



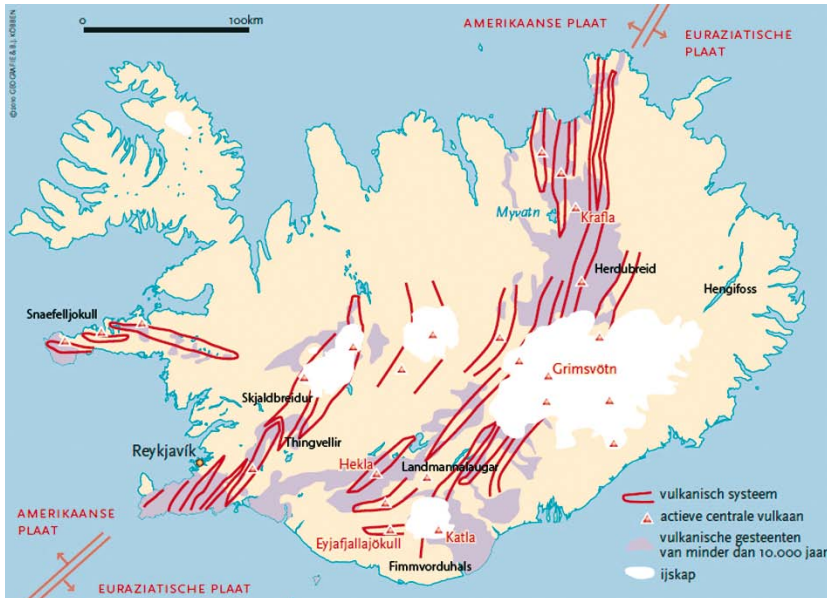
AFBEELDING 4. | Ten noordoosten van Myvatn vonden van 1978 tot 1984 de “Krafla fires” plaats, meerdere episoden van spleeterupties. In het landschap zijn de lava-flows van verschillende ouderdom nog te herkennen aan de kleurverschillen. De jongste zijn nog pikzwart, slechts hier en daar begroeid met wat korstmossen. Bron: Bernd Andeweg.

Eyjafjallajökull: inzichten in vulkanisme op IJsland

BERND ANDEWEG
BERND.ANDEWEG@FALW.VU.NL

In het voorjaar van 2010 hield een vulkaan met een bijna onuitspreekbare naam een groot deel van Europa in zijn greep. De as die uit de vulkaan kwam werd door een ongewoon stabiele noordenwind wekenlang over het noordwesten van Europa uitgespreid. De uitbarsting zelf vertelt veel over de vulkanische ontstaansgeschiedenis van IJsland en de speciale soorten vulkanisme die voorkomen op dit eiland van vuur, ijs en water.





AFBEELDING 1. | A. Vereenvoudigde weergave van de geologie van IJsland, met daarin alle namen die in dit artikel worden gebruikt. Van het zuidwesten loopt met een sprong in centraal-IJsland naar het noordoosten de zone met de jongste gesteenten: de plaatgrens tussen Noord-Amerika (west) en Europa (oost). Bron: Geografie en Bernd Andeweg.



AFBEELDING 2. | Van Noord-Amerika (links) naar Europa (rechts) is het maar een korte vlucht bij Krafla. Stoom komt nog uit spleten in de donkere basalt die hier in 1984 is uitgestroomd. Bron: Bernd Andeweg.

Inleiding

IJsland (Afb. 1) is de plek waar de tektonische platen van Noord-Amerika en Europa uit elkaar bewegen, met 25mm per jaar, gemiddeld. Net zo snel als je vingernagels groeien. Dat gebeurt alleen, anders dan je vingernagels, niet elke dag met een fractie van een millimeter, maar ineens een paar meter langs een tot kilometers lange spleet. Op meerdere plekken (Thingvellir, Krafla) in IJsland kun je door een kleine sprong een intercontinentale vlucht maken (Afb. 2). Het uit elkaar bewegen van de platen wordt veroorzaakt door stijgend, warm mantelmateriaal diep onder IJsland. Bij het stijgen van het warme, vaste materiaal, neemt dicht bij het aardoppervlak de druk snel af; dit leidt tot gedeeltelijk smelten. Het magma dat hieruit ontstaat, is, gezien zijn diepe bron, rijk aan ijzer (Fe) en magnesium (Mg). Mafisch dus. Dit hoge gehalte aan ijzer en magnesium en vooral het relatief lage gehalte silicium (Si, het voornaamste bestanddeel van de continentale korst) zorgt ervoor dat het magma dun vloeibaar is en nog bij

relatief lage temperatuur blijft stromen voor het stolt. Hoe zat dat ook alweer?

Silicium gaat graag verbindingen met zuurstof aan; samen vormen ze een SiO_4 tetraëder (viervlak). Si is geladen: $4+$. O is $2-$ geladen. Een tetraëder SiO_4 is dus niet elektrisch neutraal, want dat wordt $\text{SiO}_4 = 4+$. Het lukt pas om er een neutrale massa van te maken als elke O weer gedeeld wordt met een volgende SiO_4 tetraeder (dan telt de $2-$ lading van O steeds maar voor de helft mee: 4 keer -1 minder dus). Er ontstaat



AFBEELDING 3. | Ten noorden van Thingvellir vormt de Skjaldbreiður een perfecte schildvulkaan. Bron: Bernd Andeweg.



zo een alle kanten op even stevig stevig netwerk van SiO_2 , beter bekend als kwarts. Een heel sterk mineraal, dat je flink moet verhitten voor het smelt en dat juist ook als eerste ketens gaat vormen in een afkoelend magma. Een magma met veel Si kan dan ook veel druk hebben, dat levert dus heftig explosieve vulkanen op! De Merapi op Indonesië bijvoorbeeld.

De vorming van dat netwerk van SiO_2 , lukt alleen als er voldoende Si aanwezig is in het magma. Is er minder Si aanwezig, dan zal de SiO_4 tetraëder niet elke hoek met een volgende tetraëder kunnen delen. Dat betekent dat de structuur die zich vormt, nog een beetje negatief geladen is. Meerdere van dit soort bouwsels kunnen wel bij elkaar gehouden worden door er positief geladen atomen tussen te stoppen, zoals Al, Fe, Na, K. De bindingen die nu gevormd worden zijn dus voor een deel alleen gebaseerd op de Vanderwaalskrachten die het geheel bij elkaar houden. Veel minder sterk dan de atomaire bindingen tussen Si en O. De algemene formule wordt dan bijvoorbeeld $(\text{Al,Na})\text{SiO}_3$. Uit de verhouding Si en O blijkt meteen dat er in dit geval (1:3) minder Si voorhanden is dan bij kwarts (SiO_2 , dus 1:2).



AFBEELDING 5. | *Touwlava op de bovenkant van een gestolde lava flow, bij Þingvellir.*
Bron: Bernd Andeweg.

Omdat de bindingen minder stevig zijn, is er minder warmte nodig om het magma vloeibaar te maken of te houden en kan er minder druk opbouwen voor het tot een eruptie komt. Dit levert schildvulkanen op, die een flauwe hellingshoek van 2-5 graden vormen door opeenvolgende uitbarstingen (Skjaldbreiður is een perfect voorbeeld, zie Afb. 3). Dit soort vulkanisme hoort dus in principe thuis bij mid-oceanische ruggen, waar materiaal uit de mantel tot aan het aardoppervlakte komt, zoals op IJsland. Uitbarstingen met de dun vloeibare mafische magma's kunnen voor aanzienlijke lavastromen zorgen, die vele



AFBEELDING 6. | *De gekleurde ryolietbergen rond Landmannalaugar, een fascinerend kleurenschouwspel.* Bron: Bernd Andeweg.





AFBEELDING 8. | *Herðubreið, de karakteristieke vorm van deze vulkaan is het resultaat van een uitbarsting onder een (dikke!) ijskap, waarbij een smeltwatermeer onder het ijs ontstond waarin de uitbarsting plaatsvond. Een vergelijkbare situatie doet zich nu voor bij Grimsvötn, onder de Vatnajökull-ijskap. Bron: Bernd Andeweg.*

vierkante kilometers kunnen bedekken (Afb. 4). Op het hele eiland komen dikke plakken basalt voor, vaak met de mooiste zeshoekige (hexagonale) basaltkolommen, die ook inspiratie waren voor de Pelgrimskerk, die het stadsbeeld van Reykjavik domineert. Ook van touwlava (rimpelingen in de net gestolde bovenkant van een nog doorstromende lavauitvloeiing, Afb. 5) zijn schoolvoorbeelden te vinden, zeker in de buurt van Myvatn en Þingvellir.

Door het afkoelen van het warme materiaal dat in de centrale as van IJsland omhoog komt, neemt de dichtheid toe en zou het nieuw gevormde gesteente naar beneden willen zakken. Dat kan niet, omdat er nieuw warm materiaal op weg naar boven is. De enige optie die overblijft, is dat de afkoelende nieuwe stukken IJsland zijwaarts van de centrale as af bewegen, waar ze wel langzaam kunnen wegzinken. Daarmee trekt een openende oceaan zichzelf open, een tektonische kracht die “ridge push” genoemd wordt. Het levert dus een symmetrisch patroon op de geologische kaart op: de oudere delen van IJsland (tot Miocene ouderdom) bevinden zich aan de uiterste (noord)west- en oostkusten, de centrale as loopt met wat sprongen van het zuidwesten via centraal IJsland naar het noordoosten.

IJsland is een heel bijzondere plek. Het uit elkaar bewegen van oceanische platen is meestal verstopt onder kilometers oceaanwater: de rug die in het midden van de Atlantische oceaan op de bodem van de noordpool richting de zuidpool slingert, ligt gemiddeld op 2.500 meter onder zeeniveau. Hoe komt het dan dat het op IJsland wel mogelijk is tussen de continenten heen en weer te springen? IJsland ligt op de grens tussen twee tektonische platen, maar toevalligerwijs bevindt zich onder het eiland ook een *hotspot*, een plek waar vanuit grote diepte als een soort snijbrander vanuit één punt warm materiaal opstijgt tot aan het aardoppervlak. Daarbij tilt deze extra warmte IJsland boven water uit en verwarmt het de onderkant van de aardkorst van IJsland. Deze is van oorsprong oceanisch, dus zou dat alleen basaltisch vulkanisme moeten veroorzaken en dat is op IJsland voornamelijk ook zo. Toch komt er op afstand van de centrale, basaltische as meer felsisch magma omhoog, met alle gevolgen van dien: meer explosieve uitbarstingen. Door de andere samenstelling van het magma, zien de vulkanen die door deze taaier magma gevoed worden, er anders uit. Voorbeelden van aan meer felsische bronnen gekoppelde vulkanen zijn Snæfellsjökull (in het uiterste westen, de vulkaan waarin Jules Vernes de Reis naar het middelpunt van de Aarde liet beginnen), Katla en Eyjafjallajökull.

Bij Landmannalaugar bestaan de heuvels uit rood, groen, grijs, blauw en witte ryoliet (uitvloeiingsvariant van graniet, zie Afb. 6), geflankeerd door donker obsidiaan, wat ook allebei duidt op veel kwarts en explosief vulkanisme.

Afbeelding 7 laat de ontwikkeling van IJsland mooi zien: tot meters dikke plakken basalt (elk een flinke *lava flow*), met daartussen as en kleien met daarin zelfs fossiel hout. Deze hele opeenvolging wordt door intrusies van veel zuurder vulkanisme doorsneden (schuin door de lagen heenbrekend). Dat is dus een latere etappe in de ontwikkeling van IJsland. Na alle vulkanische activiteit, is het oppervlak gladgeschuurd door ijs en daarna ingesneden door de rivier die ook Hengifoss en Litlanesfoss vormt.

Eyjafjallajökull

Al een paar maal in de periode 1995 tot 2000 was er lichte activiteit onder de Eyjafjallajökull. Dat bleek uit satellietwaarnemingen aan de vorm van de berg en GPS metingen op de grond (verticale en horizontale bewegingen tot 20 cm in 1999!), als ook uit een serie lichte aardbevingen in 1999 (Sturkell et al., 2009). Maar toch bleef de vulkaan de jaren erna rustig.

Op 20 maart 2010 ontstond op een pas tussen Eyjafjallajökull (westelijk)



en Katla (oostelijk) een spectaculaire uitbarsting. Deze uitbarsting bij Fimmvörðuhals was een prachtig voorbeeld van een spleeteruptie: over een afstand van circa 100m opende een scheur, waaruit op meerdere plekken fonteinen van lava ontstonden, die snel kleine ‘cones’ opbouwden. De dun-vloeibare lava stroomde van een rand af, wat een spectaculaire magma-val opleverde. Een zeer media-genieke uitbarsting, langs het door-gaande pad van Skogafoss richting Þorsmörk. Met auto's kon je tot vlak bij de erupties rijden, zonder veel gevaar van de uitbarsting zelf. Helaas zijn er toch twee mensen overleden, omdat ze niet goed op de hoogte waren van hoe koud het in april in IJsland bovenop een ijskap kan worden; ze zijn doodgevroren. Verder heeft deze uitbarsting vrijwel geen problemen opgeleverd, eigenlijk alleen spectaculaire plaatjes.

Als we kijken naar de chemische samenstelling, dan volgt de eruptie helemaal het verwachtingspatroon: “slechts” 47% Si, relatief veel ijzer en calcium. Vulkanologen uit de hele wereld richtten hun ogen op Katla, een van meest actieve vulkanen van IJsland, die al een flinke tijd (sinds 1918) geen grote uitbarsting meer had getoond. Op wat licht gerommel na, bleef Katla echter rustig. Gelukkig! De uitbarsting in de pas ging ruim drie weken door, maar stopte, net zo plotseling als ze begonnen was, op 12 april 2010. Nieuwsgierigen uit de hele wereld die net een vlucht naar IJsland hadden geboekt om dit schouwspel te gaan bewonderen, visten achter het net. Dachten ze.

Op 14 april hernieuwde de vulkanische activiteit in het gebied. Niet bij Krafla, maar bij Eyjafjallajökull. De naam van de vulkaan komt van drie IJslandse woorden: *Eyja* voor eiland, *fjalla* voor berg (vergelijk met het Noors of Zweeds) en *jökull* staat voor ijskap. De naam komt waarschijnlijk van het feit dat je de ijskap vanaf de Vestmannaeyja (Westman-eilanden) net ten zuiden van de kust goed ziet liggen. Bij de Westman-eilanden was de laatste activiteit in 1973, waarbij de bevolking erin slaagde de magma-stroom richting de haven af te buigen, zodat de natuurlijke haven bewaard bleef.

De eerste dag van de uitbarsting bestond de kolom boven de vulkaan



AFBEELDING 7. | De ontwikkeling van IJsland in één wandje, nabij Hengifoss. Bron: Bernd Andeweg. Blauwe lijn: basis van de basalt flow. Rode lijnen: latere intrusies (gangen) van meer felsisch gesteente.

vooral uit stoom: het magma kwam in contact met de aanzienlijke ijskap op de top van de vulkaan. Dat maakte het vulkanisme al meteen een stuk explosiever dan bij Fimmvörðuhals. Het is een typische vorm van vulkanisme op IJsland, uitbarstingen onder ijskappen. In het landschap zijn er veel resultaten van te zien. Bijvoorbeeld kussen-lava die in het smeltwater van een ijskap is gevormd, dus niet zoals gewoonlijk op de zeebodem. Herðubreið in het centrale deel van IJsland is een prachtig voorbeeld (zie Afb. 8 en 9). Palagoniet-ruggen (Afb. 10) zijn ook aanwijzingen: spleeterupties onder het ijs hebben volledig versplinterd gesteente opgeleverd, nu nog als kaarsrechte ruggen met puntige toppen te zien in het binnenland, ten zuidoosten van Myvatn.

Terug naar de uitbarsting van Eyja. Al dat smeltwater leverde meteen een ander bekend IJslands fenomeen op: *jökulhaup* oftewel een smeltwatervloed. Met enorme afvoer stroomde het smeltwater van de noordzijde van de vulkaan, waar het de rivieren naar zee deed zwellen tot enorme watermassa's. De Ringweg 1, waar het water onderdoor moet, kon niet helemaal worden gespaard, de brug over de hoofdgeul wel, door op andere plekken in het weglichaam bressen te graven.

Toen de uitbarsting zich na een flinke dag door de ijskap heen gesmolten had, kleurde de wolk boven de vulkaan vanaf omstreeks 18:00 uur op 15 april donkerder: de vulkaan begon as en puin uit te spuwen. De as van de vulkaan kwam niet erg hoog in de atmosfeer, vlakbij de vulkaan tot zo'n 6 kilometer, daarna daalde de aswolk tot ongeveer 4,5 kilometer hoogte. Daar kan een vliegtuig prima overheen vliegen. Of omheen. Probleem was alleen dat de as boven veel van de vliegvelden van Europa hing: vliegtuigen moesten door de aswolk heen. En luchtvaartmaatschappijen namen het zekere voor het onzekere, ook al zijn in Nederland maar minimale hoeveelheden as terecht gekomen: enkele microscopisch kleine deeltjes per vierkante meter. Analyses van de as van de uitbarsting toonden aan wat vulkanologen al dachten omdat de aswolk lichtgrijs van kleur was. Silicium, het hoofdbestanddeel van de continentale korst, is niet alleen in gewicht lichter (daarom “drijven” de continenten aan de buitenkant van de aardbol!), maar het vormt ook mineralen die voornamelijk lichter van kleur zijn. De lichte kleur van de as(wolk) duidde dus al op een relatief hoog SiO_2 -gehalte: 57%. De chemische analyses toonden zelfs aan dat wat dat betreft de Eyja niet onderdeel was voor subductievulkanen zoals de Merapi. Eigenlijk dus veel te veel SiO_2 voor een vulkaan op een spreidingszone, een rift. Zo komen er dus wel meer voor op IJsland. Dat vraagt om een verklaring. Er zijn twee theorieën voor: 1. Bij de uitbarsting van Fimmvörðuhals had het aanwezige magma van veel basaltisch magma ontdaan, waardoor het restant in de diepte meer SiO_2 ging bevatten. In het groot is dat ook het idee voor heel IJsland: magma “splitst”





AFBEELDING 9. | *Kussenlava (pillow basalt) is een bijzonder vorm van basalt die onder water is uitgevloeid.*
Bron: Bernd Andeweg.

onder IJsland, waarbij het meer mafische magma dicht bij de centrale spreidingsas omhoogkomt, terwijl verder van de centrale as meer felsisch (veldspaat- en silicium-rijk) magma zich een weg omhoog baant en daar zorgt voor meer explosief vulkanisme.

2. Een andere optie is dat er onder IJsland restanten zouden zitten van de Caledonische botsing, waarbij delen aardkorst gesubduceerd zijn en nu weer van onderen worden opgewarmd door een hotspot die zich onder IJsland bevindt. Dat zou op die manier zorgen voor explosief magma. Deze theorie wordt ondersteund door het feit dat de aardkorst onder IJsland eigenlijk veel te dik is (tot meer dan 30 kilometer!) voor een spreidingszone.

Eyjafjallajökull leert ons dat vulkanen waarvan de vorm duidelijk verandert en waar veel aardbevingen plaatsvinden, niet direct actief hoeven te worden. Ze kunnen jaren later toch onverwacht tot leven komen.

Wel even handig om te weten: de as van de vulkaan smelt bij ruim 1.000 graden, dat is ook de temperatuur die een vliegtuigmotor van een Boeing of DC haalt.

De as in een motor smelt dan ook, bij de uitgang van motor koelt het snel af en stolt (zie ook de bijdrage van Bram Elsenaar in dit nummer). Zo zou een plak lava de doorvoer van lucht door de motor kunnen blokkeren. Een tip, voor zo'n geval mocht het nog eens voorkomen: de vliegtuigmotoren van Russische makelij worden met 600 graden niet warm genoeg voor dát soort problemen!

LITERATUUR / MEER WETEN:

Trausti Guðmundson, A., 2007. Living Earth. Outline of the Geology of Iceland. Edda Publishing, Reykjavik.

Nordic Volcanological Center, <http://nordvulk.hi.is/>

F. Sigmundsson, F., Hreinsdóttir, S., Hooper, A., Arnadóttir, T., Pedersen, R. & Roberts, M.J., 2010.

Intrusion triggering of the 2010 Eyjafjallajökull explosive eruption. *Nature*, 468: pp. 426-430.

Sturkell, E., Einarsson, P., Sigmundsson, F., Hooper, A., Ofeigsson, B.G., Geirsson, H. & Olafsson, H., 2009.

Katla and Eyjafjallajökull volcanoes. In: *The Myrdalsjökull Ice Cap, Iceland*, (eds: A. Schomacker et al.), ISBN 978-0-444-53045-5, pp. 5-21.



AFBEELDING 10. | *Nabij de hoogstgelegen boerderij van IJsland (Mýðradalur) lopen vrijwel noord-zuid georiënteerde palagonietranden door het landschap, restanten van spleeterupties onder een ijskap.* Bron: Bernd Andeweg.

