

mooi weten te brengen: "bariet (BaSO_4) is een verbinding waarvan het molecuul bestaat uit 1 atoom Ba, 1 atoom S en 4 atomen O". Je zou ook gewoon kunnen zeggen: bariet bestaat uit 1 deel Ba, 1 deel S en 4 delen O. Het enige nadeel van de term "deel" ligt daarin, dat niet altijd precies duidelijk is wat ermee wordt bedoeld. Veel recepten waarin de term "deel" voorkomt zijn bij voorbaat weinig nauwkeurig in elkaar gezet. (Dit is één van de redenen waarom grootmoeders cake later niet goed nageemaakt kan worden.) Wat chemici en ook wijzelf willen bedoelen met "deel" is eigenlijk het stoffelijke "deeltje". Het gaat om de **aantallen** deeltjes of eenheden van elk element waaruit een verbinding is opgebouwd. Dus: een eenheid BaSO_4 is opgebouwd uit 1 eenheid Ba, 1 eenheid S en vier eenheden O. Of, wat hetzelfde is: duizend eenheden BaSO_4 zijn opgebouwd uit 1000 eenheden Ba, 1000 eenheden S en 4000 eenheden O. Omdat de (mineralogische) formules **verhoudingsformules** zijn doet het er niet toe met welk getal we alles vermenigvuldigen. Immers 1:1:4 is hetzelfde als 25:25:100 of 3.000:3.000:12.000 enz. enz.

We weten nu dus dat bariet bestaat uit Ba, S en O en wel wat de aantallen betreft in een verhouding 1:1:4. En lood dan?

Waar zit het lood in ons zwaarspaat? Juist, nergens dus. Als er lood in bariet zou zitten zou dat in de formule moeten staan, de formule geeft immers de samenstelling! Lood (Pb) komt in de formule niet voor en zit dus ook niet in bariet. Het enige wat in bariet wél zit is barium, zwavel en zuurstof, maar dat wisten we inmiddels tot in den treure.

Hoewel we het misschien vreemd vinden dat het ons zo bekende bariet blijkbaar zwavel bevat, realiseren we ons dat bij het vormen van **verbindingen** uit elementen nieuwe eigenschappen optreden, tegelijk met het "verdwijnen" van de eigenschappen van de "losse" elementen. U weet het: het bakken van een cake leidt tot nieuwe eigenschappen, de oorspronkelijke eigenschappen van de bestanddelen van het beslag: suiker, boter, bloem, water, lijken "verdwenen" te zijn. O.K., zwavel dus in bariet.

Maar als we nu eens een stuk van, zeg, één ons bariet uit onze verzameling pakken, hoeveel zwavel zit daar dan wel in? En met "hoeveel" wordt nu bedoeld: hoeveel aan gewicht, of: hoeveel grammen zwavel? Mendeleëv had de

elementen **op hun gewicht** gerangschikt nietwaar: bij elk element hoorde een eigen gewicht. $\text{H}=1$, $\text{Ba}=137x$ zo zwaar als H, $\text{S}=32x$, $\text{O}=16x$ zo zwaar als H enz. Figuur 7 toont deze zgn. atoomgewichten. Als we willen weten hoeveel grammen zwavel ergens in zit, dan nemen we het (atoom)gewicht van zwavel (32 dus) en delen dat door het totale gewicht van de verbinding. Dit totale verbindingsgewicht (molecuulgewicht heet dat eigenlijk) is voor bariet de optelsom van de gewichten van $1\text{Ba} + 1\text{S} + 4x\text{O} = 137 + 32 + 4x16 = 233$. Het gewichtsandaal van zwavel in bariet is dus het $32/233$ deel = 13,7%. Ons stuk bariet van een ons bevat 13,7 gram zwavel. Op dezelfde manier zien we dat ons stuk $137/233 = 58,8$ gram barium bevat en $4x16/233 = 27,5$ gram zuurstof. Samen: $13,7 + 58,8 + 27,5 = 100$ gram = 1 ons.

Het feit dat ieder element een vast gewicht (het atoomgewicht) bezit, leidt ertoe dat formules niet alleen de samenstelling (de kwaliteit) vertegenwoordigen, maar ook de kwantiteit mededelen. Dit laatste in — na enig rekenwerk — hele **praktische eenheden** zoals grammen, kilogrammen of tonnen. Met behulp van figuur 7 kunt u de gewichtshoeveelheden van elk element in welk mineraal dan ook uitrekenen. Stel dat u nu eindelijk wel eens de hoeveelheid fluor in fluoriet wilt weten. Dan pakt u een mineralenboek, zoekt de formule van fluoriet op: CaF_2 en noteert de atoomgewichten (fig. 7) van Ca (calcium) = 40 en F (fluor) = 19. Het fluoraandeel in fluoriet is dus 2×19 gedeeld door $2 \times 19 + 40 = 38/78 \times 100\% = 48,1\%$. Zo'n bergje fluoriet bij Hoogovens van bv. 100 ton vertegenwoordigt dus een hoeveelheid van 48.700 kg fluor. Een hoeveelheid die tandartsen tot nadenken zal stemmen: in principe kunnen met die hoeveelheid fluor zeker 12 miljoen kinderen 10 jaar lang profiteren van fluoridetablies!

In het begin van dit artikel wilden we het koolstofgehalte in magnesiet (MgCO_3) uitrekenen. We maken dan het sommetje op:

$$\frac{\text{C}}{\text{Mg} + \text{C} + 3x\text{O}} = \frac{12}{24 + 12 + 3x16} = \frac{12}{84} (\times 100\%) = 14,3\%.$$

U kunt zelf nagaan dat een mijnningenieur aan drie ton magnesiet te weinig heeft om een ton magnesium te produceren.

(wordt vervolgd)

De Geologische Tijdschaal: een raamwerk voor de stratigrafie en paleontologie

In dit Gea-nummer, waarin verscheidene stratigrafisch en paleontologisch getinte artikelen zijn opgenomen, leek ons de publicatie van de Geologische Tijdschaal weer eens op zijn plaats. Het is handig, de namen van de era en perioden met hun volgorde paraat in het hoofd te hebben. De 80 namen voor de etages (tijden) zijn meer als naslagmogelijkheid bedoeld!

De aardkorst is opgebouwd uit verschillende lagen, die in verschillende geologische perioden zijn ontstaan. In een serie van normaal op elkaar liggende aardlagen is een hogere laag jonger dan de daaronder liggende laag (Wet van de superpositie, door Nicolaus Steno in 1669 geformuleerd). De ouderdom van een aardlaag ten opzichte van

een andere laag in een laagpakket kan vastgesteld worden, al naar gelang deze hoger of lager in het pakket ligt. Bij o.a. plooibewegingen, waardoor scheefstelling of zelfs omkering van lagen optrad, is de Wet van superpositie niet zonder meer te hanteren. Maar fossiele fauna's en flora's volgen elkaar op karakteristieke en herkenbare wijze op (Wet van de faunale successie, ontdekt door William Smith, 1815). Hierdoor kan de opeenvolging van fossielhoudende sedimentlagen in een pakket worden vastgesteld.

Ook is correlatie mogelijk: door vergelijking van aanwezige fossielen kunnen lagen die op grote afstand van elkaar liggen met elkaar in verband worden gebracht.

In de Geologische Tijdschaal is de relatieve opeenvolging

van aardlagen, zoals die door hun fossielinhoud tot uitdrukking komt, neergelegd. Bepaalde fossielen of associaties van fossielen zijn kenmerkend voor de tijd waarin zij leefden en daarmee voor de laag die in die tijd werd afgezet. Zo is een Carboonvaren een varen van Carbonische ouderdom en afkomstig uit een Carbonische laag. Een Mosasaurus is een zeereptiel dat leefde in het Maastrichtien (als tijd), zijn skelet ligt begraven in het Maastrichtien (als etage).

In beschrijvingen van laagpakketten staat de eerst afgezette laag onderaan, de laatst gedeponeerde laag staat boven — dus net zo als zij in natura werden afgezet. Ook in de Geologische Tijdschaal staan de oudste laag- en tijdseenheden **onderaan**.

We laten hier Prof. Priem verder aan het woord. Hij maakte enige kanttekeningen over de **absolute** waarden, die in de (relatieve) Geologische Tijdschaal zijn opgenomen.

Jaartallen in de Geologische Tijdschaal

door Prof. dr. H.N.A. Priem*)

De Geologische Tijdschaal is in essentie een 'relatieve' tijdschaal, berustend op de evolutionele veranderingen in fauna en flora die in de aardgeschiedenis zijn opgetreden en in fossielen zijn vastgelegd. Met behulp van de dateringmethoden die gebruik maken van het radioactieve verval van een aantal wijd verbreide elementen, heeft men deze relatieve tijdschaal kunnen voorzien van een raamwerk van 'absolute' jaartallen. Deze zijn echter nogal eens aan verandering onderhevig en ook diverse getallen bij de in dit nummer weergegeven schaal verschillen weer van die bij eerder gepubliceerde schalen. Hiervoor zijn twee redenen:

1. Geruime tijd heeft er onzekerheid geheerst over de juiste halveringstijden van de radioactieve elementen die een rol spelen als geologische klokken. De onzekerheid was het grootst voor rubidium, waar voor ouderdomsbepalingen volgens de rubidium-strontiummethode halveringstijden werden gebruikt die tot (maximaal) 6% uiteenliepen. Een dergelijk verschil werkt rechtstreeks door in de berekende ouderdom: 6% verschil in de halveringstijd resulteert in eenzelfde verschil in de verstreken tijd zoals die door de rubidium-strontiumklok wordt aangegeven. Voor de geologische praktijk leverde dat nauwelijks echte problemen op, omdat in iedere publicatie met 'absolute' ouderdommen de gebruikte halveringstijd wordt opgegeven (althans, dat zou zo moeten zijn), en de vermelde ouderdommen dus zonodig op een andere halveringstijd kunnen worden omgerekend.

Lastig was het natuurlijk wel. Een consequentie was ook dat voor de jaartallen bij de Geologische Tijdschaal een keuze moest worden gemaakt aangaande de halveringstijd van ieder radioactief vervalssysteem dat voor datering wordt benut. Die keus was echter niet steeds dezelfde, zodat er tussen verschillende gepubliceerde tijdschalen nogal wat verschillen bestaan in de jaartallen.

Gelukkig heeft kernfysisch onderzoek in het laatste decennium de onzekerheid omtrent de halveringstijden sterk verkleind. In 1977 kon derhalve internationaal een afspraak worden gemaakt over de halveringstijden van de radioactieve vervalssystemen die voor de geologische tijdmeting van belang zijn. Alle daarna gepubliceerde ouderdommen berusten op dezelfde halveringstijden en kunnen dus direct met elkaar worden vergeleken. Omrekening is natuurlijk nog wél nodig bij veel ouderdomsbepa-

lingen van vóór 1977, evenals bij allerlei jaartallen in de diverse bestaande tijdschalen. Zo ook bij de bekende Geologische Tijdschaal van Van Eysinga, waar sommige jaartallen door gebruik van de nieuwe halveringstijden 3% hoger worden.

2. Bij de toekenning van jaartallen aan de eenheden van de Geologische Tijdschaal is een fundamenteel probleem dat deze schaal is gebaseerd op fossielhoudende, sedimentaire gesteenten. De toepasbaarheid van de radioactieve dateringmethoden is echter in hoofdzaak beperkt tot stollings- en metamorfe gesteenten; de radioactieve klok geeft hierbij het tijdstip aan waarop het gesteente is gestold uit een magma of door metamorfose uit een ouder gesteente is gevormd, en dergelijke ouderdommen kunnen slechts in enkele gevallen direct worden gecorreleerd met het tijdstip waarop een sedimentair gesteente is afgezet. De radioactieve dateringmethoden zijn ook toepasbaar op een aantal mineralen, maar de ouderdom van een detritisch mineraal in een sediment geeft uiteraard géén informatie over de ouderdom van het achterland waarvan het detritische mineraal afkomstig is. Alleen in geval van een authigene mineraal als glaukoniet kan (in gunstige gevallen) de mineraalouderdom rechtstreeks worden gecorreleerd met de sedimentatieouderdom.

Rechtstreekse datering van een sedimentair gesteente met behulp van radioactieve klokken is het beste te realiseren wanneer het laagpakket een ingeschakelde laag bevat van uitgevloeiende lava of vulkanische as: de stollingsouderdom van dit magmatische gesteente komt overeen met de sedimentatieouderdom van het laagpakket. In de meeste gevallen moet men de 'absolute' ouderdom van een sedimentair gesteente echter benaderen langs indirecte weg, door enerzijds het stollings- of metamorfe gesteente te dateren waarop het sediment is afgezet, en anderzijds een gesteente ontstaan uit een magma dat het sediment heeft geïntrudeerd (bijvoorbeeld een dolerietgang). Aldus bepaalt men voor het laagpakket de maximum- en de minimum-ouderdom, maar in de regel zal tussen deze twee uitersten nog een ruime marge liggen.

De meestal grote marges bij indirecte datering en het feit dat het vrij uitzonderlijk is als een paleontologisch goed gedefinieerd sedimentair gesteente tevens authigene glaukoniet of ingeschakelde laagjes vulkanisch materiaal bevat, maken dat de jaartallen in de Geologische Tijdschaal niet alle zo goed vastliggen als men zou wensen. De problemen worden soms nog vergroot door onzekerheden in de paleontologische datering van een sedimentair gesteente, dus welke plaats in de Geologische Tijdschaal

*) Z.W.O. Laboratorium voor Isotopen-Geologie, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam

Geologische Tijdschaal

Ouderdom in miljoenen jaren	Era	Systeem Periode	Serie Tijdvak	Etage Tijd	Orogenese			
0,01	Cenozoïcum	Kwartair	Holoceen (Recent)	Postglaciaal Weichselien Eemien Saalien Holsteinien Elsterien Cromerien Menapien Waalien Eburonien Tiglien	Alpien			
2,5			Pleistoceen	Piacenzien (Pretiglien) Zancleien Messinien (Helvetien) Tortonien (Helvetien) Serravallien Langhien Burdigalien Aquitaniën Chattien Rupelien (Stampien) Bartonien / Priabonien Lutetien Ypresien Thanetien Montien Danien				
7		Pliocene	Neogeen					
26		Mioceen						
38		Oligoceen	Paleogeen					
54		Eocene						
66		Paleoceen						
138		Mesozoïcum	Krijt			Boven-Krijt	Maastrichtien Campanien Santonien Coniacien Turonien Cenomanien	Senonien
						Onder-Krijt	Albien Aptien Barremien Hauterivien Valanginien Berriasien	Neocomien
			Jura	Boven-Jura (Malm)		Portlandien Kimmeridgien Oxfordien	(Keuper) (Muschelkalk) (Buntsandstein) (Zechstein) (Rotliegendes)	
	Midden-J. (Dogger)			Callovien Bathonien Bajocien Aalenien				
	Onder-J. (Lias)			Toarcien Pliensbachien Sinemurien Hettangien				
	240?		Trias	Boven-Trias	Rhaetien Norian Carnien			
				Midden-Trias	Ladinien Anisien			
				Onder-Trias	Scythien			
	280		Paleozoïcum	Perm	Boven-Perm	Thuringien	Hercynisch	
					Onder-Perm	Saxonien Artunien		
Carboon		Boven-Carboon		Stephanien Westphalien Namurien	Dinantien			
		Onder-Carboon		Viséen Tournaisien				
Devoon		Boven-Devoon		Famennien Frasnien	(Eifelien) (Caledonisch)			
		Midden-Devoon		Givetien Couvinien				
		Onder-Devoon		Emsien Siegenien Gedinien				
440		Siluur		Boven-Siluur	Ludovien Wnlockien	Caledonisch		
				Onder-Siluur	Llandoveryien / Valentien			
480?		Ordovicium		Boven-Ordovicium	Ashgillien Caradocien			
	Onder-Ordovicium		Llandeiliën Llanvirnien Arenigien / Skiddavien Tremadocien					
590?	Cambrium	Boven-Cambrium Midden-Cambrium Onder-Cambrium						
	Precambrium							

afzetting op grond van zijn fossielinhoud moet worden toegekend. Dit alles maakt dat diverse jaartallen in de tijdschaal nog min of meer arbitrair moeten worden vastgesteld.

Er wordt dan ook nog steeds verder gewerkt om de jaartallen in de Geologische Tijdschaal nader te preciseren. Hoewel de onzekerheden in de halveringstijden nu tot het verleden behoren, zullen toch als gevolg van dit verdere onderzoek diverse jaartallen in de Geologische Tijdschaal nog wel enigszins veranderen. Bijvoorbeeld door een nieuwe vondst van een vulkanische aslaag in een laagpakket dat door zijn fossielinhoud goed in de tijdschaal kan worden ingepast, zodat een nauwkeurige 'absolute' datering van de betreffende étage mogelijk is. De jaartallen van de in dit nummer weergegeven Geologische Tijdschaal representeren de huidige stand van zaken.

Enige literatuur

- H.N.A. Priem (1970), Radioactieve chronometers. *Natuur en Techniek* 38 (2) 58-70.
H.N.A. Priem (1973), Isotopen-geochronologie: methoden en resultaten. *Intermediair* 9e jaargang, 49, 14 december 1973.
H.N.A. Priem (1974), In de greep van de Tijd. *Geologie en Mijnbouw* 53, 133-139.
H.N.A. Priem (1976), Radioactieve tijdmeters in de geologie. *Gea* 9 (2) 44-50.
H.N.A. Priem (1979), De Geologische Tijdschaal. *Natuur en Techniek* 47 (9) 446-467.

Fossiele getuigen van het oudste leven (Precambrium en Cambrium)

door J. Stemvers-van Bommel

Het begin van het Cambrium, dat naar schatting zo'n 590 miljoen jaar achter ons ligt, wordt vaak voorgesteld als een soort jaar 0 van de paleontologische geschiedenis. Vrij plotseling blijken vele diergroepen zich een kalkskelet te hebben aangemeten, want in aardlagen vanaf Ondercambrische ouderdom kunnen fossielen met kalkige schalen, stekels en dergelijke in flinke hoeveelheden worden aangetroffen. Het lijkt daarom, of er in het begin van het Cambrium een explosie van leven is geweest. De grens tussen het Precambrium, de onafzienbaar lange tijd waarin zich de voorgeschiedenis van deze ontwikkeling heeft afgespeeld, en het Cambrium is dan ook gebaseerd op deze grote sprong voorwaarts in de evolutie. In de gesteenten uit de miljarden jaren die aan het Cambrium voorafgingen zijn fossielen slechts bij uitzondering bewaard. Dit ten eerste, omdat niet-gemetamorfoseerde Precambriese afzettingen schaars zijn en daarmee de mogelijkheden om sporen van fossiel leven te vinden, maar ook, omdat de Precambriese fauna grotendeels uit weke organismen bestond.

De kalkige fossielen uit het Cambrium tonen echter aan dat er, behalve een grote verscheidenheid van levensvormen, ook toen al een zekere graad van ontwikkeling en specialisatie was. Zeker zijn door het bezit van een stevig, kalkig omhulsel of andere vaste bestanddelen de levenskansen van de betrokken diergroepen vergroot. Zij konden zich hierdoor aan meer milieus aanpassen en de vele ecologische nissen opvullen die voordien nog onbezet waren — de evolutie kreeg door de toepassing van het kalkskelet een van zijn machtigste impulsen. Maar omdat organismen zonder stevige botten, schalen, pantserplaten, tanden of stekels nu eenmaal bij grote uitzondering fossiliseren, is de kennis van de levensvormen uit het verleden haast uitsluitend en zeer eenzijdig op de diergroepen met harde skeletdelen geconcentreerd. Een heel groot deel van de fauna van weleer — en dit geldt ook zeker voor de flora — blijft buiten het gezichtsveld. Want tegenover de succesrijke evolutie van het kalkskelet staat,

dat lang niet alle diergroepen deze steun en bescherming hebben aangegrepen en zich toch goed hebben weten te handhaven. Van het 30-tal phyla waarin het recente dierenrijk is ingedeeld blijkt zelfs ruim de helft geen harde delen te bezitten. Hoe deze verhouding aan het begin van het Cambrium was is niet bij benadering te zeggen. Wat kan er in 500 miljoen jaar en meer al niet gebeuren om een onverstevigd, gelatineus of dunwandig organisme totaal spoorloos te maken! Je moet wel verwachten, dat hoe ouder een afzetting is, hoe kleiner de kans is om van eventuele organismen nog iets te ontdekken.

Zoeken naar het begin

Maar dank zij enkele gelukkige vondsten zijn ons toch enkele blikken in de wereld van het oudste leven gegund. Zelfs is er een soort competitie gaande waarin naarstig naar steeds oudere levensvormen wordt gezocht. Er zijn de duidelijke, goedgeconserveerde vondsten van 2,7 miljard jaar oude stromatolieten in Slave Province en bij Steep Rock Lake in Canada en uit Belingwe, Zimbabwe Rhodesia. 2,9-3,0 miljard jaar ouderdom wordt aangenomen voor structuren die mogelijk stromatolieten zijn uit Pongola, Zuid-Afrika. Onlangs verschenen publicaties (*Nature*, 3 april 1980) vermelden twee onafhankelijk van elkaar gevonden stromatolietvoorkomens in het Pilbara-gebied van NW-Australië, die op 3,4 en 3,4-3,5 miljard jaar geschat worden. De kroon spannen wellicht de Isua-metasedimenten van W-Groenland. Wanneer de uitgevoerde chemische en isotopen-onderzoekingen juist zijn, zou uit deze gesteenten kunnen worden geconcludeerd dat tijdens de afzetting al organische koolstofverbindingen bestonden. Dat is dan 3,7 miljard jaar geleden. Zekerheid of het wel echt om levensvormen gaat is vaak moeilijk te verkrijgen bij zo oude gesteenten. Men onderscheidt dan ook wel mogelijk, waarschijnlijk en onweerlegbaar bewijs van de echtheid van de fossiele vondst. Wel is zeker, dat zo er leven was, dit nog lang