

Inhoud:

Absurditeit contra Geologie	109	Fotograferen door de stereomicroscop	135
Tweelingkristallen	116	Geologische musea in Europa	137
Chemische formules: hulpmiddel, geen toverspreuken V	121	Geologie in het Museum voor het Onderwijs	141
Trilobieten in het gebied rond Girvan (Schotland)	124	Boekbesprekingen	143
Actieve vulkanen in het heelal	128	Steenbewerking	144
Oorzaken van kleur in mineralen (I)	130	Mineralen en papier	144

Absurditeit contra Geologie

door Prof. Dr. Harry N.A. Priem
Z.W.O. Laboratorium voor Isotopen-Geologie,
De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam

Inleiding

De geologische wetenschappen spelen een essentiële rol bij een aantal zaken die de publieke opinie sinds het begin der zeventiger jaren sterk beroeren: grondstoffenvoorziening, het optimale gebruik van land en bodem, milieukwesties, etc. Dit heeft er toe geleid dat de geologie de laatste jaren in Nederland méér in de belangstelling staat dan voordien ooit het geval is geweest. Voor iedereen die in dit wetenschapsgebied is geïnteresseerd is dat natuurlijk een verheugende ontwikkeling. Maar parallel aan deze groeiende belangstelling zien wij ook de opkomst van een merkwaardige cultus die de resultaten van het geologisch onderzoek weigert te accepteren en de voorkeur geeft aan allerlei speculatieve denkbeelden, een soort "alternatieve geologie". Vanuit deze hoek worden met toenemende agressiviteit via TV, radio en allerlei drukwerk aanvallen gericht op de gangbare opvattingen omtrent de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde, zoals die als resultaat van twee eeuwen geologisch speurwerk kon worden gereconstrueerd. Deze stroming lijkt deel uit te maken van de groeiende afkeer van het moderne natuurwetenschappelijke wereldbeeld, in het bijzonder wat betreft de plaats die daarin wordt toegekend aan het verschijnsel Mens in tijd en ruimte. Voor velen is het klaarblijkelijk op emotionele en/of dogmatisch-religieuze gronden moeilijk te accepteren dat de Mens niet een uniek wezen is met de Aarde als (toevallige) woonplaats, maar dat hij als één van de vele facetten van de biologische evolutie een integrerend deel vormt van de ontwikkelingsgeschiedenis van onze planeet.

De neiging om zich af te zetten tegen de resultaten van het moderne natuurwetenschappelijk onderzoek wordt ongetwijfeld versterkt door de talrijke ongewenste en bedreigende gevolgen van de natuurwetenschappelijk-technologische revolutie, die aan het eind van de achttiende eeuw is begonnen en in het midden van de twintigste eeuw in een ongekende stroomversnelling is gekomen. Maar de wortels van het verschijnsel lijken gezocht te moeten worden in de (onbewuste) angst van veel mensen voor dit wereldbeeld, dat zoveel traditionele, vermeende zekerheden ondermijnt en ter discussie stelt.

Voor zover het de geologie betreft richten de aanvallen zich in het bijzonder op drie van de pijlers waarop de reconstructie van de ontwikkelingsgeschiedenis van onze planeet berust:

1. Het principe van het *actualisme* (Engels: uniformitarianism), inhoudende dat de geologische processen die vandaag de dag in en op de Aarde werkzaam zijn ook in het verleden hebben gewerkt. Volgens dit principe kunnen met behulp van de thans waarneembare geologische processen de eigenschappen van de aardkorst worden verklaard die in het geologische verleden zijn gevormd.
2. De *biologische evolutie*, het totaal van biologische processen dat in de aardgeschiedenis heeft geleid tot geleidelijke veranderingen in flora en fauna. Als gevolg hiervan ontwikkelden zich steeds weer nieuwe levensvormen uit oudere. Soorten zijn dus niet onveranderlijk, doch hebben slechts een beperkte, tijdelijke betekenis.

3. De *radioactieve tijdmeting*, de datering van geologische gebeurtenissen in de ontwikkelingsgeschiedenis van onze planeet met behulp van een aantal radioactieve vervalsystemen in de materie van de Aarde. De ouderdom van de Aarde (en het Zonnestelsel) is zo vastgesteld op 4.600 miljoen jaar en uiteenlopende gebeurtenissen in het geologische verleden kunnen worden voorzien van jaartallen (in miljoenen en miljarden jaren geleden).

Deze drie pijlers zijn in de natuurwetenschappen sinds lang algemeen geaccepteerd. De laatste tijd klinken echter in toenemende mate de echo's van oude opvattingen, die al in de negentiende eeuw door de geologie zijn verlaten omdat zij onjuist zijn bevonden: tegenover het actualisme de catastrofentheorie, tegenover de biologische evolutie de veronderstelde onveranderlijkheid van de soorten, en tegenover de ouderdom van de Aarde van 4.600 miljoen jaar het geloof dat de Aarde niet ouder kan zijn dan enkele tienduizenden jaren. Het staat natuurlijk eenieder vrij te geloven wat hij/zij wil en er zijn steeds allerlei occulte en mystieke, pseudo-wetenschappelijke stromingen rond de moderne natuurwetenschappen blijven opereren. Ook zou men de terugkeer naar oude en verlaten denkbeelden met een schouderophalen kunnen afdoen als onderdeel van de huidige nostalgische trend, de hang naar grootmoeders tijd van eenvoudige en duidelijke zekerheden. Er beginnen echter aan deze trend enkele vervelende kanten te komen, vooral door de activiteiten van de zgn. creationisten.

De creationisten gaan uit van fundamentalistisch-bijbelse opvattingen (creationisme = leer van de Schepping), maar zij trachten dat te verhullen in een "wetenschappelijk" kleed. In de U.S.A. vormt deze groepering een sterke politieke lobby (de huidige president behoort er toe) en zij probeert in vele staten een wet door te drukken die het openbaar onderwijs verplicht om de zgn. "Creation Science" te doceren als een alternatieve wetenschapsopvatting gelijkwaardig aan de "Evolution Science"¹. Uiteraard wordt vanuit de wetenschappelijke wereld in de U.S.A. krachtig stelling genomen tegen deze dreigende ontwikkeling, maar de reactie is waarschijnlijk te laat. De reden voor dit trage reageren door de wetenschapsbeoefenaars ligt voor de hand: een discussie volgens normale wetenschappelijke maatstaven met aanhangers van een theorie die berust op niet-wetenschappelijke veronderstellingen (op basis van processen die niet volgens de natuurwetenschappelijke wetmatigheden zouden verlopen) is zinloos, zodat het hele verschijnsel lange tijd (te lang!) is genegeerd.

Wellicht nog verontrustender is dat ook allerlei andere groeperingen zich om opportunistische redenen aansluiten bij het anti-geologische offensief van de creationisten, waarschijnlijk vaak tegen beter weten in. Zo worden bijvoorbeeld de door de creationisten naar voren gebrachte "argumenten" tegen de geologische tijdmeting dankbaar opgepakt door anti-kernenergiegroeperingen ter ondersteuning van hun bezwaren tegen opslag van radioactief afval in zoutkoepels: als immers dergelijke koepels niet vele miljoenen jaren oud zouden zijn, doch ten hoogste slechts enkele duizenden jaren, dan kan er geen sprake van zijn dat dit een veilige omgeving is voor de opslag van lang-levend radioactief afval! (Natuurlijk zijn er ook wel zinnige argumenten ingebracht tegen de opslag in zoutkoepels.)

De stellingen van het creationisme worden door de hoofdstromingen van de kerken geenszins onderschreven. Tijdens een proces dat eind 1981 in de U.S.A. is gehouden over de invoering van de Balanced Treatment Act kwamen ook diverse theologen en bisschoppen in het geweer tegen de creationistische opvattingen. Ik voel mij echter in de theologische aspecten volstrekt niet thuis en zal mij derhalve hier beperken tot een beknopt overzicht van de huidige stand van zaken betreffende de drie "pijlers" van de geologie die bij sommigen zoveel weerstand opwekken: het actualiteitsprincipe, de biologische evolutie en de geologische tijdmeting.

Actualisme en Catastrofisme

Tot aan het eind van de achttiende eeuw, vóór het begin van het moderne geologisch onderzoek, dacht men dat de aardkorst zijn huidige vorm had gekregen als gevolg van opvolgende catastrofes: grote en verschrikkelijke gebeurtenissen die niet te verklaren zouden zijn door processen die tegenwoordig in en op de Aarde werkzaam zijn. Aan deze theorie werd omstreeks 1800 een eind gemaakt door James Hutton, die tegenover het catastrofisme het actualiteits-principe stelde ("the present is the key to the past"). Dit principe wordt sedertdien met succes in de geologie toegepast, hoewel de laatste tijd het inzicht is gegroeid dat het niet zo dogmatisch mag worden opgevat als tot voor kort wel eens het geval was.

De huidige interpretatie van het actualisme is dat, hoewel de fysische en chemische wetmatigheden door de gehele geologische geschiedenis dezelfde zijn geweest, er wél wijzigingen zijn opgetreden in de algemene geologische omstandigheden op Aarde.

Enkele voorbeelden hiervan zijn:

1. De samenstelling van de atmosfeer is met het verstrijken van de geologische tijd geleidelijk veranderd door de toename in het gehalte aan vrije zuurstof. Dit gas hoort eigenlijk niet thuis in onze atmosfeer. Pas toen de fotosynthese van planten zijn intrede had gedaan (ten minste zo'n 3.600 miljoen jaar geleden), waarbij O₂ als afvalprodukt vrijkomt, is het atmosferisch gehalte aan vrije zuurstof geleidelijk gestegen, tot omstreeks 400-350 miljoen jaar geleden (Devon-Carboon) het huidige niveau werd bereikt. (Men kan dus stellen dat de 21% vrije zuurstof in de huidige atmosfeer het gevolg is van grootschalige milieuverontreiniging door planten). Het zeer lage O₂-gehalte in de atmosfeer gedurende het eerste deel van de aardgeschiedenis is er de oorzaak van dat in het oudste Precambrium bepaalde anoxogene sedimenten voorkomen die daarna, bij een hoger O₂-gehalte, niet meer konden worden afgezet. Het bekendste voorbeeld hiervan zijn de uraniumafzettingen van het Witwatersrand-type (rolsteentjes van uraniet, pyriet, etc.), die uitsluitend worden gevonden in formaties ouder dan ca. 1.800 miljoen jaar. Anderzijds verschijnen afzettingen van het rode-zandsteentype niet eerder dan ca. 1.650 miljoen jaar geleden, omdat toen pas het O₂-gehalte in de atmosfeer is bereikt dat voor de afzetting van deze sedimenten vereist is (minimaal 1% van het huidige niveau).
2. Zolang het O₂-gehalte in de atmosfeer minder was dan ca. 10% van het huidige niveau, was alle leven tot het water beperkt. De afscherming van de lethale UV-straling van de zon tengevolge van de gecombineerde absorptie in de atmosfeer door O₂, O₃ (de ozon-laag) en H₂O was onvoldoende om leven boven het wateroppervlak mogelijk te maken. Pas in het Siluur, ca. 410 miljoen jaar geleden, was het O₂-gehalte in de atmo-

¹ De Balanced Treatment Act, zie Science, vol. 214, 11 december 1981, p. 1224.

sfeer gestegen tot het niveau waarbij het leven zich ook op het landoppervlak kon verbreiden (waardoor het areaal voor fotosynthetische O_2 -productie drastisch werd uitgebreid, zodat daarna het O_2 -gehalte in de atmosfeer veel sneller is gaan stijgen). Vóór het Siluur was alle land dus onbegroeid, waardoor de omstandigheden voor erosie en verwerking geheel anders waren dan na de verbreiding van plantengroei op het land.

3. Op de vroeg-Precambrische Aarde was de kernsplijting van uranium, op dezelfde wijze als vandaag de dag geschiedt in de conventionele kernreactor, een even natuurlijk geologisch proces als bijvoorbeeld vulkanisme. Overal waar geochemische processen in de aardkorst leidden tot concentratie van uranium trad spontaan een kernreactor in werking. Op verschillende plaatsen in de oud-Precambrische delen van de aardkorst zijn dergelijke "fossiele kernreactoren" teruggevonden². Omstreeks 1750 miljoen jaar kwam er een einde aan dit geologische proces, niet vanwege de inspanning van een of andere "Dodewaard-moet-dicht"-actiegroep, maar omdat het relatieve aandeel van splijtbaar uranium-235 in natuurlijk uranium beneden de kritische waarde van 3% was gekomen als gevolg van het grote verschil in halveringstijd tussen de beide uraniumisotopen: 4,468 miljard jaar voor uranium-238 tegen 704 miljoen jaar voor uranium-235.
4. De eigen warmteproductie van de Aarde, die verantwoordelijk is voor nagenoeg alle endogene geologische processen (vulkanisme, aardbevingen, gebergtevormende bewegingen, platentektoniek, etc.), wordt nagenoeg geheel geleverd door het radioactief verval van uranium, thorium en de kaliumisotoop ^{40}K . Aangezien de hoeveelheden van deze elementen in de aardse materie met het verstrijken van de geologische geschiedenis geleidelijk zijn verminderd als gevolg van hun radioactief verval, is ook de hoeveelheid energie die voor de endogene geologische processen beschikbaar is geleidelijk afgenomen.

Dit zijn dus vier voorbeelden van wijzigingen in de geologische omstandigheden met het verstrijken van de geologische tijd. Bij de reconstructie van de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde moet met dit soort veranderingen rekening worden gehouden en kan het actualiteits-principe dus niet dogmatisch worden toegepast. Desalniettemin is de grondgedachte nog steeds onaangetast.

De absolute afwijzing van de catastrofentheorie is de laatste tijd eveneens gerelativeerd. Er zijn aanwijzingen dat in de aardgeschiedenis wel degelijk enkele plotselinge "grote en verschrikkelijke" gebeurtenissen zijn opgetreden, die belangrijke, "catastrofale" gevolgen hebben gehad. Als bekendste voorbeeld van een dergelijke gebeurtenis kan worden genoemd de veronderstelde inslag van een grote meteoriet of komeet aan het einde van het Krijt, waarvoor serieuze geologische argumenten zijn aangevoerd. Aan deze inslag worden door sommige geologen thans de grote faunale veranderingen aan het eind van het Krijt toegeschreven, zoals het uitsterven van de dinosauriërs. Maar ook hierbij geldt uiteraard dat een en ander kan worden verklaard conform de algemeen geldende fysische en chemische wetmatigheden.

Enig eerherstel dus voor de catastrofentheorie en amendering van het nog steeds geldende actualiteitsprincipe. Maar géén mistige hocus-pocus van geologisch-onmogelijke

gebeurtenissen, zoals Immanuel Velikovsky's "close encounter" van Venus en Mars met de Aarde, die dramatische gevolgen zou hebben gehad voor de civilisaties in de oudheid, of de wereldwijde zondvloed van de creationisten, die de gehele stratigrafisch-paleontologische successie zou moeten verklaren.

De Biologische Evolutie

Het minitieuze speurwerk van vele paleontologen sinds het begin van de vorige eeuw heeft ons een goed beeld gegeven van de geschiedenis van het leven op Aarde. Deze reconstructie berust niet op speculaties, maar op harde bewijzen: de fossiele resten van dieren en planten in de sedimentaire gesteenten van de aardkorst. Er zijn in de geologische musea verspreid over de wereld thans zeker zo'n 100 miljoen geïdentificeerde fossielen van uitgestorven dier- en plantensoorten aanwezig, waarvan de positie in de geologische tijd exact vastligt. Paleontologen zijn bijna twee eeuwen bezig geweest met de bestudering en beschrijving van deze enorme hoeveelheid materiaal. De totale geaccumuleerde hoeveelheid kennis omtrent de uitgestorven levensvormen op Aarde is dan ook gigantisch en zeer gedetailleerd. Al dit onweerlegbare, controleerbare feitenmateriaal in combinatie met andere geologische gegevens, in het bijzonder de stratigrafische positie van de fossielen en de sedert twee decennia beschikbare methoden van radioactieve tijdmeting (zie volgende paragraaf), levert een consistent beeld op (zie Tabel 1). Na ongeveer 3 miljard jaar van relatief eenvoudige levensvormen die meestal géén skeletten of andere harde bestanddelen bezaten, zodat herkenbare fossiele resten schaars zijn, begon ongeveer 530 miljoen jaar geleden (grens Precambrium/Cambrium) de moderne periode van de geologische geschiedenis die wordt gekenmerkt door organismen met hoog-ontwikkelde verkalkte weefselgroei. Deze konden makkelijker fossiliseren en talloze diersoorten kunnen worden onderscheiden sinds het begin van het Cambrium. De meeste hebben slechts gedurende een geologisch korte tijd geleefd en zijn toen weer verdwenen, om door andere soorten te worden opgevolgd. Uit de chronologische opvolging van al deze levensvormen komt een logisch patroon naar voren van voortgaande diversificatie, waarbij in het algemeen de meer ingewikkeld gebouwde organismen later verschijnen dan de eenvoudiger levensvormen. Ook zijn er vele fossielen bekend van dieren die tussenvormen representeren tussen jongere en oudere soorten.

Er is binnen de geologie géén discussie meer over de conclusie waartoe deze overstelpende hoeveelheid bewijsmateriaal moet leiden: met het voortschrijden van de geologische tijd hebben jongere levensvormen zich ontwikkeld uit oudere, het proces dat wordt aangeduid als biologische evolutie. Dit is algemeen geaccepteerd als het enig mogelijke proces dat alle feiten logisch kan verklaren, hoewel er onder paleontologen nog verschillende inzichten bestaan over de mechanismen van het evolutieproces en allerlei details in de evolutionele ontwikkelingen. Maar ondanks de overstelpende hoeveelheid bewijs is er nog steeds een (groeijende?) schare van ongelovigen. Niet alleen de creationisten en aanverwante groeperingen, maar ook sommige, overigens goed geïnformeerde lieden die de "modische" trend volgen om twijfels te uiten omtrent de realiteit van de biologische evolutie (hoewel het hierbij gewoonlijk niet gaat om beoefenaren van de natuurwetenschappen).

Ten dele kunnen deze twijfels wellicht worden toegeschreven aan de gangbare omschrijving van het begrip

² Zie bijvoorbeeld N.A.I.M. Boelrijk, "Kernreactoren, een natuurlijk geologisch fenomeen", *Gea* 1979, vol. 12, nr. 2, p. 49-53.

biologische evolutie als evolutie-theorie. De aanduiding "theorie" heeft hier echter niet de betekenis van een stelsel van bespiegelingen en gissingen die niet praktisch toetsbaar zijn, maar de in de wetenschap gebruikelijke betekenis van een bouwwerk van feiten en logica, dat vele uiteenlopende waarnemingen tot een begrijpelijk en consistent geheel samenvoegt (vergelijk Albert Einsteins relativiteits-theorie). Een der belangrijkste criteria voor een wetenschappelijke theorie om als zodanig te worden gekwalificeerd is dat zij falsificeerbaar moet zijn, d.w.z. dat het mogelijk moet zijn door middel van experimenten of waarnemingen de theorie of onderdelen daarvan op eventuele onjuistheden te toetsen. Ten onrechte wordt vaak beweerd dat dit criterium niet toepasbaar zou zijn op de evolutie-theorie: de gangbare reconstructie van de ontwikkeling van het leven op Aarde zou terstond worden gefalsificeerd indien, bijvoorbeeld, in een Cambriisch sedimentair gesteente een zoogdierfossiel zou worden aangetroffen dat geleefd heeft ten tijde van de sedimentatie (en niet, bijvoorbeeld, in veel jongere tijd in een spleet is gevallen en toen in een opvulling in het Cambriisch gesteente is gefossiliseerd).

Van creationistische zijde wordt regelmatig beweerd dat er wél fossielen zijn gevonden in een dusdanige geologische positie dat de evolutie-theorie zou worden gefalsificeerd. Het bekendste geval is dat van de fossiele menselijke voetafdrukken die zouden voorkomen naast die van dinosauriërs in een laag uit het Krijt die ontsloten is in de Paluxy rivierbedding bij Glen Rose in Texas. De feiten hierover zijn nagetrokken door de Groningse student K.J.M. Ververgaat³, waaruit zonneklaar blijkt dat dit verhaal een canard is. In de betreffende ontsluiting komen inderdaad prachtige dinosauriërsporen voor, maar de zogenaamde menselijke voetafdrukken heeft men nooit ter plaatse kunnen tonen; wél zijn er een aantal vervalsingen in omloop: losse stenen die uit deze lagen zijn gekapt en waarin voetafdrukken zijn nagemaakt.

Een tweede anomalie die graag wordt aangevoerd is dat fossiele pollen van Mesozoïsche en Kenozoïsche planten soms worden aangetroffen in veel oudere sedimentaire gesteenten, zelfs in Precambriische formaties. Dit is inderdaad het geval. Zo zijn er bijvoorbeeld Cretaceïsche en Vroegtertiaire pollen gerapporteerd in zandsteenlagen (door rivieren afgezet) van de Roraima-formatie in NO Zuid-Amerika, waarvan de ouderdom in ons laboratorium is vastgesteld op 1655 ± 20 miljoen jaar, ver in het Precambrium dus. Het gaat hier echter om een "gemengde" flora met pollen van zowel Cretaceïsche als Vroegtertiaire ouderdom, terwijl er bovendien erg weinig zijn en nooit enig ander fossiel in deze zandstenen is gevonden. De verklaring van dit fenomeen is eenvoudig. In het Krijt en Vroeg-Tertiair onderging het aardoppervlak in dit gebied een zeer intensieve verwerking, met als resultaat o.a. de vorming van de bauxietafzettingen in Suriname. Tijdens deze verweringsperiode is oppervlaktewater langs barsten en breukjes in het gesteente gedrongen en heeft daarbij pollen meegenomen, iets wat makkelijk kan gebeuren met deze zeer kleine deeltjes.

Omgekeerd kunnen ook wel eens oudere fossielen in een jongere laag terecht zijn gekomen, bijvoorbeeld bij de erosie van een fossielhoudend sedimentair gesteente. De fossielen kunnen dan door de erosie worden uitgepreparaard en in een veel jonger sediment worden afgezet. Zo

kan men vandaag de dag op het strand van de Boulonnais talloze losse ammonietjes vinden afkomstig uit de achterliggende Krijt-formatie, waarvan een deel weer door jonge standafzettingen worden bedekt en aldus in een recent sediment worden opgenomen. De paleontoloog is op dit soort onregelmatigheden bedacht en heeft er in de regel weinig moeite mee om dergelijke geërfde fossielen te onderscheiden van de fossielen die wél in het gesteente thuis horen. Maar dergelijke oudere fossielen op een secundaire ligplaats worden soms opgevoerd als "bewijs" voor de "onjuistheid van de faunale successie en dus van de evolutie-theorie".

Er is géén zinnig argument of verifieerbare waarneming bekend die de overstelpende hoeveelheid bewijs zou ontkrachten waarop de gangbare opvatting berust dat het leven op Aarde zich in miljarden jaren heeft ontwikkeld d.m.v. evolutionele veranderingen in fauna en flora. En hoe onprettig het voor sommige mensen ook moge zijn: dit geldt ook voor het verschijnsel Mens zelf. Er is overvloedig bewijs dat menselijke soorten al zeker zo'n 2 miljoen jaar geleden op Aarde zijn verschenen, als deel van de evolutie binnen de primaten⁴. Ook de bezwaren die wel eens tegen de evolutie-theorie worden ingebracht van zgn. wetenschaps-filosofische kant zijn uitvoerig weerlegd⁵. De biologische evolutie als één der pijlers van de geologische wetenschappen staat dan ook stevig overeind.

Geologische Tijd

Bij de opkomst van het moderne geologische onderzoek aan het eind van de achttiende eeuw is al snel onderkend dat men in de geologie, evenals in de astronomie, te maken heeft met — naar menselijke begrippen — onvoorstelbaar lange tijdsperiodes. Tot in de twintigste eeuw waren er echter géén betrouwbare methoden om de verstreken geologische tijd te meten. Men moest zich behelpen met extrapolaties terug in de tijd van een aantal geologische processen die zich vandaag de dag aan het aardoppervlak afspelen (erosie, sedimentatie, zoutaanvoer naar oceanen, etc.), maar toch werd zo duidelijk dat de geologische geschiedenis er een is van vele miljoenen jaren. De exacte vaststelling van de tijd die gemoeid is geweest met de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde werd echter pas mogelijk na de formulering van het principe van de radioactieve tijdmetering in 1904 door Lord Rutherford, acht jaar na de ontdekking van de radioactiviteit door Henri Becquerel. De weg was toen geopend om jaartallen toe te kennen aan geologische gebeurtenissen in het verleden, hoewel het nog tot in de vijftiger jaren van deze eeuw heeft geduurd vóór de gecompliceerde analytische technieken voldoende waren ontwikkeld om de radioactieve tijdmetering praktisch toepasbaar te doen zijn in het geologisch onderzoek. Sedertdien is op dit gebied enorme voortgang geboekt.

De principes zijn eenvoudig⁶. De snelheid waarmee de

⁴ Zie voor een recent overzicht van de paleontologische gegevens betreffende de afstamming van de mens het dubbelnummer van Natuur en Techniek, november/december 1981, "De Evolutie van de Mens".

⁵ Zie bijvoorbeeld de eerste vijf essays van Michael Ruse in "Is Science Sexist?", Reidel Publishing Company, Dordrecht 1981.

⁶ Zie bijvoorbeeld H.N.A. Priem, "Radioactieve tijdmeters in de Geologie", *Gea* 1976, vol. 9, nr. 2, p. 44-50, en "De Geologische Tijdschaal", *Natuur en Techniek* 1979, jaargang 47, nr. 9, p. 446-467.

³ Nieuwsbrief van het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap, juni 1981, p. 10-11.

TABEL 1

Ouderdom in miljoenen jaren ⁷				
KENOZOÏCUM	KWARTAIR	HOLOCEEN	0,01	
		PLEISTOCEEN		IJstijden; verschijning van de Mens (Homo habilis)
	TERTIAIR	PLIOCEEN	2,5	
		MIOCEEN	6	Oudste hominoïden
		OLIGOCEEN	23	Alpine gebergtevorming (Alpen, Himalaya)
		EOCEEN	34	
		PALEOCEEN	53	
			65	Begin van de bloeitijd der zoogdieren
MESOZOÏCUM	KRIJT		65	Uitsterven van de dinosauriërs; oudste primaten
	JURA		130	Bloeitijd van dinosauriërs
	TRIAS		204	Eerste fossielen van vogels
			245	Uitgestrekte warme woestijngebieden (zoutafzettingen), eerste fossielen van zoogdieren
PALEOZOÏCUM	PERM		245	Uitgestrekte warme woestijngebieden (zoutafzettingen)
	BOVEN-CARBOON		290	Hercynische gebergtevorming (Harz, Ardennen, Cornwall, Bretagne)
	ONDER-CARBOON		320	Uitgestrekte tropische moeraswouden (steenkoolafzettingen); eerste fossielen van reptielen
	DEVOON		360	
	SILUUR		400	Eerste fossielen van amfibieën
	ORDOVICIUM		420	Caledonische gebergtevorming (Noorwegen, Schotland)
	CAMBRIUM		495	Het O ₂ -gehalte van de atmosfeer is gestegen tot 10% van het huidige niveau; leven verbreidt zich over land
			530	Eerste fossielen van vissen (oudste vertebraten)
PRECAMBRIUM		530	“Explosie” van fossielen van ongewervelde zeedieren	
		3750	Oudste aardse gesteenten	
			Ontstaan van het Leven	
		4600	Ontstaan Aarde en Zonnestelsel	

radioactieve stoffen waar het bij de geologische tijdmeting om gaat (in het bijzonder uranium, samarium, rubidium en kalium), muteren tot andere elementen (respectievelijk isotopen van lood, neodymium, strontium en calcium + argon, zie Tabel 2), is voor iedere stof een constante. Bij tijdmeting met behulp van deze elementen bepaalt men de ouderdom van een gesteente of mineraal door de resterende hoeveelheid van het moederelement te vergelijken met de hoeveelheid van het dochterelement die door radioactief verval ter plaatse is geaccumuleerd. Onder de ouderdom wordt verstaan de tijd die is verstreken (in de regel miljoenen of miljarden jaren) sinds het gesteente of mineraal de vorm heeft aangenomen waarin wij het thans voor ons zien. Met de bepaling van dergelijke ouderdommen worden ook "jaartallen" gezet bij de geologische gebeurtenissen in de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde

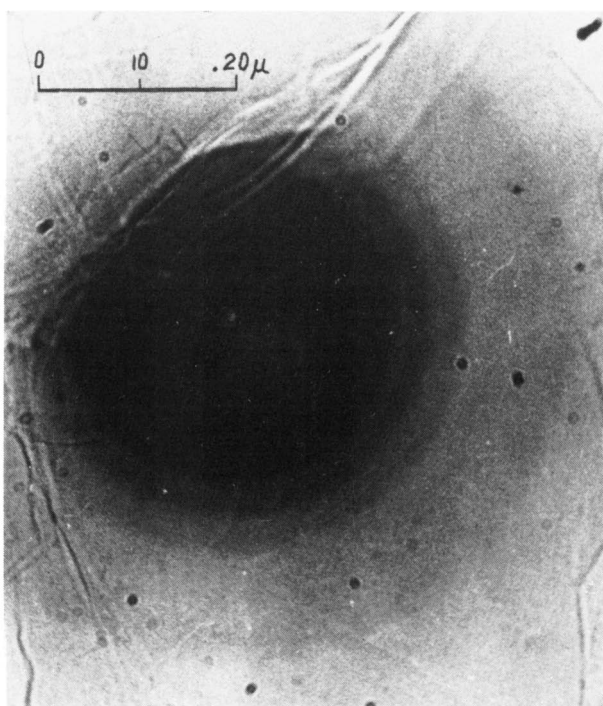
waarbij de betreffende gesteenten en mineralen zijn gevormd⁸

⁷ Sommige van de hier gegeven jaartallen verschillen met die vermeld in H.N.A. Priem, "Jaartallen in de Geologische Tijdschaal", Gea 1980, vol. 13, p. 98-100. Sederdien zijn echter een aantal nieuwe data bekend geworden, die de ouderdommen van enkele grenzen hebben verschoven. Met het verder voortschrijdende onderzoek zullen er nog wel diverse "bijstellingen" komen.

⁸ Voor de archeologie speelt ook de datering met behulp van het radioactieve koolstofisotoop-14 een belangrijke rol. Deze dateringsmethode gaat echter niet verder terug dan maximaal 70.000 jaar, zodat zij alleen toepasbaar is op het allerjongste deel van de 4.600 miljoen jaar omspannende geologische geschiedenis.

De constante snelheid waarmee kernmutaties verlopen wordt voor elke radioactieve stof uitgedrukt in de karakteristieke halveringstijd (gedefinieerd als de tijd die moet verstrijken tot van de radioactieve stof nog de helft is overgebleven; voor de elementen waar het hier om gaat varieert die tijd van 704 miljoen tot 106 miljard jaar, zie Tabel 2). De halveringstijd is een eigenschap van de atoomkern en is, althans voor de elementen die van belang zijn voor de geologische tijdmeting en voor zover het gaat om de omstandigheden die in ons Zonnestelsel heersen en hebben geheerst, onafhankelijk van temperatuur, druk en chemische toestand van de omgeving. In de geologische geschiedenis zijn de halveringstijden van de relevante radioactieve elementen derhalve onder alle geologisch mogelijke omstandigheden constant gebleven. Dit is een fysisch vaststaand feit, maar de constantheid wordt ook zeer fraai gedemonstreerd door een verschijnsel nabij radioactieve mineraalkorreltjes in gesteenten.

In sommige mineralen doet ionisatie tengevolge van het continue bombardement met α -stralen kleurveranderingen ontstaan. Aangezien de ionisatie vooral optreedt aan het eind van het traject dat het geëmitteerde α -deeltje aflegt (dracht), vormt zich om de α -straler een bolschil waarin het mineraal is verkleurd. De dracht van een α -deeltje is echter direct gerelateerd aan de halveringstijd van het emitterende radionuclide. Om een uranium- en/of thoriumhoudend mineraalkorreltje ontstaan derhalve concentrisch verkleurde bolschillen, waarbij elke bolschil één der α -emitterende leden van de uranium- en/of thorium-vervalreeksen representeert. Het bekendst en meest verbreid zijn de donkere "pleochroïtische halo's" die op deze wijze in het mineraal biotiet zijn gevormd rond insluitseltjes van zirkoon (afb. 1). Onder de mikroskoop kan in een slijpplaatje worden waargenomen dat een dergelijke halo is opgebouwd uit een aantal concentrische, donkere ringen, met een diameter voor de buitenste ring van 42 μm . Zouden in de loop van de geologische tijd de halveringstijden van de α -emitterende deeltjes zijn veranderd, dan zouden er tengevolge van de corresponderende veranderingen in de drachten van de geëmitteerde α -deeltjes



TABEL 2

Natuurlijke radioactieve isotopen die voor geologische tijdmeting worden benut

Uranium-238 (^{238}U) en *uranium-235* (^{235}U). Beide isotopen vervallen via reeksen van een groot aantal kortlevende radioactieve isotopen tot stabiele isotopen van lood, respectievelijk *lood-206* (^{206}Pb) en *lood-207* (^{207}Pb). De halveringstijden zijn respectievelijk 4,468 miljard en 704 miljoen jaar.

Samarium-147 (^{147}Sm), een element behorende tot de zeldzame-aardmetalen. Het vervalt met een halveringstijd van 106 miljard jaar tot een ander element behorend tot de groep van de zeldzame-aardmetalen, *neodymium-143* (^{143}Nd).

Rubidium-87 (^{87}Rb), dat met een halveringstijd van 48,8 miljard jaar vervalt tot het strontiumisotoop *strontium-87* (^{87}Sr).

Kalium-40 (^{40}K), waarvan 10,5% vervalt tot een isotoop van het edelgas argon, *argon-40* (^{40}Ar), en de resterende 89,5% tot een isotoop van calcium, *calcium-40* (^{40}Ca). De totale halveringstijd bedraagt 1,25 miljard jaar. Alleen het kalium-argon-vervalsysteem is geschikt als geologische tijdmeting.

verschillen moeten zijn tussen de pleochroïtische halo's in zeer oude en in jonge gesteenten. Dit is echter niet het geval: de opbouw van de halo's, de breedtes van de verkleurde zones en de stralen van de concentrische ringen zijn altijd gelijk, onverschillig of de graniet 3 miljard jaar dan wel 10 miljoen jaar oud is. Het enige onderscheid is dat de intensiteit van de verkleuring toeneemt met de ouderdom van het gesteente. De onveranderlijkheid van de halveringstijden door de geologische tijd is hiermede voor de α -emitterende leden van de uranium- en thoriumfamilies gedemonstreerd.

De constantheid van de halveringstijden maakt elke verdere discussie over de realiteit van de miljarden jaren van de geologische tijd eigenlijk zinloos. Volgens de radioactieve dateringsmethoden heeft de Aarde een ouderdom van 4.600 miljoen jaar. Om deze terug te

Afb. 1. Pleochroïtische halo's om insluitsels van het mineraal zirkoon (ZrSiO_4 , met geringe gehalten uranium en thorium) in biotiet, een gewoon beeld in gesteenteslijpplaatjes onder het mikroskoop. Fotometrisch onderzoek onthult dat elke halo is opgebouwd uit twaalf concentrische ringen, elk corresponderend met één van de α -emitterende leden van de uranium- en thoriumvervalreeksen. De straal van elke ring representeert de "dracht" van de ionisatie door de betreffende α -straler, welke direct gerelateerd is aan de vervalsconstante. De stralen van de verschillende ringen in een halo zijn altijd dezelfde, zowel in geologisch zeer oude als zeer jonge gesteenten. Dit illustreert dat de vervalsconstantes van de α -stralers door de geologische tijd constant zijn gebleven. Wél neemt met het verstrijken van de geologische tijd de zwarting van de halo's toe. (Foto S. Deutsch, Brussel)

brengen tot enkele tienduizenden jaren zou een duizelingwekkende verandering in de halveringstijden moeten worden aangenomen — een fysische absurditeit en aantoonbaar onjuist dankzij de pleochroïtische halo's. Natuurlijk doen zich bij de toepassing van de radioactieve dateringsmethoden vaak allerlei problemen voor, bijvoorbeeld omdat het gesteente of mineraal sinds zijn vorming niet steeds een gesloten systeem is geweest t.o.v. de betreffende elementen. Radioactieve datering vereist dan ook gewoonlijk een uitgebreid onderzoek met toepassing van verschillende dateringsmethoden naast elkaar (uranium-lood, rubidium-strontium, kalium-argon) om tot een juiste ouderdomsbepaling te komen.

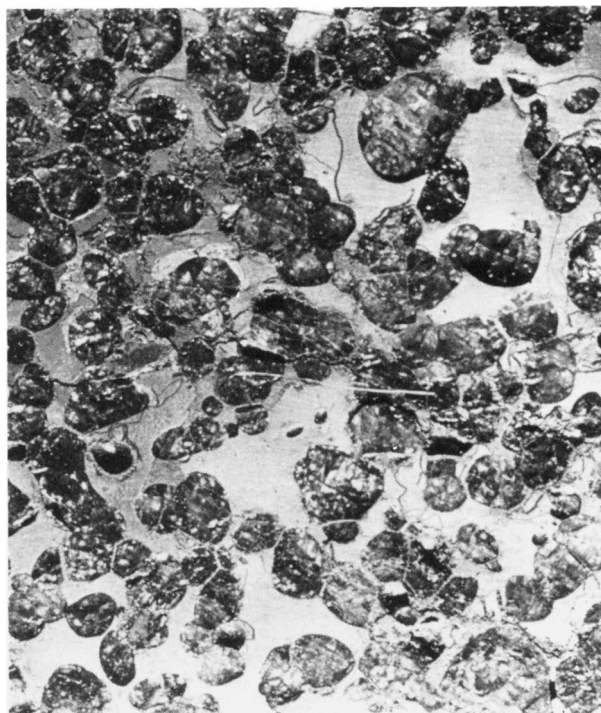
Soms wordt als tegenwerping tegen de radioactieve tijdmeting opgeworpen dat het niet mogelijk zou zijn te corrigeren voor de hoeveelheid van het dochterelement dat al bij zijn vorming is het gesteente of mineraal is opgenomen, zodat de gemeten ouderdom "veel te hoog" zou zijn. Ook dit is onzin. Door analyse van de isotopische samenstelling, naast de hoeveelheid, van het dochterelement, en onderlinge vergelijking van de samenstellingen in verschillende samenhangende gesteenten en/of mineralen, kan nauwkeurig worden gecorrigeerd voor de hoeveelheid van het dochterelement die in het begin is opgenomen.

De tijdsduur van de geologische geschiedenis wordt in de natuurwetenschappen dan ook algemeen geaccepteerd als een fysisch onomstotelijk bewezen realiteit. De feiten zijn dat de oudste gesteenten op Aarde van buitenaardse oorsprong zijn: de meteorieten (afb. 2) met een ouderdom van 4.600 miljoen jaar. Dezelfde ouderdom is ook bepaald aan sommige gesteentefragmenten in het losse oppervlaktmateriaal van de maan. De oudste gesteenten van aardse origine zijn ongeveer 3.700 miljoen jaar geleden gevormd.

Uit de eerste 900 miljoen jaar van de aardgeschiedenis zijn géén gesteenten bewaard gebleven: die zijn bij allerlei jongere geologische processen (smelten, rekristallisatie, etc.) onherkenbaar veranderd. Daarna is echter de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde goed te vervolgen en kunnen allerlei geologische gebeurtenissen worden voorzien van nauwkeurige jaartallen met behulp van de radioactieve tijdmeting (zie Tabel 1).

Alternatieve onzin

De opvattingen van de geologie omtrent de ontwikkelingsgeschiedenis van de Aarde zijn dus stevig gegrondvest op controleerbare bewijzen. Dat deze reconstructie in sommige kringen niet wordt aanvaard, is op zich zelf niet iets om drukte over te maken. Hinderlijker wordt het echter als deze lieden hun "alternatieve geologie" met veel ophef als een "wetenschappelijke theorie" presenteren, onder gebruikmaking van pseudo-wetenschappelijke argumenten en "bewijzen" die aantoonbaar vals en al vele malen weerlegd zijn. De meeste mensen zijn nu eenmaal zeer gebrekkig over geologie geïnformeerd, zeker in een land als Nederland waar dit, in tegenstelling tot onze buurlanden, zelfs geen vak is in het voortgezet onderwijs. De fraai uitgevoerde TV-programma's op de EO met pretentie van wetenschappelijkheid worden dan soms zelfs door redelijk goed onderlegde mensen serieus genomen, zoals ik zelf heb moeten constateren, waarna een hoop uitleg nodig is om een en ander recht te zetten. Teleurstellend is dat via de media TV en radio in ons land bijzonder weinig aandacht aan geologie wordt besteed, behoudens enkele Teleac-programma's, waarmee de effecten van dit wetenschappelijk bedrog zouden kunnen worden gecorrigeerd.



Afb. 2. Zaagsnede van een meteoriet (sideroliet van Brenham, Kansas, U.S.A., ca ware grootte). Groene bolletjes, in hoofdzaak bestaande uit olivijn (ongeveer corresponderend met de samenstelling van de aardmantel), "drijven" in een ijzer-nikkel-massa (naar men aanneemt ongeveer dezelfde samenstelling als die van de aardkern). Radioactieve datering van meteorieten wijst erop dat deze gesteenten ongeveer 4.600 miljoen jaar geleden zijn gevormd, gelijktijdig met de vorming van Aarde en Zonnestelsel.

Dit geldt trouwens niet alleen voor de geologie, maar voor het gehele gebied van de natuurwetenschappen: in de Nederlandse samenleving, inclusief de culturele elite, bestaat hiervoor nauwelijks belangstelling. Te vrezen valt dat dit alleen nog maar erger zal worden als de voorstanders van invoering van de middenschool hun zin zouden krijgen, omdat dan het onderricht in de natuurwetenschappen nog verder zal worden teruggedrongen. Voor zonderlingen en fanatici vormt een dergelijke omgeving een ideale voedingsbodem voor de verspreiding van allerlei natuurwetenschappelijke onzin.