

Een groene planeet: interview met Frank Beunk

door Annemieke van Roekel

Zijn hart kan petroloog Frank Beunk ophalen te midden van het bijna twee miljard jaar oud Precambrië in het zuiden van Zweden. Als onderzoeker en docent aan de Vrije Universiteit heeft hij daar veel onderzoek gedaan. Halverwege het Precambrium was er al plaattektoniek, evenals alle typen gesteenten die we vandaag de dag op aarde tegenkomen. De continenten dreven in die periode naar elkaar toe, om misschien wel het allereerste supercontinent op aarde te vormen.

Wat is uw favoriete onderzoek?

Dat is zonder twijfel de Precambrium-geologie, en dan met name die van het oude Proterozoïcum. Ik heb als petroloog vooral onderzoek gedaan in Zuid-Zweden, naar gesteente uit de periode tussen 1,9 en 1,7 miljard jaar geleden Afb. 1. Het land moet er toen kaal uitgezien hebben, nog zonder landplanten en -dieren. Alle hoofdgroepen van gesteenten die we vandaag de dag kennen, bestonden toen ook al, dus zandsteen, kleien, vulkanisch gesteente, maar ook metamorf gesteente omdat er veel tektonische activiteit was. De laatste 3,5 miljard jaar is er eigenlijk niet veel nieuws onder de zon. Dezelfde structuren die je nu in de Alpen vindt, vinden we ook in de oudste kratons. Vergeleken met de aarde van nu was er wel veel minder kalksteen. Biogene kalken waren vooral afkomstig van stromatolieten, dus van bacteriële oorsprong.

Was het continentoppervlak in het Precambrium veel kleiner dan nu?

Nee, er waren grote continenten met een oppervlakte van in totaal pakweg 80% van de huidige continentoppervlakte. Rond 1,9 miljard jaar geleden vormde zich het supercontinent Columbia, ook wel Nuna genaamd. Columbia heeft enkele honderden miljoenen jaren bestaan. Die oudste continenten, oftewel kratons of Precambrië schilden, zijn rond een miljard jaar geleden vervolgens terecht gekomen in het supercontinent Rodinia en een kwart miljard jaar geleden in Pangaea. Kratons komen nu in alle werelddelen voor. Het Proterozoïsch gesteente van een paar miljard jaar oud vind je behalve in Scandinavië ook in Suriname, Brazilië, Canada, de Verenigde Staten, Siberië, India, Afrika, Australië en Antarctica. Dat er steeds opnieuw supercontinenten ontstaan komt doordat de aarde bolvormig is. Als een supercontinent openbreekt en de continenten uit elkaar drijven, komen ze elkaar aan de andere kant van de bol altijd weer tegen. Natuurlijk zijn er altijd stukjes die er aan ontsnappen. Supercontinenten zijn niet stabiel. Onderin bouwt zich door de isolerende werking in de loop van de tijd warmte op. Die warmte zoekt een uitweg en zal uiteindelijk door het supercontinent heen breken. Zo ontstaan er weer nieuwe spreidingszones en herhaalt het proces zich opnieuw.

Wat kan een petroloog uit een steen afleiden?

Uit de mineraalgezelschappen kun je afleiden op welke diepte in de aardkorst de steen ooit is geweest. Ook kun je dit plaatsen in de tijd. Zo kun je de reis van gesteente door de aardkorst reconstrueren. Mijn hoogleraar Willem Paul de Rover was de eerste die dit heeft ontdekt. In mineralen bevinden zich namelijk hele kleine groeiranden uit verschillende tijdsfasen. Om die te analyseren zijn technische instrumenten onmisbaar. Vijftig jaar geleden werd de elektronen-microsonde ontwikkeld, een



Frank Beunk, Vrije universiteit

apparaat waarmee je een chemische analyse kunt uitvoeren op een schaal van micrometers. Dat was een enorme stap vooruit. Hiermee kon het druk- en temperatuurverloop van gesteente worden ontrafeld. We noemen dat het P-T-pad: de druk (P) geeft de diepte aan; T is temperatuur. Een volgende stap is het P-T-pad te koppelen aan de snelheid waarmee het mineraal de druk- en temperatuurverschillen heeft ondergaan: het P-T-t-pad, waarbij t staat voor het moment in het geologisch verleden. Wat we uiteindelijk graag willen weten is het P-T-t-d-pad, waarbij de d staat voor de richting van de beweging van het gesteente.

Welke mineralen zijn populair in dit soort onderzoek?

Granaat is echt de *love-baby* van de metamorfe petrologen. Ook in plagioklaas worden groeiringen goed bewaard, zelfs als het gesteente heel diep in de aardkorst geweest is. Zirkonen, waarmee je de absolute ouderdom kunt dateren, blijven zelfs intact als ze tot 150 kilometer diep in de mantel zijn geweest. Die raak je niet meer kwijt. De oudste zirkonen die we hebben gevonden, zijn afkomstig van metamorfe kwartsiet - van oorsprong zandsteen - en dateren we op 4,4 miljard jaar. Ik verwacht dat we in de toekomst in staat zijn op steeds kleinere schaal chemische analyses uit te voeren. Het detecterend vermogen neemt toe, zodat steeds kleinere concentraties gemeten kunnen worden van zowel elementen als isotopen. De mogelijkheid om isotopenonderzoek te doen zal zich uitbreiden. Ook verwacht ik dat de beelden van de diepe mantel steeds gedetailleerder zullen worden. Technologie is nooit af, maar evolueert voortdurend.

Wat komen we tegen bij een denkbeeldige reis naar de kern van de aarde?

Eerst gaan we door de oceanische of continentale korst. De overgang tussen korst en aardmantel, de Mohorovičić-discontinuiteit, kortweg Moho, ligt onder de continenten op 35 kilometer diepte. Onder de oceanische korst is dat gemiddeld zeven kilometer. De Moho kan fysisch worden aangetoond door een plotselinge toename in de snelheid van geluidstrillingen. In mantelgesteente - peridotiet - planten die zich veel sneller voort

dan in het gesteente erboven, omdat het soortelijk gewicht van mantelgesteente veel groter is. De onderkant van een tektonische plaat ligt een stukje dieper dan de Moho, op circa 100 kilometer. Daar is het gesteente nog steeds vast, maar wel plastischer. Vóór 2007 dachten we dat het gesteente waarover de plaat schuift niet vloeibaar is. We denken nu te weten dat, dankzij de aanwezigheid van water, er toch ook een beetje magma is. Je kunt je dat magma voorstellen als een dunne film, een soort olielaagje rondom een vaste mineraalkorrel. Naarmate je dieper komt, verdwijnt het magma als gevolg van watertekort en is het gesteente weer minder plastisch dan de laag erboven.

Waaruit bestaat de bovenkant van de aardmantel, waarop de platen drijven?

Dat is peridotiet en bestaat vooral uit olivijn en pyroxeen, een mooie groene steen die we veel in vulkanische gebieden kunnen vinden. Inmiddels zijn we aanbeland op 400 kilometer diepte: erboven ligt de bijna 400 kilometer dikke laag met olivijn, eronder vinden we een ander mineraal: spinel. Spinel heeft dezelfde chemische samenstelling als olivijn, maar een andere kristalstructuur. Nog dieper, onder de 670 kilometer, verandert spinel in perovskiet, een mineraal dat in deze vorm niet aan het aardoppervlak kan voorkomen. Door de lagere druk op minder grote diepte zou de kristalstructuur veranderen en zou het mineraal zich splitsen in granaat en kleine naaldjes pyroxeen. Alle mantelmineralen bestaan uit combinaties van magnesium, ijzer, silicium en zuurstof. Als we onze reis de diepte in voortzetten, komen we ten slotte op 2900 kilometer diepte bij de vloeibare buitenkern en op 5000 kilometer diepte bij de vaste binnenkern van ijzer-nikkel.

Dus een doorsnede door de aardbol levert door het mantelgesteente vooral een groen plaatje op?

De ondiepe mantel is inderdaad groen, maar naarmate je dichterbij de kern komt neemt de temperatuur toe en verandert de kleur. De vloeibare buitenkern van de aarde zou er door de extreem hoge temperatuur van circa 4000° Celsius helder wit uitzien, net als onze zon.

Welk onderwerp in de geologie boeit u het meest?

Dat is moeilijk te zeggen want ik vind bijna alles leuk. Op dit



moment boeit het moderne klimaatonderzoek me zeer. Dat heeft ook met mijn eigen klimaatbezorgdheid te maken en de merkwaardige wereldwijde discussie die aan de gang is. Je ziet dat politici gretig gebruik maken van de boodschap van klimaatsceptici, zonder daarbij serieus op de argumenten in te gaan. Ik ben dan ook niet zo blij met het verhaal van de Nederlandse geoloog Salomon Kroonenberg. Zijn boodschap is dat we ons niet druk moeten maken over de klimaatverandering omdat de aarde over 10.000 jaar toch in een nieuwe ijstijd terecht komt. Daarmee slaat hij de tijdschaal van 1000 jaar, die voor ons mensen nog net te overzien is, over. De politiek kijkt zelfs niet meer dan 50 of 100 jaar vooruit. Het is een feit dat we over pakweg 10-, 20-, of misschien zelfs 50.000 jaar in een ijstijd terecht komen, maar dan ga je uit van de geologische tijdschaal en niet van een 'menselijke maat', de titel van zijn boek.

Is een beetje klimaatscepsis niet op zijn plaats?

Ik ben er stellig van overtuigd dat de opwarming van de aarde een groot probleem zal worden. Als we doorgaan op de weg die we zijn ingeslagen en de Chinezen al hun kolen opstoken, ligt de zeespiegel over duizend jaar vier tot acht meter hoger. Dan is de ijskap op Groenland gesmolten en is ook de Zuidpool aan het smelten. Klimaatonderzoekers baseren hun reconstructies van het CO₂-gehalte op aarde op signalen die in de natuur aanwezig zijn, zoals luchtbelletjes in oude ijskernen, of op indirecte benaderingen van het CO₂-gehalte, de zogeheten 'proxies'. De oudste ijskern gaat 800.000 jaar terug, dus voor de periode daarvoor moeten we ons met deze proxies behelpen. Een vrij recent ontdekte proxy is de borium-calciumverhouding in mariene kalken, die een functie is van de zuurgraad van de zee en daarmee van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Dit onderzoek laat zien dat er een keihard verband is tussen het CO₂-gehalte en de mondiale temperatuur en dat CO₂ de beste voorspeller is van temperatuurstijging. Dat laatste wordt door sceptici steeds maar betwist.

Wat betekent het voor Nederland als het zeeniveau zoveel stijgt?

Dan komen we terecht in de situatie van Amersfoort aan Zee. Maar de zee is niet de grootste bedreiging omdat we de zeedijken flink kunnen verhogen. Ons grootste probleem is het rivierwater, omdat het niet tegen een heuvel van acht meter op kan stromen. We zullen in Nederland bij een hogere zeespiegel ook meer last krijgen van verzilting van het grondwater.

Welke geologische tijd boeit u het meest?

De allereerste 500 miljoen jaar van de aarde, het Hadean, vind ik het meest fascinerend. Uit die begintijd is maar weinig bekend. Ons zonnestelsel is toen ontstaan. Ook is toen uit een botsing van een kleine planeet met de aarde de Maan gevormd. De Maan is dus iets jonger dan de aarde. Het lichtgekleurde gesteente op de

Afb 1. Opeenvolging van fijnkorrelige en grovere laagjes van vulkanische assen, uit de omgeving van Grythyttan in West-Bergslagen (Zuid-Centraal Zweden). De afzettingen zijn 1,9 miljard jaar oud, maar ogen 'fris' alsof ze gisteren zijn afgezet.

maan is 4,4 miljard jaar oud; de donkerdere uitvloeiingen van lava – de maria – zijn een stuk jonger, tussen 3,8 en 3,3 miljard jaar. De aarde moet in die tijd een magma-oceaan zijn geweest, maar van het tempo waarin de allereerste geologische processen zich hebben voorgedaan, is vrijwel niets te achterhalen. In die periode moet bij de hydrothermale bronnen bij de mid-oceanische ruggen het allereerste leven op aarde zijn ontstaan.

Welke planeet is voor geologen het meest interessant?

De binnenplaneten leveren de meeste kennis over onze aarde, vooral Mars en Venus. Van Mars is meer bekend dan van Venus. Mercurius is moeilijk te observeren door de korte afstand tot de zon. De planeten zijn een wezenlijk onderdeel van de geologie. Dankzij de planeten kunnen we de grote gebeurtenissen van de aardgeschiedenis begrijpen. Op de planeten heeft de tijd stil gestaan, terwijl het oudste gesteente op aarde door de aanwezigheid van water en plaattektoniek grotendeels is verdwenen. Vooral de verschillen tussen de planeten zijn interessant. Venus vind ik persoonlijk het meest intrigerend omdat het klimaat daar zwaar uit de hand gelopen is. Alle koolstof bevindt zich daar in de atmosfeer met een oppervlaktedruk van 90 atmosfeer en een temperatuur van 480°C aan het oppervlak. Daaraan kun je zien wat er met een aarde-achtige planeet kan gebeuren als het uit de hand loopt. Venus heeft ook water gehad, maar dat is verdwenen. Dat weten we door de hoge concentratie zwaar waterstof – deuterium – die daar in de atmosfeer aanwezig is. Alle lichte waterstof is ooit ontsnapt naar de ruimte. De herkomst van waterstof moet water geweest zijn.

Kan de aarde zijn water ook verliezen?

Ja, dat kan wanneer het water de bovenste laag in de aardatmosfeer zou bereiken. Nu is het zo dat de temperatuur tot 12 kilometer boven het aardoppervlak sterk daalt tot min 60°C – de koudeval – om daarna weer toe te nemen. Hierdoor bevriest het water en blijft het gevangen in de onderste 12 kilometer. Maar als de oppervlaktetemperatuur van de aarde te hoog wordt, bijvoorbeeld als de zon steeds warmer wordt of wanneer er teveel CO₂ in de atmosfeer wordt geblazen, gaat die koudeval kapot. Over een miljard jaar zal dat zeker gaan gebeuren omdat de zon dan erg heet wordt. De waterdamp zal dan tot bovenin de atmosfeer stijgen en de oceanen gaan koken. Datzelfde moet ooit op Venus gebeurd zijn.

Welke geologen inspireren u?

Dat is moeilijk te zeggen want er zijn een heleboel geologen die mij hebben geïnspireerd of dat nog steeds doen. Zoals de Australische geofysicus Geoffrey F. Davies. Hij kwam met nieuwe ideeën over mantelconvectie, hot spots en zeer diepe subductie en schetste een duidelijk beeld van de beweeglijkheid van de hele mantel, niet alleen van de platen aan de bovenkant. Zijn modellen over de aardmantel waren een *eye-opener* voor mij. Ik ben er nog steeds van onder de indruk hoe een vak als geologie zich de laatste decennia heeft ontwikkeld en zich enorm heeft verdiept en verbreed.

Welk landschap boeit u het meest?

Dat zal je verbazen... niet Zweden, maar het Noord-Hollands veenpolderlandschap. Ik heb het sterke geloof dat ieder mens een landschap heeft waarin hij zich het beste thuis voelt. Ik vind Waterland het mooist vanwege de weidsheid ervan. Ik zou nooit in een dal in de bergen willen wonen. Daar zou ik me opgesloten voelen. Ik vind de kust van Zweden ongelooflijk mooi, maar het binnenland is stomvervelend omdat je voortdurend tegen donkergroene naaldbomen aankijkt. De dennenbossen zijn eindeloos, het houdt niet op. Voor het geologisch veldwerk is dat een handicap. Onder de productiebossen ligt bovendien een dikke glaciële bedekking, zoals zandheuvelds – eskers – en door de miljarden zwerfstenen die verspreid liggen in het landschap kun je er moeilijk lopen. De belangrijkste ontsluitingen vind je in gekapte stukken bos en langs wegen waar met dynamiet de boel is opgeblazen. Ook vulkanische landschap-

pen, zoals het Massif Central in Frankrijk en het Schotse Isle of Skye fascineren mij. Ik houd van vulkanisch gesteente door de enorme variatie en de mooie textuur.

Laatste vraag: Wat heeft u op persoonlijk vlak van de geologie geleerd?

Veel geologen hebben een grote betrokkenheid bij hun vak. Je kunt er de hele dag mee bezig zijn. Je krijgt van dit vak een bepaald inzicht in de begrippen ruimte en tijd. Dat is een achtergrondgevoel dat altijd aanwezig is. Het heeft iets mysterieus. De meeste niet-geologen kennen dit gevoel niet. Ik denk dan: je weet niet wat je mist!

Opeengeoscience: Britse geologische kaarten op internet

De Britse Geologische Dienst (British Geological Survey) heeft een website geopend met de naam 'Open Geoscience' (<http://www.bgs.ac.uk/opengeoscience/>). Deze site geeft toegang tot een grote hoeveelheid geologische informatie over Groot-Brittannië die gratis gedownload en gebruikt mag worden, mits voor niet-commerciële doeleinden. Geologische kaarten, foto's, gesteenteklassificaties, rapporten, het tijdschrift *Earthwise*, alles kan opgezocht en bestudeerd worden.

Zo weet ik nu dat het vakantiehuisje in Noord-Yorkshire, waar wij in mei een koude week doorgebracht hebben, verankerd is in de Cleveland Ironstone Formation en dat de top van de heuvel erachter (een hele klim) bestaat uit de Saltwick Formation. Erg verhelderend is 'Make a map' (onder *Education*) waar gesteenten op ouderdom en soort gesteente kunnen worden geselecteerd (sedimentair, vulkanisch, stollings). Niet alles is toegankelijk: een deel (GeoScholar) is alleen toegankelijk voor Britse hogescholen en universiteiten. Maar er blijft meer dan genoeg om te doorzoeken en van te genieten.

Aukjen Nauta