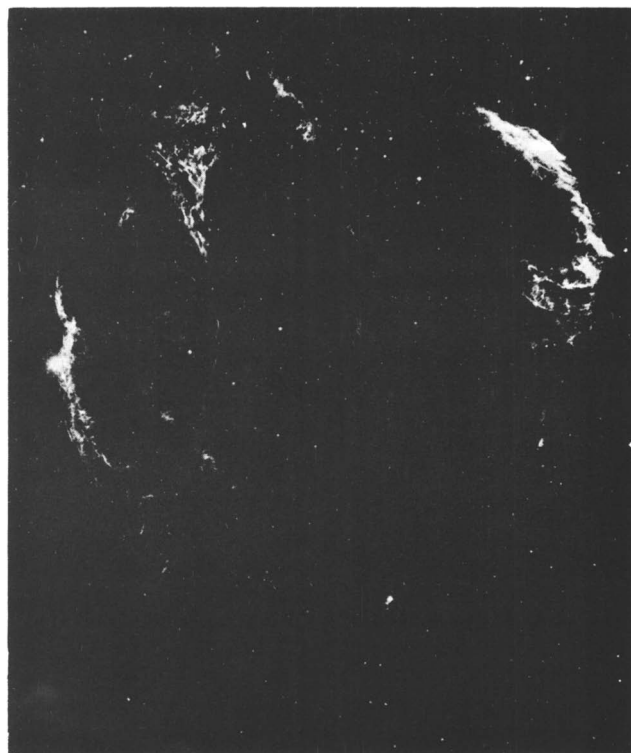
Er is een aantal onderzoekers dat de laatste jaren het optreden van plotselinge temperatuursdalingen in verband wil brengen met het optreden van een supernova. Een supernova is een ster, waarvan de lichtsterkte plotseling toeneemt met een factor 10 000 000 tot 100 000 000. Hoewel er meer dan 50 supernovae tot nu toe zijn waargenomen, werden ze op drie na allemaal ontdekt in ver van ons af gelegen sterstelsels. Men schat op statistische gronden, dat er iedere eeuw 3 à 4 dergelijke supernovae in een sterstelsel optreden. De drie die in ons stelsel in historische tijd tot nu toe zijn geregistreerd waren zo helder, dat ze zelfs overdag als een heldere ster aan de hemel zichtbaar waren. Wanneer een van de dicht bij onze aarde gelegen sterren plotseling een supernova zou worden zou zij in enkele uren van een zwak nachtelijk lichtje aan de hemel toenemen tot een enorme stralende puntbron, die 1000 maal meer licht zou uitstralen dan de volle maan. In enkele dagen wordt 80 à 90 % van de massa van de ster weggestraald. In één dag produceert zo'n supernova evenveel energie als de zon in een miljoen jaar.

Geweldige hoeveelheden sterstof worden de ruimte in geslingerd met snelheden tot 12 000 km/sec. Na de uitbarsting is dit na enige tijd zichtbaar als een gasvormige nevel om de zeer hete overgebleven kern van de ster (figuur 3). Iets dergelijks vinden wij nog in de Krabnevel, die over is van een supernova uit 1056. Het omhulsel rondom een exploderende supernova is zeer heet en zou men tot op zekere hoogte kunnen vergelijken met de buitenlagen van de zon, de zogenaamde corona. Het emitteert dan ook buitengewoon veel Röntgenstraling. Daar het zichtbare licht slechts enkele procenten uitmaakt van het totale spectrum mag men verwachten dat supernovae een reusachtige hoeveelheid Röntgenstraling en gammastraling emitteren. Uit waarnemingen van een supernova in een ander sterstelsel met kunstmanen boven onze dampkring of vanuit het ruimtelaboratorium hoopt men dit inderdaad spoedig te kunnen verifiëren.

Op statistische gronden is een uitbarsting van een supernova op korte afstand van de aarde (binnen een bol met een straal van 100 lichtjaren) iedere 50 000 000 jaar te verwachten. In een week tijd moet de aardse atmosfeer dan 100 keer de hoeveelheid Röntgen en ultraviolette straling verwerken, die ze anders van de zon ontvangt. Het meest waarschijnlijke is, dat tengevolge hiervan opstijgende bewegingen ontstaan in de lagere atmosfeer, want ook nu blijkt op een plotselinge toename van de ultraviolette zonnestraling, bijvoorbeeld na hevige zonnevlammen na een paar dagen een verandering in de atmosferische circulatie te ontstaan met een patroon dat

glaciale kenmerken vertoont. Na de supernova-uitbarsting moeten de veranderingen wel katastrofaal zijn, zodat deze korte ingreep leidt tot effecten van langere duur (van de orde van jaren) tengevolge van veranderingen in de aardse albedo, het ontstaan van ijswolken op grote hoogte, steringen in de ozonlaag van de atmosfeer en een ingreep in het broeikas-effect van de aarde. Op langere duur neemt de stormactiviteit toe en de temperatuur daalt gemiddeld over de gehele aarde. De invloed van deze storing heeft tot 1000 000 jaar geduurd, zoals geologisch schijnt te volgen uit de dikte van het scheidingsvlak tussen de afzettingen van de Krijtfauna en de daaropvolgende in gelijke omstandigheden levende fauna uit het Daenien. Deze laatste fauna heeft universeel een veel armer en meer boreaal aspect, wat wijst op lagere temperaturen zelfs op zeer lage geografische breedte.

Waarschijnlijk was deze koudeperiode te vergelijken met een ijstijd. In hoeverre het verdwijnen van de ozonlaag geleid heeft tot stralingsmutaties en tot veranderingen in de eischalen is nog niet te overzien. Misschien hebben beide effecten samengewerkt. Ook is het nog een open vraag of het niet mogelijk is dat de ijstijden, waarvan het einde kort achter ons ligt, ook in verband moeten worden gebracht met supernovae. Aan de nachtelijke zomerhemel in het



Figuur 3. De Krabnevel in het sterrenbeeld de Stier, het restant van een supernova uit 1056 is nog steeds een sterke bron van Röntgenstraling.



sterrenbeeld de Zwaan bevindt zich een merkwaardige nevel, die ongetwijfeld het overblijfsel is van een supernova uit lang vervlogen tijden. De gaswolken van deze nevel dijen uit met een snelheid van 1300 km/sec. Helaas is het de astronomen nog niet met zekerheid gelukt de afstand van dit $2\frac{1}{2}^{\circ}$ grote objekt (figuur 4) vast te stellen. Schatten wij die echter op de astronomisch alleszins redelijke waarde van 2000 lichtjaar dan leert ons een eenvoudige berekening, dat de gassen ca 110 000 jaar geleden de ster verlieten, zodat deze supernova van 110 000 jaar geleden wel eens in verband gebracht zou kunnen worden met het Würmglaciaal. In ieder geval is een nader onderzoek ook op dit gebied uiterst gewenst.

Figuur 4. Cirrusnevels in de Zwaan, opgenomen met de 48" Schmidt teleskoop van Mount Wilson. Deze nevel zet uit met een snelheid van 1300 km/sec en is het restant van een supernova uit een tijd die 110 000 jaar achter ons ligt.

Rectifikatie : Tot onze spijt zijn de foto's bij de figuren 3 en 4 verwisseld.
 Voor deze gemaakte fout bieden wij u onze verontschuldigingen aan. (red.)

HET DUITSE NEDERRIJNGEBIED :

DE GEOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN HET LANDSCHAP
 IN HET DUITSE NEDERRIJNGEBIED

door: dr. F.J. Braun,
 (Geologischs Landesamt Nordrhein-
 Westfalen)

Het stadje Kleef, even over de Duitse grens bij Nijmegen, ligt in een bijzonder bekoorlijke streek van het Nederrijnse landschap.

Deze landstreek kreeg zijn huidige gestalte door de gletschers uit de IJstijd en door de Rijn. De kennis van de geologische geschiedenis gaat echter tot ver in het aardse verleden terug, dank zij vele ontsluitingen door boringen en ondergrondse mijnbouw in de naaste omgeving.

Het Carboon, met een lagenformatie van ongeveer 270 miljoen jaar oud, ligt in de diepe ondergrond. Het bevat de koollagen, die momenteel in de Kreis Moers worden ontgonnen. Zee en land wisselden elkaar tijdens het Carboon vaak af.

Later, in de Zechstein-tijd van het Perm (ongeveer 220 miljoen jaar geleden), reikte een lagune van Winterswijk tot in de streek van Kleef. Steenzout en kalizout werden door de sterke verdamping van het zeewater in dikke lagen afgezet.

In het Mesozoicum (Trias, Jura, Krijt) wisselden land en zee elkaar ook vaak af. In het daaropvolgende Tertiair overstromde de binnendringende zee de Rijnlandse depressie tot aan de rand van het Rijnleisteinplateau. Deze zee liet een zandig en kleiïg slijk achter, waarin zich schelpen en slakkehuizen van velerlei vorm bevonden. Heel langzaam rees het land

omhoog, de zee week weer naar het noorden terug en op de drooggevallen zeebodem ontstonden veenmoerassen, die de tegenwoordige bruinkool opgeleverd hebben. De lage heuvels van het Tertiaire landschap werden doorstroomd door verscheidene kleine riviertjes. De opheffing van het pas land geworden gebied ging verder, waardoor het verval van rivieren en beken groter werd. Van lieverlee ontwikkelde zich een gemeenschappelijk stroomstelsel van twee vrij grote rivieren: de Rijn en de Maas. De opheffing in het zuiden ging steeds door en de laagvlakte, die zich noordelijk daarvan aftekende, viel uiteen in onderling verplaatste schollen. Enkele daarvan werden opgeheven, andere zonken in de diepte. Deze bewegingen zijn tot op heden niet tot rust gekomen.

Het begin van het Kwartair gaat ongeveer 1 miljoen jaar terug. In verhouding tot het voorafgegane Tertiair is dit een zeer korte tijdsspanne. Toch was deze periode ten gevolge van een verhoogde klimatologische en tektonische (de aardkorst vervormende) werkzaamheid voor de landschapsontwikkeling van het gebied van de Duitse Nederrijn van de allergegrootste betekenis.