

# Vulkaangassen

## Inleiding

Vulkaanuitbarstingen zijn imposante natuurverschijnselen; het plotseling optredend spectaculaire geweld is spreekwoordelijk. De oorzaak is het explosief uitzetten van gassen, vooral waterdamp, koolstofdioxide en zwaveldioxide, die in het hete, vloeibare gesteente (magma) waren opgelost. Daarvoor is het nodig dat de druk betrekkelijk snel wegvalt: vergelijkbaar met een fles champagne die enthousiast ontkurkt wordt, waarna koolstofdioxidegas met kracht ontwijkt en de wijn uit de fles doet bruisen.

Nog lang na een uitbarsting blijven gassen uit het afkoelend vulkanisch gesteente ontwijken. Koolstofdioxide en waterstofsulfide zijn daarvan het meest gevaarlijk. Bij de ramp die zich in augustus 1986 in Kameroen voltrok, kwamen meer dan 1700 mensen door verstikking om het leven in een koolstofdioxidewolk van vulkanische herkomst.

## Samenstelling van vulkaangassen

Vulkaangassen bestaan in hoofdzaak uit waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ), koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) en zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ). In veel geringere concentraties zijn waterstof ( $\text{H}_2$ ), waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), zwavel, koolstofmonoxide ( $\text{CO}$ ), waterstofchloride ( $\text{HCl}$ ) en -fluoride aanwezig. De relatieve samenstelling wordt beïnvloed door de heersende temperatuur, druk en oxidatiegraad. Bovendien kan, vooral in de hete rookpluim, een reeks van spoorelementen aanwezig zijn, waarvan met name lood, kwik, arseen, cadmium, seleen en zink wegens hun toxische eigenschappen vermeld dienen te worden.

De wetenschappelijke belangstelling naar de samenstelling van vul-

kaangas gaf reeds tussen 1910 en 1920 aanleiding tot de pioniersarbeid van Day en Shepard op Hawaii. Representatieve bemonstering en analyse van vulkaangas is nog steeds moeilijk. Bij vulkaanbewaking worden variaties in temperatuur en samenstelling gebruikt als een indicatie voor veranderingen van de activiteit, dus als hulpmiddel bij het voorspellen van een uitbarsting. Draagbare gaschromatografen waarmee de samenstelling van het gas ter plekke kan worden bepaald en spectrometers waarmee op afstand het zwaveldioxide van de rookpluim kan worden bepaald, zijn toegevoegd aan het instrumentarium van de moderne vulkanoloog. De samenstellingsverschillen van vulkaangas komen in onderstaande voorbeelden goed tot uitdrukking:

temperatuur (°C) en samenstelling (mol %)	Niragongo Zaire	Kilauea Hawaii	Surtsey IJsland	Merapi Java	Mount St. Helens Ver. Staten	Ili Lewotolo Indonesië
temperatuur	1020	1200	1125	820	660	490
H <sub>2</sub> O	47,1	58,6	84,0	93,9	98,9	75,8
H <sub>2</sub>	0,8	1,0	4,0	0,6	0,0	0,3
CO <sub>2</sub>	44,6	23,8	6,1	4,6	0,9	13,2
CO	2,7	0,9	0,4	0,0	0,0	0,0
SO <sub>2</sub>	4,8	15,6	5,0	0,5	0,1	8,7
H <sub>2</sub> S				0,5	0,1	1,0
HCl		0,1	0,6	0,2	0,4	0,1

### De explosieve ontgassingsfase

Bij een explosieve vulkaanuitbarsting kan de rookpluim tot in de stratosfeer reiken (10 tot 20 km hoogte). De rookpluim bestaat uit gassen en as. De asdeeltjes zijn vooral glasachtige fragmentjes en kristallen afkomstig van het magma. Als de gesteentesmelt taai is, wat wordt bevorderd door een relatief hoog silicagehalte, zal de uiteindelijke explosie zeer krachtig zijn. Puimsteen is het schuimachtige vulkanisch glas, dat ontstaat door de expansie van gassen in een taai, silicarijke smelt. Het wordt dan ook gevonden als het produkt van zeer explosieve vulkaanuitbarstingen. Een fractie van de as kan uit deeltjes bestaan die – door vorm en grootte – bij inademing carcinogeen zijn. Het meest beruchte verschijnsel bij een explosieve vul-

kaanuitbarsting is het optreden van gloedwolken van gas en as, die zich met grote snelheid langs de vulkaanhellingen kunnen voortbewegen. Een dergelijke „nuée ardente” veroorzaakte de dood van de 28.000 mensen tellende bevolking van St. Pierre op Martinique, bij de uitbarsting van de Mont Pelée in 1902.

### **De niet-explosieve ontgassing**

Tussen en na de explosieve ontgassingsfasen zijn er perioden van rustiger ontgassing; de temperatuur neemt af van meer dan duizend tot enige honderden °C. De gasen ontsnappen langs breuken en gaten in het gesteente. Zwavelrijke gasbronnen noemen we solfataren; bij fumarolen hebben we vooral met waterdamp te doen. Deze toestand kan tientallen tot honderden jaren duren. Niet zelden vindt de ontgassing plaats via de bodem van een kratermeer, dat daardoor zeer lage pH waarden kan bereiken.

Is de temperatuur van solfataren laag genoeg, dan kunnen flinke hoeveelheden zwaveldamp sublimeren. Bij de Ijen-vulkaan op Oost-Java wordt een kunstmatige temperatuurverlaging verkregen door ijzeren pijpen op de solfataren aan te sluiten. De hoeveelheid zwavel die daar in vloeibare vorm uitstroomt en gewonnen wordt, bedraagt ruim acht ton per dag.

### **Stoomexplosies, geisers en heetwaterbronnen**

Sommige uitbarstingen ontstaan door de explosieve expansie van oververhit water. We noemen dit type „freatisch”. Bij de uitbarstingen van de IJslandse vulkaan Surtsey (1963-1967) betrof het zee-water dat in contact kwam met oprijzend magma. Meestal is het grondwater, dat in de vulkanische ondergrond is verhit, en tot een uitbarsting kan leiden. Bekende voorbeelden zijn de explosiekraters in de Eifel. De geologische term voor zulke kraters is „maar”. Ze zijn na hun ontstaan gewoonlijk met water opgevuld. Een milde vorm van stoomexplosies komt tot uiting als „geisers”, bekend van IJsland.

In de hete ondergrond van vulkanische gebieden wordt door op-

warming circulatie van het grondwater op gang gebracht. Er ontstaan dan heetwaterbronnen, dikwijls met een hoog gehalte koolstofdioxidegas van vulkanische herkomst. Dit blijkt uit de verhouding tussen lichte en zware koolstofatomen, die voor vulkanisch gas een karakteristieke waarde heeft. Ook op de oceaانبodem ontstaan hete bronnen in vulkanische zones – dus vooral in de spreidingszones – met als gevolg de opwarming en circulatie van zeewater. Rond deze bronnen hebben zich sterk gespecialiseerde levensgemeenschappen kunnen ontwikkelen, uitsluitend gebaseerd op de anorganische componenten koolstofdioxide en waterstofsulfide (respectievelijk koolstofbron en energiebron) die met het hete water meekomen en van vulkanische herkomst zijn. De door sulfiden troebele, hete (tot ca. 350 °C) bronnen worden „black smokers” genoemd. Door contact met koud water slaan metaalsulfiden neer en ontstaan potentieel interessante ertsafzettingen.

#### **Waar komen vulkanen voor?**

De aardkorst kan worden beschouwd als een stelsel van ten opzichte van elkaar drijvende platen. De huidige continenten hebben ooit één geheel gevormd. De beweging gaat tot in de huidige tijd door. De Oostafrikaanse breukzone („riftvalley”) is een indrukwekkend voorbeeld van een stuk continent waar het proces van uiteendrijving op gang begint te komen. Dit gaat gepaard met vulkanisme, doordat heet vloeibaar gesteente vanonder de korst langs de rekspleten naar het oppervlak kan dringen. Bij dit vulkanisme wordt nieuw korstmateriaal gevormd. Aan dit proces dankt IJsland zijn ontstaan. Het is 15 miljoen jaar geleden in de Atlantische Oceaan beginnen te groeien met circa 2 cm in de breedte per jaar. Een spectaculaire groeistuip vond plaats in 1963, toen het eiland Surtsey boven water uit kwam tijdens een periode van hevige vulkanische activiteit. Elders langs de spreidingszone waar nieuwe oceanische korst wordt gevormd, vindt het vulkanisme onder water plaats.

Als ergens nieuwe (oceanische) korst wordt gevormd, moet deze elders verdwijnen. Dat proces, dat subductie wordt genoemd, heeft plaats waar platen tegen elkaar aan worden gedreven: oceanische korst zakt daarbij weg onder een continent of onder een andere

oceanische korst. Het gesteente wordt daarbij geleidelijk opgewarmd totdat het gedeeltelijk gaat smelten. Dit geeft aanleiding tot het ontstaan van de tweede belangrijke categorie vulkanen, gebonden aan subductiezones. De meest omvangrijke vulkanische zone is die rond de Stille Oceaan: de ring van vuur. De Indonesische vulkanen zijn gebonden aan de subductie van korstgesteente dat oorspronkelijk de bodem van een stuk Indische Oceaan was.

Plaatsen met een geconcentreerd warmtetransport naar het aardoppervlak („hot spots”) zijn het toneel van de derde categorie vulkanisme: Hawaï is hiervan het beste voorbeeld.

### **Globale milieu-effecten van vulkaangassen**

De laatste 40 jaar zijn er 23 uitbarstingen geweest waarbij de vulkanische pluim tot in de stratosfeer werd geblazen. Gassen en as hebben hierin een lange verblijftijd en dus een grote verspreiding. De asluier weerkaatst zonnestraling en heeft perioden met lagere temperatuur tot gevolg. Koolstofdioxide absorbeert zoals bekend de warmte-uitstraling en werkt temperatuurverhogend.

Hoe verhoudt zich de bijdrage van vulkanisch koolstofdioxide tot de industriële emissie? De koolstofdioxideproductie van een zeer actieve vulkaan is van dezelfde orde van grootte (op jaarbasis) als de emissie van koolstofdioxide door het verstoken van aardgas in Nederland. Het wereldwijd verbranden van fossiele brandstoffen mag daarom van een veel grotere betekenis worden geschat voor de koolstofdioxidebalans dan de emissie van een enkele zeer actieve vulkaan en van de vulkanen die in een rustige ontgassingsfase verkeren. In de periode voorafgaand aan het op grote schaal verbranden van fossiele brandstoffen zal vulkaangas echter de belangrijkste bron van koolstofdioxide zijn geweest.

Een actieve vulkaan kan per dag enige duizenden tonnen zwaveldioxide uitstoten. Een voor de hand liggende vraag luidt: wat is de rol van vulkanisch zwaveldioxide in de zure-regenproblematiek? Hoewel in vulkaangassen relatief meer zwavel voorkomt dan in fossiele brandstoffen, blijft de totale emissie door vulkanen laag ten opzichte van de enorme hoeveelheid die uit de verwerking van kolen, olie en ertsen vrijkomt: ruw geschat zo'n 10%. Bovendien zijn de

milieu-effecten van vulkanisch zwaveldioxide wellicht minder sterk door het verschil tussen de karakteristieke emissiepatronen: verspreide, veelal hooggelegen vulkanische bronnen tegenover laag gelegen, geconcentreerde bronnen in geïndustrialiseerde gebieden. Daarbij komt de grotere kwetsbaarheid van het natuurlijk milieu op de hogere breedtegraad waar de meeste geïndustrialiseerde gebieden zijn te vinden. In de onmiddellijke omgeving van uitstromende vulkaangassen is begroeiing afwezig of schaars en gespecialiseerd (mossen, varens). In een kwetsbare omgeving kunnen vulkaangassen grote schade aanrichten. Dit was het geval op IJsland in 1783, toen de graslanden op grote schaal door het zwaveldioxide uit een werkende vulkaan werden aangetast met een catastrofale hongersnood als gevolg.

### **Verstikkende vulkaangassen**

De ramp die in de late avond van 21 augustus 1986 in het noordwesten van Kameroen bij het Nyosmeer plaats greep, heeft de aandacht gevestigd op koolstofdioxide als fataal vulkaangas. Ook waterstofsulfide kan in gevaarlijke concentraties optreden. Naar aanleiding van de dood van drie jongens op de Tankubang Prahū bij Bandung in 1923, verrichtte de vulkanologische dienst ter plekke metingen, met als uitkomst 30-70% koolstofdioxide en 4-16% waterstofsulfide.

Koolstofdioxidegas is kleur- en geurloos, waardoor het slecht opgemerkt wordt. Het gas verdringt – doordat het zwaarder is – de lucht, waardoor zuurstoftekort optreedt. Een concentratie van 10% koolstofdioxide in de lucht kan slechts kort worden verdragen: 25% is na een aantal uren dodelijk.

Waterstofsulfide is reeds bij zeer lage concentratie aan de karakteristieke geur herkenbaar: het schakelt echter bij meer dan 0,02% het reukvermogen uit. Een concentratie van 0,06% is binnen een half uur fataal. Waterstofsulfide komt vooral voor in relatief koude vulkaangassen.

### **De gasramp in Kameroen**

Onderzoekers van de Nyos-gasramp kwamen te Yaounde bijeen van 16-20 maart 1987 om de toedracht van de ramp te bespreken. Op 21 augustus 1986, omstreeks 9 uur in de avond, steeg uit het Nyosmeer een immense, giftige gaswolk op, voornamelijk koolstofdioxide, en verspreidde zich met een snelheid van 70 km/uur over een afstand van 25 kilometer via valleien over de omgeving. De inwoners van Nyos, Souboum, Cha en Fang werden in hun slaap verrast of kwamen tijdens de vlucht om. Er werden 1746 mensen gedood, 700 mensen moesten behandeld worden en 4000 mensen werden geëvacueerd.

Bij het merendeel der onderzoekers bestaat er overeenstemming over de theorie dat in de onderste watermassa van het 220 meter diepe Nyosmeer koolstofdioxide van vulkanische (magmatische) herkomst was opgehoopt. Dit kwam plotseling vrij toen het zich met het oppervlaktewater vermengde. De onderzoekers bleken vooral verdeeld over het mechanisme dat voor de plotseling optredende vermenging zorgde: Amerikaanse onderzoekers suggereren dat het een aardverschuiving was, terwijl Franse experts hiervoor vulkanische activiteit aansprakelijk stellen, waarbij in het bijzonder aan een stoomexplosie valt te denken.

De Nyos-ramp staat niet op zichzelf. Twee jaar eerder deed zich een soortgelijke gebeurtenis voor bij Lake Monoun, eveneens in Noordwest-Kameroen, waarbij 37 mensen werden gedood. Op het Dieng-plateau in Midden-Java kwamen in 1979 150 mensen door verstikking om het leven in een wolk koolstofdioxide uit een krater, die door een freatische eruptie was ontstaan.

### **Conclusie**

Vulkaangas is de oorzaak van explosief vulkanisme. Milieueffecten als gevolg van vulkanisch koolstof- en zwaveldioxide zijn gering vergeleken met die veroorzaakt door industriële emissie.

Verraderlijk zijn relatief koude vulkanische gassen van koolstofdioxide, soms met het zeer toxische waterstofsulfide gemengd. Rampen zoals in Kameroen en Indonesië plaatsvonden, waarbij mensen

de dood vonden door verstikking in koolstofdioxide, zijn moeilijk te voorspellen. Wel zou men moeten proberen zones aan te geven waar koolstofdioxide en waterstofsulfide kunnen ontsnappen, en waar in combinatie met klimatologische en topografische factoren een verhoogd risico bestaat. In zulke streken zal een regelmatige controle van het koolstofdioxidegehalte van meren of grondwaterreservoirs moeten plaatsvinden.

### **Literatuur**

- „Forecasting volcanic events” door Haroun Tazieff en Jean-Cristophe Scabroux (Elsevier, 1983), geeft veel informatie over vulkaangassen en hun gevaren.
- Meer over de gasramp in Kameroen in Science, 10 april 1987 (Vol. 236, p. 169-175).

mei 1987

Dr. R. P. E. Poorter  
Afdeling Geochemie  
Instituut voor Aardwetenschappen  
Rijksuniversiteit Utrecht