

DE BEPALING VAN PALEO-TEMPERATUREN UIT HET O^{18} GEHALTE VAN FOSSIELEN ^{x)}

Het is tegenwoordig mogelijk om uit de kalkschaal van mollusken de temperatuur te bepalen van het zeewater, waarin de dieren leefden. De methode is in 1948 ontdekt door de Amerikaanse geofysicus Urey en is zowel toe te passen op recente als op goed bewaarde fossiele schelpen.

In het volgende zou ik nu eerst willen vertellen wat O^{18} is, daarna hoe de methode werkt, en ten slotte iets over de problemen, die een nauwkeurige bepaling in de weg staan.

Wanneer men een elektrische stroom door water leidt, zal het water ontleden in twee gasen: waterstof en zuurstof. Water is dus een chemische verbinding van waterstof en zuurstof. Proberen we nu of we deze gasen ook weer op hun beurt kunnen ontleden in andere bestanddelen, dan mislukt dat, hoe we het ook doen. Waterstof en zuurstof noemen we daarom elementen en we geven ze aan met de symbolen H (waterstof) en O (zuurstof).

Een belangrijke eigenschap vinden we als we één liter H en één liter O wegen. O blijkt dan 16 maal zo zwaar als H. We mogen nu ook zeggen, dat een atoom O 16 maal zo zwaar is als een atoom H. Wanneer we echter het gewicht van zuurstofatomen stuk voor stuk zouden bepalen, dan zouden we niet alleen atomen met het gewicht 16, maar ook enkele atomen met het gewicht 18 vinden. Deze twee soorten zuurstof verschillen alleen hierin, dat de een iets zwaarder is dan de ander. Chemisch is er geen verschil! We noemen ze isotopen en geven ze aan met het symbool O^{16} en O^{18} . In de atmosfeer komen deze zuurstof-isotopen in een vaste verhouding voor; vrijwel alles is O^{16} en slechts 0,2 % is O^{18} . Omdat de zwaardere isotoop zo weinig voorkomt, is het gewicht van één liter gewone zuurstof toch vrijwel 16 maal zo zwaar als dat van één liter waterstof.

In zeewater (niet in zoet water) blijken de zuurstofisotopen ook in een konstante verhouding voor te komen, die vrijwel gelijk is aan die van de atmosfeer. Kooldioxide, weer te geven met het symbool CO_2 , bevat zuurstof en dus ook de zwaardere vorm O^{18} . Meet men het gehalte aan O^{18} van CO_2 , dat in zeewater is opgelost, dan blijkt dat dit afwijkt van het gewone gehalte in water. Het belangrijkste is echter dat het O^{18} -gehalte afhangt van de temperatuur van het zeewater. Het blijkt n.l. dat als de temperatuur van het zeewater hoger is, dat dan het percentage O^{18} in de CO_2 gedaald is. Deze daling is slechts zeer gering, n.l. ongeveer 0,2 % per graad Celsius. Omdat de O^{18} zelf ook maar 0,2 % uitmaakt van alle zuurstof, moet een eventueel apparaat, dat de verandering in het O^{18} -gehalte meet, een gevoeligheid hebben van $0,002 \times 0,002 = 0,000004$. Deze gevoeligheid is zo klein, dat de apparatuur bijzonder moeilijk en kostbaar is.

De methode om de temperatuur van zeewater te meten uit schelpen, berust er nu op, dat mollusken, die in het zeewater leven, de CO_2 opnemen en het direkt omzetten in de kalk, waaruit de schaal is opgebouwd. Omdat de CO_2 een temperatuurafhankelijk O^{18} -gehalte heeft, een temperatuur-stempel, is dit door de kalk overgenomen en kan daar bewaard blijven, totdat de schaal op de een of andere wijze vernietigd wordt.

Aanvankelijk heeft Epstein de theorie getest door mollusken te kweken in aquaria, die op een vaste temperatuur werden gehouden. Het resultaat is te zien

- in -

x) Voordracht gehouden voor de Ned. Mal. Ver. op 24 november 1962.

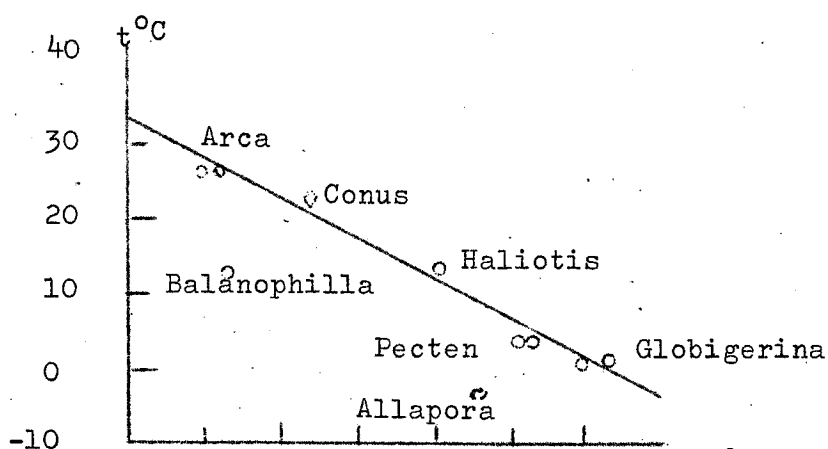


Fig. I. Verband tussen de temperatuur en het gehalte aan O^{18} uit de kalkschaal van mollusken (willekeurige schaal) (Mc Crea & Epstein)

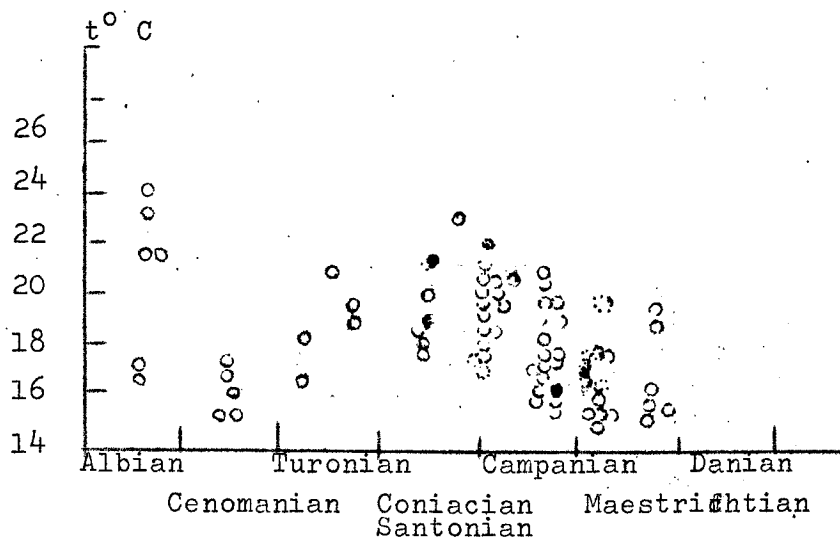


Fig. II. Metingen van gemiddelde temperaturen in de krijtze van Westeuropa uit belemnieten (meting van Lowenstam & Epstein)

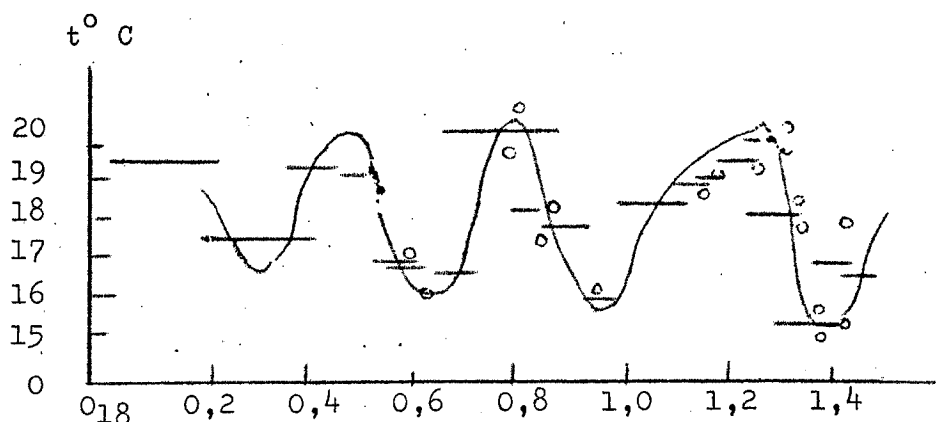


Fig. III. Variatie in het O^{18} gehalte, en dus in de temperatuur, in de groeiringen van een belemniet. Op de horizontale as is de straal uitgezet in cm. Links is de temperatuur in de jeugd te vinden; de groeiringen zitten hier zo dicht opeelkaar, dat slechts een gemiddelde te meten was. Naar rechts toe wordt het dier ouder. Het heeft kennelijk bijna vier jaar geleefd. (Meting van Urey, Lowenstam, Epstein & Mc Kinney).

in fig. I. De getrokken lijn geeft de theorie weer, en het is duidelijk, dat niet elk mollusk geschikt is om als thermometer gebruikt te worden, omdat het O^{18} -gehalte teveel afwijkt van het theoretische gehalte.

Toen daarna schelpen werden onderzocht, die in het wild geleefd hadden, kwamen de problemen pas goed los:

het O^{18} -gehalte is afhankelijk van het zoutgehalte;

het O^{18} -gehalte is in binnenzeeën hoger dan normaal;

het O^{18} -gehalte is in de buurt van riviermonden veel lager; sommige mollusken zetten in koudere perioden minder kalk af in de schaal, daarom zal uiteindelijk de gemiddelde temperatuur hoger lijken dan hij is.

Deze en nog andere factoren kunnen korresponderen met een fout in de meting van 10 graden Celsius. Een serieus onderzoek moet dus al deze factoren in de gaten houden en goede schelpen kiezen, afkomstig uit goede gebieden. De fout in de meting is dan te beperken tot ± 1 graad Celsius.

Bij metingen aan fossielen uit het Krijt van West-Europa is b.v. gebleken dat belemnieten de betrouwbaarste informatie geven over de temperatuur van de krijt-zee. Zoals fig. II laat zien, schommelt deze rond de $19^{\circ} C$.

Zulke temperatuurmetingen zijn gedaan met fossielen tot uit de oudste perioden, als het Siluur en het Cambrium. Doordat deze fossielen zo'n lange tijd bewaard zijn, is de kans groot, dat het temperatuurstempel verdwenen is. Een stijging van de temperatuur b.v., van het gesteente waaruit het fossiel afkomstig is, gedurende langere of kortere tijd tot slechts $100^{\circ} C$, kan al fataal zijn. De geologische geschiedenis van een fossiel speelt dus ook een belangrijke rol, maar gelukkig is er een truc om na te gaan of het fossiel betrouwbaar is. Tussen zomer en winter bestaat een temperatuurverschil. Door nu niet het O^{18} -gehalte van de hele schelp te bepalen, maar van alle groeiringen afzonderlijk, is deze seizoensvariatie in temperatuur terug te vinden. Naarmate deze seizoensvariatiën duidelijker te zien zijn in fossielen, is de schelp beter bewaard, en is zijn temperatuur-informatie betrouwbaarder. Een klassiek voorbeeld is in fig. III te zien, en is afkomstig van een Jurassische belemniet uit Engeland, met een ouderdom van ongeveer 140 miljoen jaar.

Tot slot een opmerking over andere kalkafscheidende organismen als koralen, sponzen, algen, etc. Deze geven in het algemeen sterk afwijkende temperaturen, omdat de opgenomen CO_2 niet direkt in kalk wordt omgezet, waardoor fraktionering van zuurstof optreedt in het organisme zelf.

In het bovenstaande is een redelijk betrouwbare methode beschreven om uit het O^{18} -gehalte van de kalkschaal van mollusken de temperatuur van zeewater te bepalen. De methode is bruikbaar voor recente schelpen, maar haar belang ligt in de toepassing op fossiele schelpen. De belangrijkheid wordt echter mede bepaald door de nauwkeurigheid waarmee de ouderdom van fossielen bepaald kan worden. Dit laatste is grof, en dat beperkt op het ogenblik het nut van deze temperatuur-bepaling toch wel in sterke mate.

Literatuur: "Isotope Geology" door Kalervo Rankama.

"Physics and Geology" door J.A. Jacobs, R.D. Russel, J. Tuzo Wilson.

Amsterdam, 12 januari 1963, H.J. Hopman.