
Vulkanisme en de risico's voor de mensheid

Rede, uitgesproken op 13 juni 2005 door professor Gareth Davies, ter ere van het aanvaarden van zijn professoraat aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Vertaald uit het Engels door Huub Bruins.

De wereld is zo groot en zo gevarieerd dat het onmogelijk is haar recht te doen in een enkele lezing of zelfs in een hele opleiding. De aardwetenschappen liggen aan de basis van alles wat van belang is voor de mensheid: van de vorming van het landschap en de natuurlijke bronnen die wij gebruiken, tot de landbouw, en het karakter – en vaak de stijl – van dorpen en steden. Geologie treedt, met zijn drijvende krachten diep onder de oceanen en de continenten, op als een soort onbewuste ordening op aarde.

Veel mensen zijn nieuwsgierig om er achter te komen wat geologie eigenlijk doet, welke invloed het heeft op het planten- en dierenrijk en welke rol het speelt in het verhaal van onze eigen cultuur. Dit in tegenstelling tot de geoloog, die modellen en theorieën op wil stellen om steeds beter te kunnen doorgronden hoe de aarde werkt. Deze geologie zal zelden details over planten of plaatsen vermelden. De ontwikkeling van de plaattektoniektheorie heeft onze manier van denken over het ontstaan van een landschap grondig overhoop gegoooid. Wij weten dat de aarde aan verandering onderhevig is door plaatbewegingen, maar die kennis staat meestal in precies geformuleerde en niet-gepassioneerde wetenschappelijke rapporten. Aan ons, docenten aan hogescholen en universiteiten, is de taak om beide uitersten, de details van een landschap zoals de leek die ziet en de abstracte modellen van de geoloog over de vorming en verandering van datzelfde land, bij elkaar te brengen.

Het doel van deze lezing is om enkele aspecten te schetsen van het petrologisch onderzoek dat aan de Vrije Universiteit (VU) wordt uitgevoerd. De afdeling Petrologie doet onderzoek op verschillende boeiende gebieden. Maar, omdat er vandaag zo'n divers publiek aanwezig is, leek het mij een goed idee om er een aspect uit te lichten dat grote maatschappelijke gevolgen heeft.

Rampen

Er zijn allerlei natuurrampen die door hun omvang en de enorme hoeveelheid energie die vrijkomt wereldwijd gevaar kunnen opleveren. Iedereen kent de ramp op Tweede Kerstdag 2004 in de Indische Oceaan door een aardbeving met een grootte van 9.3 op de schaal van Richter in de subductiezone onder Sumatra. Deze gebeurtenis raakte miljoenen mensen en lokale economieën werden verwoest. Nog heftiger gebeurtenissen, zoals de inslag van een asteroïde of komeet, hebben recent veel publiciteit gekregen, o.a. door Hollywood films. Deze publiciteit – gedeeltelijk tenminste – heeft er voor gezorgd dat regeringen het mogelijke gevaar ervan gaan laten onderzoeken. Iedereen zal zich ervan

bewust zijn dat een dergelijke inslag een bedreiging zou zijn voor de stabiliteit van de wereldeconomie en het leven zou kosten aan miljoenen mensen.

Bij de VU zijn wij bekend met de mogelijke gevolgen van een dergelijke inslag door het werk van Professor Smit aan de meteorietinslag die de Chicxulub krater veroorzaakt heeft op het schiereiland Yucatan (Mexico). Deze krater heeft een diameter van grofweg 180 km en is ontstaan gelijktijdig met het uitsterven van de dinosauriërs, 65 miljoen jaar geleden. Van meteorietinslagen die kraters kunnen veroorzaken met een diameter van 500 km wordt geschat dat zij eens in de 400 – 500 miljoen jaar voorkomen hier op Aarde. Ondanks de extreme verwoesting van zo'n gebeurtenis is de kans dat het menselijke ras door zoiets uitsterft, erg klein.

In schril contrast hiermee staat het gebrek aan aandacht buiten de geologische gemeenschap voor de gevaren die vulkanisme op wereldschaal teweeg kan brengen. De kans dat er – op de termijn van een mensenleven – een catastrofale uitbarsting plaatsvindt is klein. Op een geologische tijdschaal echter zijn er duizenden voorbeelden van te vinden. Maar ook op de tijdschaal van de menselijke beschaving (enkele honderden tot enkele duizenden jaren) komen deze uitbarstingen verrassend vaak voor.

Hoewel het misschien mogelijk is om asteroïden af te buigen van hun baan om zo een inslag te voorkomen, is er, zelfs binnen de Science Fiction, nog geen betrouwbare methode ontwikkeld om een supergrote vulkanische uitbarsting te voorkomen. Er is op dit moment geen enkele denkbare strategie om de kracht van een grote vulkanische uitbarsting te doen verminderen. Het lijkt dus onvermijdelijk dat de mensheid ooit blootgesteld zal worden aan een catastrofe die alle communicatie, alle vervoer en de voedselproductie ernstig zal verstoren.

De grootste vulkanen in ons zonnestelsel bevinden zich op Mars. Ongeveer één tiende van het oppervlak van Mars is bedekt met actieve vulkanen. Het oppervlak van deze planeet is uitvoerig in kaart gebracht met behulp van de camera's van de Mars Global Surveyor (MGS). Wij hebben nu een gedetailleerd idee van de morfologie van het oppervlak en de geologische processen die daar verantwoordelijk voor zijn.

Het Tharsis Plateau is een erg goed voorbeeld van vulkanisme op Mars. Drie vulkanen grenzen daar aan elkaar. Zij zijn tussen de 350 en 450 kilometer in doorsnee en verheffen zich meer dan 15 kilometer hoog. De grootste alleenstaande vulkaan op Mars is de Olympus Mons, met een doorsnede van 550 kilometer en een hoogte die drie keer zo hoog is als de Mount Everest (24 km).

Het totale volume aan magma dat uit deze vulkaan gestroomd is, is meer dan 10^6 km^3 . Individuele lavastromen op de flank van deze vulkaan zijn over honderden kilometers te vervolgen. Uit de grootte van de caldera op de top valt af te lezen dat enkele tientallen kubieke kilometers lava erg snel moeten zijn uitgebarsten, waardoor de krater is ingestort. Uit de dichtheid van de inslagkraters op de vulkaan wordt geschat dat de vulkaan honderden miljoenen jaren actief moet zijn geweest. Dat betekent dat de magma's niet met zo'n snelheid uitgestroomd zijn, dat deze vulkaan het Aardse klimaat zou hebben beïnvloed.

Veilige kust

Dit brengt mij op het belangrijke argument dat niet alle grote vulkanen in staat zijn om catastrofale uitbarstingen te veroorzaken. Dit geldt zeker voor de grootste vulkanische structuur op aarde: de vulkanen de Mauna Loa en de Mauna Kea op Hawaï. Op zeeniveau heeft Hawaï een doorsnede van 200 km; het eiland steekt in totaal 12 kilometer uit boven de zeebodem, waarvan 4 kilometer boven de zeespiegel. Het volume van het eiland is slechts 80.000 km^3 , maar dat is toch genoeg om een deuk te veroorzaken in de oceanische korst waarop Hawaï is gevormd (afb. 1).



Afb. 1. De lavastromen op Hawaï kunnen tientallen kilometers ver stromen en eindigen vaak in zee.

Op een geologische tijdschaal is de magmatische activiteit van Hawaï continue. Bijna het totale oppervlak van het eiland is bedekt met lava's die jonger zijn dan 4000 jaar. Vulkanisme op Hawaï heeft vooral een basaltische samenstelling; het zijn magnesiumrijke lava's die relatief arm zijn aan silica. Lava van deze samenstelling ontstaat door het opsmelten van mantelmateriaal bij temperaturen rond de 1400°C . De magma's zijn meestal heter dan 1100°C als zij het oppervlak bereiken, waardoor zij een lage viscositeit hebben (in de orde van $10^2 - 10^4 \text{ Pa.s}$). De lava stroomt gewoonlijk uit noordwest-zuidoost lopende scheuren die door het centrum van het eiland lopen.

De uitbarstingen hebben meestal een rustig karakter, hoewel de intensiteit van uitbarstingen kan variëren en de zeldzame lavafonteynen zeker spectaculair zijn. Het continue vulkanisme van de meeste basaltvulkanen levert normaal slechts een minimaal gevaar op, hoewel plaatselijke scheuren problemen op kunnen leveren. Het is dan haast altijd onmogelijk om de richting van de lavastroom te controleren. Mocht u van plan zijn om naar Hawaï te verhuizen, ga dan niet in het zuidoosten van het eiland wonen waar de meeste scheuren zich ontwikkelen. Weet dat u ook aan de kust nog niet veilig bent, want lavastromen kunnen tientallen kilometers lang zijn en vaak de zee bereiken.

Ondanks het beperkte gevaar van basaltische vulkanen laten de statistieken zien dat basaltvulkanen in de laatste

paar eeuwen verantwoordelijk zijn geweest voor tienduizenden doden. De uitbarsting in het Laki-gebied op IJsland in 1783-1784 is daar een sprekend voorbeeld van. Dit vulkanische gebied produceerde in veertien maanden tijd $14,7 \text{ km}^3$ lava met een gemiddelde van meer dan $4000 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is de grootste eruptie-snelheid geweest die ooit is waargenomen (afb. 2). De lavafonteynen waren zo krachtig dat stof



Afb. 2. Een van de belangrijkste breuken waarlangs de Laki-uitbarsting heeft plaatsgevonden. Deze breuk is 25 km lang. (foto: Thor Thordarson. <http://volcano.und.edu>)

en aerosolen door de troposfeer (de lagere lagen van de atmosfeer) tot in de stratosfeer terechtkwamen, waar luchtstromen met hoge snelheden alles verspreiden over het grootste deel van het noordelijk halfrond. Door de uitbarstingen zijn er grote hoeveelheden zwavel, chloor en fluor neergeslagen, waardoor de oogsten in IJsland volledig mislukten en 75% van de veestapel verloren ging. In de daaropvolgende hongersnood gingen alleen al op IJsland 90.000 mensen dood; 25% van de totale bevolking. De oogsten in heel Europa leverden minder op en het heeft er alle schijn van dat de uitbarsting en de daaropvolgende hongersnoden

mede de aanleiding zijn geweest voor het uitbreken van de Franse Revolutie.

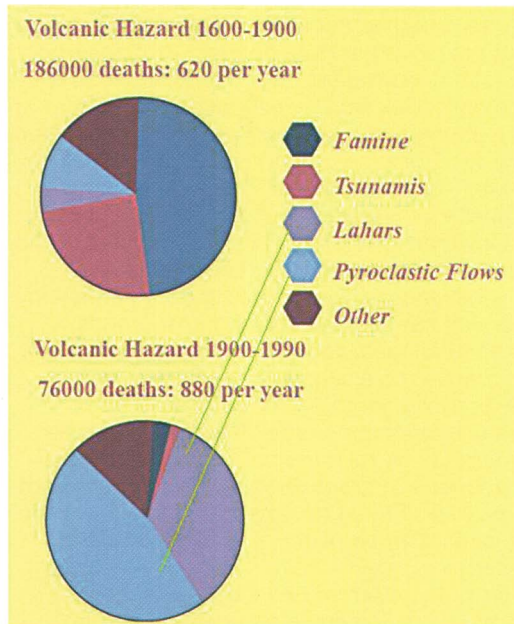
Canarische eilanden

Als we de geschreven archieven bestuderen, dan krijgen we een goed idee welke vulkanische activiteiten gedurende de afgelopen eeuwen het meest gevaarlijk geweest zijn. Tussen 1600 en 1900 kunnen 186.000 doden direct toegeschreven worden aan vulkanisme: een gemiddelde van 620 per jaar. De helft van deze doden was gerelateerd aan hongersnood, met name die na de Laki-uitbarsting; een kwart van de slachtoffers kwam om door tsunami's als gevolg van het (deels) instorten van vulkanen.

Over tsunami's was tot voor kort nauwelijks iets bekend, tot dat er tsunami-afzettingen werden herkend langs verschillende kusten. De huidige vorm van de westkant van Tenerife, een van de Canarische eilanden, is ongeveer 300.000 jaar geleden gevormd toen tientallen kubieke kilometers rots de oceaan ingleden, waarop ongetwijfeld een grote tsunami gevolgd is. Er zijn tsunami-afzettingen bekend op alle Canarische eilanden; op meer dan tien plekken in het eilandenrijk zijn instortingsfenomenen gevonden, de laatste daterend van 15.000 jaar geleden. Misschien nog verrassender is dat er ook op de Shetland eilanden, ten noorden van Schotland, tsunami-afzettingen gevonden zijn. Deze afzettingen bevinden zich meer dan tien meter boven de zeespiegel en zijn waarschijnlijk veroorzaakt door een enorme bergstorting op IJsland. Ongetwijfeld heeft deze tsunami ook de Noord-Europese kusten bereikt.

In de laatste eeuw is het aantal dodelijke ongelukken veroorzaakt door vulkanisme toegenomen tot meer dan 880 per jaar. Dit komt door de bevolkingstoename, vooral omdat er nu meer mensen wonen op de vruchtbare vulkaanhellingen. Opvallend genoeg vallen de meeste slachtoffers niet meer door hongersnoden en tsunami's, al wijkt de aardbeving van 2^e Kerstdag 2004 gruwelijk van die trend af,

waarschijnlijk dankzij betere communicatiemiddelen en een betere infrastructuur van de laatste eeuwen. De meeste slachtoffers vallen voornamelijk direct tijdens de eigenlijke uitbarsting. Gloedwolken en modderstromen (lahars) zijn verantwoordelijk voor meer dan tweederde van de dodelijke slachtoffers (afb. 3).

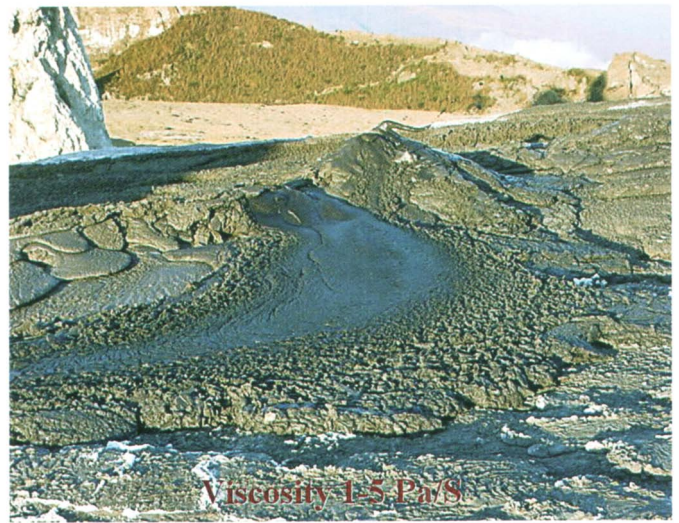


Afb. 3. De risico's verbonden aan het vulkanisme veranderen door te tijd heen. Was tot 1900 de kans om te sterven aan een vulkaanuitbarsting het grootste door de hongersnood daarna, na die tijd vielen verreweg de meeste slachtoffers door gloedwolken en modderstromen.

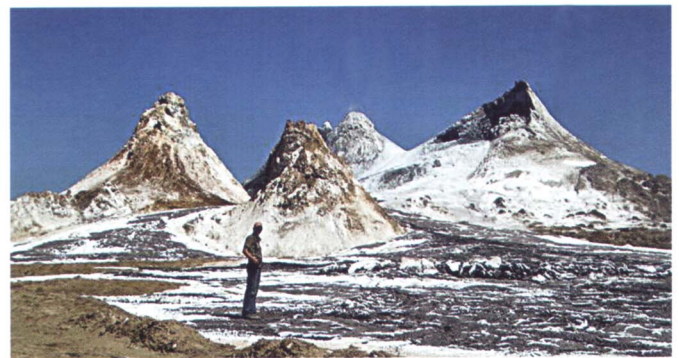
De samenstelling van het magma bepaalt hoe een eruptie plaatsvindt. Al eerder werd het basaltische vulkanisme op Hawaï en IJsland genoemd. Er zijn andere typen erupties die krachtiger of juist minder krachtig en daarmee gevaarlijker of juist minder gevaarlijk zijn. Uit de vulkaan de Oldoinyo Lengai in Tanzania bijvoorbeeld stroomt natriumcarbonaat met een temperatuur van slechts 700°C (afb. 4, 5, 6). Door de extreem lage viscositeit van het magma (~ 1 Pa.s) stroomt deze lava zelfs van de flauwste hellingen en is de kracht van de uitbarstingen gewoonlijk klein. Zuurdere magma's – met een hoger gehalte aan SiO₂ – zijn viscoseuzer (stroperiger). Zij veroorzaken over het algemeen



Afb. 4. De Oldoinyo Lengai, de carbonatietvulkaan in noordoost-Tanzania. (foto Gareth Davies)



Afb. 5. Deze lava is zo vloeibaar met een viscositeit rond 1 Pa.s dat zij nog van de meest vlakke hellingen afstromen.



Afb. 6. Het onwerkelijke landschap van de Oldoinyo Lengai Krater in Tanzania. (foto S. Döpps)

minder vaak vulkaanuitbarstingen, maar die uitbarstingen zelf zijn wel gevaarlijker. De bekende Italiaanse vulkanen Stromboli en Etna zijn voorbeelden. De lava's hiervan hebben een viscositeit van 10³ – 10⁵ Pa.s (afb. 7).



Afb. 7. Spectaculaire uitbarsting bij nacht van de Etna, begin oktober 1998. (bron: Swisssedu, foto: J. Alean)

De Stromboli is vrijwel continu in actie; maar het gevaar is gering. Hoewel de Etna een vergelijkbare samenstelling heeft, is het systeem van magmatische gangen zo anders, dat vulkanische gassen zich kunnen ophopen in de magmakamer, waardoor de uitbarstingen met meer geweld gepaard kunnen gaan. Magma's die water bevatten, zoals bij de Italiaanse vulkanen, zijn gerelateerd aan subductie-

zones. Het water dat in gesteenten zit die diep in de mantel opgesmolten worden is verantwoordelijk voor twee fenomenen. Ten eerste zorgt water er over het algemeen voor dat het magma rijker wordt aan silica, waardoor de viscositeit groter wordt. Ten tweede veroorzaakt water in het magma tot twee ordes van grootte meer vluchtige bestanddelen dan in de basalten op Hawaii, zodat een veel explosiever mengsel ontstaat. De aanwezigheid van water maakt subductiegerelateerde vulkanen dus veel gevaarlijker dan de hotspots op Hawaii. Zelfs kleine uitbarstingen gaan vaak met veel geweld gepaard.

De recente activiteit van Mount St. Helens in de staat Washington (VS) is een goed voorbeeld van de krachten die vrij kunnen komen bij subductiegerelateerde vulkanen. Het geleidelijk omhoogkomen van het zeer visceuze dacitische magma (met een viscositeit van 10^{10} Pa.s), gaf aanleiding tot een aantal spectaculaire explosies. De gasdruk werd echter deze keer niet zo hoog opgebouwd dat – net als in 1980 – het grootste deel van de vulkaan ontplofte. In 1980 is er naar schatting één kubieke kilometer magma uitgebarsten met een kracht die vergelijkbaar was met één Hiroshima-atoombom per seconde. Haast al het leven en alle gebouwen in een gebied van 600 km² rond de vulkaan werden vernietigd.

Hoe gevaarlijk een vulkaan is, heeft ook te maken met de plek van de vulkaan op aarde. Mount St. Helens ligt afgelegen. De slachtoffers van de uitbarsting van 1980 waren voornamelijk geologen en toeristen die de vulkaan net bezochten. Maar in andere gebieden leven mensen veel dichterbij vulkanen. In maart 2000 barstte de vulkaan de Uzu uit op het noordelijke Japanse eiland Hokkaido. Hoewel deze uitbarsting ongeveer honderd keer minder magma produceerde dan Mount St. Helens, vernietigden de bodembewegingen en de pyroclastische afzettingen de stad Tōya-ko Onsen. Gelukkig was de uitbarsting voorspeld: de stad was geëvacueerd. Ondanks de enorme ravage waren er geen mensenlevens te betreuren.

De twee grootste gevaren van explosief vulkanisme zijn pyroclastische stromen en vulkanische mudflows (lahars). Pyroclastische stromen, of gloedwolken, hebben snelheden van 100 kilometer per uur, maar plaatselijk kunnen ze supersonische snelheden bereiken. De temperatuur in de kern van de wolk ligt boven de 700°C. Ze kunnen afstanden afleggen van enkele honderden kilometers en tienduizenden vierkante kilometers bedekken. Geen enkel levend wezen

die in een pyroclastische stroom terecht is gekomen, heeft het overleefd (afb. 8).

Klimaat

De invloed van vulkanisme op het klimaat is erg gecompliceerd en omvat een aantal tegengestelde processen die het klimaat in verschillende richtingen beïnvloeden. Tot een vijftien jaar geleden bestond het idee dat vulkanisch stof de grootste invloed op het klimaat zou hebben. Stof absorbeert het zonlicht direct en houdt de infrarood straling tegen die door het aardse oppervlak wordt weerkaatst. Het netto effect van beide processen is een opwarming van de lagere atmosfeer. Maar nu is bekend dat stof maar korte tijd in de atmosfeer aanwezig blijft – slechts enkele weken tot twee maanden; het heeft een relatief hoog gewicht en regent uit de troposfeer. Opwarming van het klimaat door vulkanische uitbarstingen is dus maar een tijdelijk fenomeen.

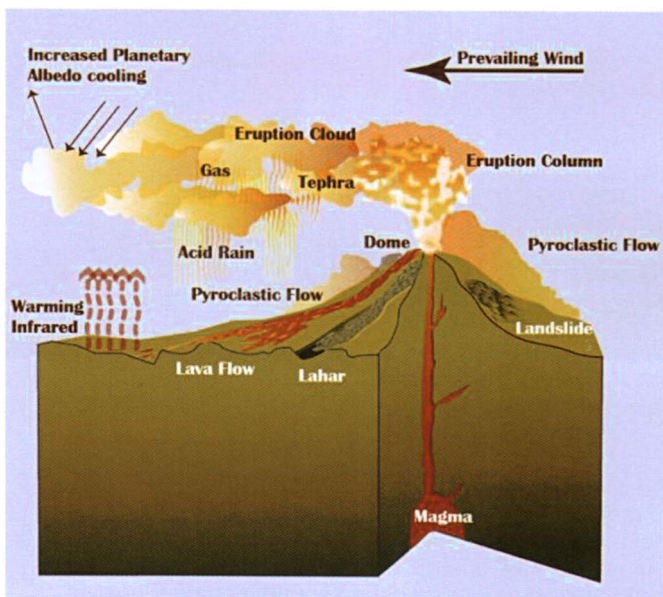
Tegenwoordig is bekend dat juist afkoeling door aerosolen in de stratosfeer een mogelijk veel belangrijker proces is. SO₂ en andere verbindingen, vooral de halogenen fluor en chloor, vormen grotere moleculen zoals H₂SO₄ en deze aerosolen in de bovenste atmosfeer zorgen ervoor dat de zonnestralen gereflecteerd worden. De albedo van de planeet zal toenemen – er zal meer zonlicht teruggekaatst worden – waardoor er een groot verkoelend effect optreedt in de lagere atmosfeer. Omdat de bovenste atmosfeer voornamelijk droog is, hebben aerosolen er een verblijftijd tot misschien wel tien jaar.

Dit is mogelijk de reden waarom de Laki-uitbarsting op IJsland in 1783 zo'n verwoestend effect gehad heeft op Noord-Europa. De dikte van de troposfeer op de hogere breedtegraden is slechts zeven tot tien kilometer (boven de evenaar is de troposfeer 15-18 km dik). Een uitbarsting op hogere breedtegraad kan mogelijk grotere gevolgen hebben voor het klimaat dan een vergelijkbare uitbarsting dichterbij de evenaar.

Een recent voorbeeld van een vulkanische uitbarsting met een grote invloed op het klimaat is die van de Pinatubo in 1991. Deze uitbarsting op de Filippijnen produceerde ongeveer 5 km³ magma met 0,25% S. In totaal kwam er 17 miljoen ton S in de atmosfeer. Met satellieten is de toename van SO₂ in de bovenste lagen van de atmosfeer geregistreerd. Na twee weken bleken de SO₂ en H₂SO₄ zich geleidelijk te verspreiden vanaf de tropen naar de polen toe. Na twee maanden waren de zwavelhoudende bestanddelen egaal verdeeld door de hele stratosfeer. Het resultaat was een toename van de albedo die ervoor zorgde dat er een wereldwijde afkoeling plaatsvond van 0,3°C in de volgende twee jaar.

Bovendien heeft deze uitbarsting ook voor veranderingen in de atmosfeer gezorgd. Het lijkt erop dat vulkanische aerosolen zijn opgetreden als katalysator waardoor de reacties die ozon vernietigen sneller zijn verlopen. Ozon in de stratosfeer is van essentieel belang voor het leven op aarde. Het beschermt de biosfeer tegen hevige ultraviolette straling. Ook zijn veranderingen waargenomen in het stikstofgehalte van de stratosfeer en de concentraties koolmonoxide in de troposfeer. Er zijn grote veranderingen in de methaanproductie waargenomen na de uitbarsting van de Pinatubo. Een verklaring hebben we nog niet, maar duidelijk is wel dat vulkaanuitbarstingen de biosfeer en de koolstofcyclus op mondiaal niveau kunnen beïnvloeden.

De geschreven archieven bevatten geen enkel bewijs van vulkanische uitbarstingen die groter zijn geweest dan 20 km³ magma. Het geologische archief daarentegen bevat duizenden nog grotere uitbarstingen. Een goed bewaard archief zijn ijskernen uit het Arctische ijs. Het ijs is een goede graadmeter voor vroegere vulkanische activiteit omdat het kleine hoeveelheden vulkanisch stof, sulfaat en calcium, etc., bevat. Bekende uitbarstingen zoals die in



Afb. 8. De belangrijkste gevaren, direct en op langere termijn, van een vulkanische eruptie.

het Laki-gebied (1783), de Krakatau (1883) en de Tambora (1815) zijn duidelijk terug te vinden in de Arctische ijskernen, zelfs de laatste twee erupties die plaatsgevonden hebben op het Zuidelijk Halfrond. Ijskernen worden gebruikt voor onderzoek naar de laatste miljoen jaren en er zijn bewijzen gevonden van duizenden grote uitbarstingen. Maar ijskernen geven echter niet per se aanwijzingen over de grootte van een uitbarsting. De cruciale vraag is dus wat wij onder een catastrofale uitbarsting verstaan.

Geologen gebruiken een logaritmische schaal, de VEI (Vulkanische Eruptie Index), om uitbarstingen te beschrijven. Deze is vergelijkbaar gebouwd als de schaal van Richter voor aardbevingen. Net als bij aardbevingen is er een verband tussen de zwaarte en de frequentie van erupties. Een VEI van 1 vindt bijna permanent plaats; de kans op een uitbarsting van een VEI 9 is zo klein dat zo iets misschien eens in de miljoen jaar voorkomt. De huidige gegevens tonen aan dat bij elke vertienvoudiging van de grootte van de eruptie, de frequentie van de uitbarsting afneemt met een factor 7. Dit geldt voor alle erupties ongeacht de grootte. Uitbarstingen als die van de Pinatubo in 1991 (VEI 6 laag) en de Krakatau in 1883 (VEI 6 middel) komen iets vaker voor dan eens per eeuw. Er komen per duizend jaar drie tot vijf erupties voor die zo groot zijn als die van de Tambora in 1815 (VEI 7, 50 km³). Uit tabel 1 blijkt dat uitbarstingen in de orde van grootte van 1000 km³ magma eens in de 500.000 jaar zouden voorkomen. Ik ken echter vier uitbarstingen van zo'n 1000 km³ die in de laatste miljoen jaar hebben plaatsgevonden (Yellowstone, Long Valley, Coso en Toba). In Yellowstone bijvoorbeeld zijn er in de laatste twee miljoen jaar drie uitbarstingen geweest van die grootte. De 'fall out' van deze uitbarstingen heeft bijna heel Noord-Amerika bedekt. Het verband tussen de grootte van de uitbarsting en de frequentie van voorkomen is dus duidelijk empirisch; geologische bronnen zijn nog niet gedetailleerd genoeg onderzocht om achter de precieze relatie te komen (afb. 9). Bovenstaande geeft u enig idee over de mogelijke wereldwijde gevolgen van één hele grote eruptie zoals op Aarde



Afb. 9. Horizontale afzettingen van de Bishops Tuff in Long Valley Caldera (California, VS). Duidelijk is het erosieve contact te zien waar fijngeleagde tuffen zich ingesneden hebben in grover materiaal. (foto: Gareth Davies)

gemiddeld iets meer dan een keer in de 30.000 jaar voorkomt. Het is dus simpel een kwestie van tijd voor er zo'n grote uitbarsting plaatsvindt die alles zal ontwrichten.

Een laatste gedachte vanuit een wetenschappelijk standpunt is dat alle uitbarstingen die hier besproken zijn, klein zijn in vergelijking tot de Large Igneous Provinces (LIP, Grote Vulkanische Regio's). Uitbarstingen van die grootte vinden eens in de 30 tot 50 miljoen jaar plaats. Hier hebben

zich magma's gevormd met een snelheid die groter was dan de Laki-uitbarsting en dat waarschijnlijk gedurende enkele tienduizenden tot enkele honderdduizenden jaren. Het totale volume aan vulkanisch materiaal in de 'Siberian Traps' bijvoorbeeld, is meer dan 7×10^6 km³, ongeveer zeven keer meer dan dat van de Olympus Mons op Mars (afb. 10). Uit de vorming van deze lava's op hoge breedtegraad en het explosieve karakter van sommige rhyolitische magma's



Afb. 10. Kaart van Noord-Rusland waarop duidelijk te zien is hoe enorm uitgestrekt de vulkanische en magmatische afzettingen zijn van de Siberian Traps.

valt af te leiden dat er gedurende vele duizenden jaren veel meer aerosolen in de stratosfeer moeten zijn geweest. Het is daarom niet echt verwonderlijk dat het vulkanisme van de Siberian Traps samenvalt met de grootste crisis in de geologische geschiedenis op Aarde – op de grens van Perm en Trias – toen de grootste golf van uitstervingen plaatsvond, tegelijk met een grote verandering in de zeespiegelstand door de vorming van een ijskap.

Misschien is het een troostende gedachte dat, als de mensheid zichzelf niet uitroeit door oorlogen of de gevolgen van klimaatverandering, uiteindelijk vulkanen hier wel voor zullen zorgen.

Onderzoek aan de VU

De afdeling petrologie van de VU doet onderzoek aan grote vulkanische systemen met een rhyolitische samenstelling; dit zijn zeer viskeuze magma's (tot 10^{11} Pa.s). Doel is om inzicht te krijgen in de magmatische processen die verantwoordelijk zijn voor de vorming van smelt, de snelheid waarmee deze processen plaatsvinden en de periode waarop dat gebeurt. Het Long Valleysysteem is de laatste twee miljoen jaar actief geweest. Aanvankelijk werden daar magma's gevormd die zeer rijk waren aan SiO₂ (77%). Dit ging door tot 1.3 miljoen jaar voor de catastrofale uitbarsting

Tabel 1: Het verband tussen de frequentie en de zwaarte van vulkanische uitbarstingen.

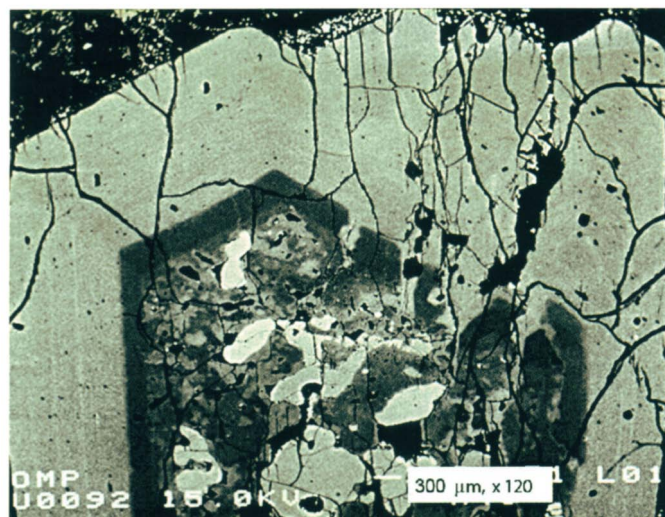
Vulkanische Eruptie Index (VEI)	Magma Volume Km ³	Voorbeelden	Frequentie per 100 jaar	Mogelijkheid van uitbarsting in de 21 ^e eeuw
6 (laag)	5	Pinatubo (1991) Vesuvius (AD 79)	>>1	>>100 %
6 (middel)	10	Laki (1783) Krakatau (1883)	> 1	> 100%
6 (hoog)	30	Kikai, Japan (6ka)	1	100%
7 (laag)	50	Tambora (1815)	0.1 – 0.5	50%
7 (middel)	100	Santorini (1630 BC)	0.01 – 0.06	6 – 10%
7 (hoog)	300	Campanian, It. (35ka)	0.001 – 0.01	0.1 – 1%
8 (laag)	500	Taupo, N.Z. (26 ka)	< 0.001	< 0.1%
8 (middel)	1000	Toba (75 ka) Yellowstone (0.6 ma) Bishop Tuff (0.76 ma)	< 0.0005	< 0.05%
8 (hoog)	3000	Yellowstone (2 ma)	< 0.0001	~ 0
9 (laag)	5000	Taylor Creek (USA, 28 ma)		

ka = 1.000 jaar geleden; ma = 1.000.000 jaar geleden

van de Bishop Tuff die 750 km³ magma produceerde. Deze uitbarsting veroorzaakte een krater van 30 bij 15 kilometer. Eerst werden er tuffen afgezet, die bedekt werden met kilometers dikke pakketten ignimbrieten, afgezet door pyroclastische stromen. De totale uitbarsting vond plaats in slechts 36 uur. Dit betekent dat er een uitbarstingssnelheid geweest moet zijn van bijna 6 miljoen m³/s. Er is waarschijnlijk meer dan honderd keer meer zwavel en andere aerosolen die in de troposfeer terechtgekomen dan bij de uitbarsting van de Pinatubo in 1991. Klimaatmodellen tonen aan dat de gemiddelde wereldtemperatuur gedaald moet zijn met 4–8°C over een periode van meer dan tien jaar. Als zo'n uitbarsting vandaag plaats zou vinden, dan zou de daling van de temperatuur, gekoppeld aan de afzetting van enorme hoeveelheden as ongetwijfeld een groot deel van de landbouwopbrengsten over de hele wereld vernietigen met een wereldwijde hongersnood als gevolg. De daling van de temperatuur zou zelfs voldoende kunnen zijn voor een toename van de ijsbedekking op aarde en zo het begin kunnen inluiden van een nieuwe ijstijd. Maar daar geven de huidige klimaatmodellen geen uitsluitsel over.

Ons onderzoek aan grote vulkanische systemen, zoals het Long Valleysysteem (California, VS) begint met het vaststellen van een gedetailleerde chronologie. Als dit eenmaal gebeurd is, worden de mineralogie en de chemische samenstelling van stenen en mineralen onderzocht om de processen te doorgronden die het systeem bepalen. Gezoneerde mineralen bijvoorbeeld zijn een duidelijk bewijs dat de samenstelling van het magma door de tijd heen veranderd is (afb. 46). Dit kan gebeuren door menging in de magmakamer, maar ook door periodieke vorming van nieuw magma in de kamer. Dit laatste is gebeurd bij de clinopyroxenen van de Stromboli, die opvallende variaties vertonen in samenstelling, zowel van de hoofdbestanddelen als van de Sr-isotopen (afb. 11).

In de grote, en uiteindelijk, catastrofale magmasystemen zoals Long Valley, is bewijs te vinden dat grote volumes magma (> 10 km³) homogeen van samenstelling zijn. De chemische samenstelling van deze gesteenten kan worden gebruikt om onderzoek te doen naar de vorming van deze magma's. Bovendien geeft het de mogelijkheid om bijvoorbeeld processen te leren onderscheiden die verantwoordelijk zijn voor gedeeltelijk opsmelten van de continentale korst en de processen die er verantwoordelijk voor zijn dat een groot deel van de mineralen gescheiden wordt



Afb. 11. Beeld van een clinopyroxeenkristal uit een vulkanische bom (scoria bomb) van de 1984-uitbarsting van de Stromboli. Duidelijk zijn de opeenvolgende groeizones rond een complexe olivijn-clinopyroxeenkern. De verschillende tinten grijs zijn evenredig met de gemiddelde atoommassa en laten een duidelijke variatie in samenstelling binnen het kristal zien. (foto Wim Lustenhouwer gemaakt met de micro probe)

van het kristalliserende magma.

Afhankelijk van de chemische samenstelling van het magma kunnen verschillende radioactieve isotopensystemen gebruikt worden om de tijdsduur van de vorming van de afzonderlijke magma's te bepalen en de wordingsgeschiedenis van en de snelheid waarmee het magma gevormd is. Deze kennis wordt weer gebruikt en vergeleken met de catastrofale uitbarstingen uit het verleden. Zo proberen we vast te stellen waardoor vulkanische erupties opgewekt worden en welk processen van beperkende en 'opwekkende' factoren belangrijk zijn. De radioactieve systemen waar wij gebruik van maken:

⁸⁷Rb → ⁸⁷Sr; ¹⁴⁷Sm → ¹⁴³Nd; ^{235,238}U → ^{207,206}Pb; ²³²Th → ²⁰⁸Pb; ²³⁴U → ²³⁰Th → ²²⁶Ra → ²¹⁰Pb

hebben halfwaardetijden tussen de 10¹¹ en 22,6 jaar en stellen ons in staat om processen te onderzoeken die zich afgespeeld hebben over perioden van enkele jaren tot

enkele miljoenen jaren. De samenstellingen van smelt- en mineraalinsluitels in mineralen geven ons de kans om de temperatuur en de vluchtige bestanddelen van het oorspronkelijke magma vast te stellen.

Voor een groot deel is de uitvoering van ons onderzoek simpel. Wat innovatief is aan onze benadering, is het ana-

lytische werk. Wij werken met 'state-of-the-art' apparatuur, we werken aan de ontwikkeling van nieuwe technieken en we proberen steeds kleinere monsters steeds nauwkeuriger te analyseren.

Boekbespreking

Praktijkgids fossielen. Fossielen verzamelen, prepareren en er ook nog wat mee doen, door Anne Schulp.

Uitgeverij KNNV, Utrecht, 2005; uitvoering: 159 pp., formaat 16 x 23 cm, genaaid gebonden, full color; ISBN 90 5011 203 X, € 24,95.

Verkrijgbaar bij de boekhandel of via www.knnvuitgeverij.nl, postbus 19320, 3501 DH Utrecht (vermeerdert met € 3,75 verzendkosten).

Eindelijk! Dit was het eerste woord dat in me opkwam toen ik deze praktijkgids onder ogen kreeg. Heel terecht zegt de auteur in het voorwoord dat er meer dan genoeg determinatie-boeken voor fossielen zijn, maar dat het aanbod van boeken over verzamelen, prepareren en conserveren schaars is. Ook pretendeert hij niet volledig te zijn, maar heeft hij in zijn gids wel zoveel mogelijk (gangbare) methodes, technieken en informatie opgenomen met voorbeelden dicht bij huis, waar- bij ik citeer: "... wie met de paleontologie wat serieuzer aan de slag gaat, betreedt al snel een onontdekt terrein".

De eerste vraag die ik mezelf daardoor stelde was: "Is deze praktijkgids een degelijke gids en kan hij dus waarmaken wat ik er van verwacht?" Als amateur ben ik tot nu toe altijd aangewezen geweest op de (waardevolle!) adviezen van mijn GEA-vrienden, maar miste ik een overzichtelijk naslagwerk over o.a. prepareertechnieken, schoonmaken, conserveringsmethodes en veldwerk. De praktijkgids bestaat uit vijf delen: achtereenvolgens wordt behandeld het vinden van fossielen, veldwerk, conservering, preparatie en als laatste determinatie. Achterin de gids is ook een handige adressenlijst opgenomen met gegevens omtrent geologische organisaties, musea, websites, gereedschappen, bibliotheken, etc.

Het eerste deel is nuttig voor beginners: algemene informatie en tips over vindplaatsen, veiligheid, Nederlandse geologische organisaties (GEA, NGV) met hun afdelingen, geologische begrippen, tijdschalen en kaarten. Het enige wat ik hier als kleine omissie beschouw in het onderdeel 'absolute ouderdom' is het ontbreken van een alinea over luminescentiedatering. Maar over het geheel genomen geeft dit hoofdstuk een solide stukje basiskennis, wat in een praktijkgids van dit kaliber niet mag ontbreken. Velen onder u kunnen dit eerste gedeelte echter waarschijnlijk overslaan en doorgaan naar het tweede gedeelte over veldwerk.

Het onderdeel veldwerk prentte mij weer eens goed in hoe belangrijk je eigen veiligheid en die van anderen is tijdens het zoeken naar fossielen, maar ook dat er tegenwoordig steeds meer wetgeving (noodzakelijk) is met betrekking tot vindplaatsen zoals natuurgebieden en groeves. Verder is een groot deel van dit hoofdstuk gewijd aan de benodigde uitrusting, het verwijderen van fossielen en bijzondere verzameltechnieken zoals zeven en het bergen van grote fossielen zoals reusachtige ammonieten of grote platen met fossiel materiaal. Ook amateurs vinden grote fossielen, hoeveel van

ons hebben niet prachtige, maar te grote fossielen moeten laten liggen omdat we geen geschikt gereedschap hadden? Aldus belanden we bij het onderwerp lijm en impregneer. Anne Schulp beargumenteert dat veel lijmsorten meer kwaad dan goed doen en zijn advies is: niet impregneren behalve wanneer het fossiel uit elkaar dreigt te vallen. De gevolgen van het (verkeerd) gebruiken van een bepaalde lijmsort worden vaak pas op lange termijn duidelijk, bijvoorbeeld verkleuringen. Uiteraard beseft hij dat het soms wel noodzakelijk is om een fossiel te impregneren en hij geeft daartoe dan ook methodes en materialen om een bevredigend resultaat te krijgen. Hij ondersteunt zijn argumentatie met praktijkvoorbeelden, zoals zijn eigen ervaringen met Archeo-derm in het Natuurhistorisch Museum Maastricht, waaraan hij als paleontoloog verbonden is. Maar hij is er zich ook wel degelijk van bewust dat iedereen andere voorkeuren en ervaringen heeft met lijmen en impregneren. Zo raadt hij het gebruik van Velpon af (wegens de glans, het verkleuren, en mogelijk vergroten van bestaande scheuren), terwijl ik daar zelf al jaren goede ervaringen mee heb. Zijn boodschap is echter wel duidelijk: bedenk goed, of je een bepaald fossiel wel moet impregneren en zo ja, bedenk goed welk middel daarvoor het beste geschikt is.

Het vierde hoofdstuk, over prepareren en schoonmaken, vond ik een naslagwerkje op zich: tips en methodes over schoonmaken, ontzilten, prepareren en prepareergereedschap, aïrscribes, chemische prepareertechnieken, opbergen, restaureren en registratie (inclusief een kader over de internationale registratierichtlijn 'Darwin Code') zijn een greep uit de verscheidenheid aan onderwerpen. Zelf was ik erg blij dat de auteur ook het pyrietverval aandacht geeft, in verband met mijn verzameling gepyritiseerde ammonietjes! Het afsluitende onderwerp is determinatie in brede zin: niet alleen via de literatuur, maar tegenwoordig ook via internet met behulp van zoekmachines (Google, Scirus, Yahoo). Ook fotografie en het maken van afgietsels komen in dit onderdeel aan bod. De gids is geschreven in een vlotte, persoonlijke stijl die prettig leesbaar is. Het is geen droog naslagwerk, maar echt een verhaal met een kop, romp en een staart. Het enige waar de lezer af en toe op moet letten is dat hij de hoofd- en bijzaken goed uit elkaar houdt, want dat is soms lastig door de gebruikte schrijfstijl. De verschillende hoofdstukken zijn rijk geïllustreerd met kleurenfoto's en voorzien van aparte kaders, waarin bepaalde onderwerpen wat uitgebreider toegelicht worden. De praktijkgids is bij uitstek een middel voor fossielenverzamelaars (beginners en gevorderden) die nog meer diepgang willen geven aan hun hobby. Het antwoord op de vraag is dus "ja!" Anne Schulp heeft waargemaakt wat ik van zijn praktijkgids verwachtte en waarschijnlijk zal ik deze nog vaak raadplegen voordat ik weer op fossielenjacht ga.

Ronald van Duijvenvoorde