Anatomie van een vulkaan

Jos Wassink

Vorig voorjaar bezorgde de IJslandse vulkaan Eyjafjallajökull veel overlast in het Europese luchtruim. De reconstructie die L&R-onderzoeker dr. Andy Hooper een half jaar later in Nature publiceerde geeft volgens mede-auteur dr. Freysteinn Sigmundsson een nieuwe richting aan in de vulkanologie. “We willen weten hoe het magma beweegt in de vulkaan.”

Toen eind maart de IJslandse vulkaan met de moeilijke naam tot uitbarsting kwam, haastte geofysicus dr. Andy Hooper zich om een vlucht naar IJsland te krijgen. Het was vlak voordat delen van het luchtruim gesloten werden vanwege de aswolken die de Eyjafjallajökull uitstootte. “Van dichtbij is zo’n uitbarsting goed te zien”, vertelt Hooper. “De piloot maakte speciaal nog een omweg om ons een blik op de vulkaan te gunnen.” Hooper, die sinds 2008 op de afdeling remote sensing van Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek werkt, ging er niet alleen heen voor de sensatie. Natuurlijk is zo’n eruptie een kick - zijn grijns op een foto verraadt dat Hooper het geweldig vindt om in zijn gezicht min vijftien graden Celsius te voelen en in zijn rug plus dertig. Maar Hooper wilde vooral zoveel mogelijk gegevens verzamelen tijdens de uitbarsting. “Dit is een heel interessante vulkaan omdat hij maar af en toe uitbarst (vier maal in de afgelopen duizend jaar, red). De Hekla gaat de laatste tijd iedere tien jaar. De vulkaan komt een paar centimeter omhoog naarmate de druk opbouwt, en zakt weer in na een uitbarsting. Maar bij de Eyjafjallajökull (de naam betekent: eiland-berg-ijskap) is dat patroon veel complexer.”

Foto: Andy Hooper

De lava vormde watervallen.

Voor de verwerving van gegevens ter plekke nam Hooper contact op met de mensen van het Nordic Volcanological Centre, nu onderdeel van de Universiteit van IJsland. De directeur, dr. Freysteinn Sigmundsson, kent hij goed uit de periode dat hij hier als postdoc doorbracht (van 2006 tot 2008). “Waar kun je beter vulkanen bestuderen dan op IJsland?”, was destijds zijn motivatie. Sigmundsson en zijn team houden de vulkaan al achttien jaar in de gaten. In de zomer van 2009 stond er één gps-station op de flanken van de vulkaan, maar dat werd snel uitgebreid naar drie naarmate de activiteit toenam. De vaste gps-stations hebben een nauwkeurigheid van twee millimeter per jaar, vertelt Sigmundsson. Hij voegt er aan toe: “Vlak voor de eruptie bewoog de vulkaan met vijf millimeter per dag!”
Meer gegevens had Hooper besteld bij de Duitse exploitant van de radarsatelliet TerraSAR-X. Die satelliet cirkelt op ruim vijfhonderd kilometer rond de aarde en passeert iedere plek met een tussentijd van elf dagen. De satelliet zendt microgolf radarstraling uit en vangt de weerkaatsing ervan op. Uit het faseverschil tussen uitgezonden en teruggekaatste golf berekent de satelliet de afstand tot het aardoppervlak. Vergelijking met vorige passages brengt verplaatsingen van het aardoppervlak tot op millimeterniveau in beeld.
Aan het begin van de eruptie had Hooper dus de datavoorziening goed voor elkaar, maar hij had niet kunnen dromen dat na een voorzichtige eruptie op de flank van de vulkaan (20 maart tot 12 april) zich twee dagen later opeens een explosieve uitbarsting zou voordoen vanuit de top van de vulkaan, en dat die een maand lang actief zou blijven. Terwijl Europa kreunde onder de aswolk, stroomden bij L&R de data binnen.

Reconstructie

Een half jaar later, op 17 november 2010, publiceerden Sigmundsson, Hooper en een dozijn andere onderzoekers een reconstructie van de eruptie in het wetenschapsblad Nature(*). Sigmundsson was de eerste auteur, maar hij zwaait Hooper in een telefoongesprek alle lof toe. “Andy heeft de gegevens van de interferometrie samengevoegd met de gps-data. Bovendien heeft hij het meeste werk verricht aan de modellering. Hij heeft erg belangrijk werk verricht.” Omgekeerd is Hooper erg complimenteus over zijn IJslandse collega: “Freysteinn is de grondlegger van de metingen aan de deformaties van de vulkanen op IJsland. Dat doet hij al tientallen jaren.”
In het artikel doen de auteurs het ingewikkelde patroon van magmastromen onder de vulkaan uit de doeken: In 1994 al verspreidt magma zich op vijf kilometer diepte in een horizontale laag onder de vulkaan. Vijf jaar later ontstaat er een kilometer dieper een tweede laag. Elf jaar later, in 2010, stuwt de magma hogerop en verspreidt zich in twee horizontale lagen op vier tot vijf kilometer diepte én in een verticale gesteente ader tot vlak onder het vulkaanoppervlak. De gps-stations registreren een opheffing van zes centimeter.

Foto: Sam Rentmeester/FMAX

Andy Hooper: “We willen vulkanologische anatomie bedrijven”.

> ‘De piloot maakte een omweg om ons een blik op de vulkaan te gunnen’

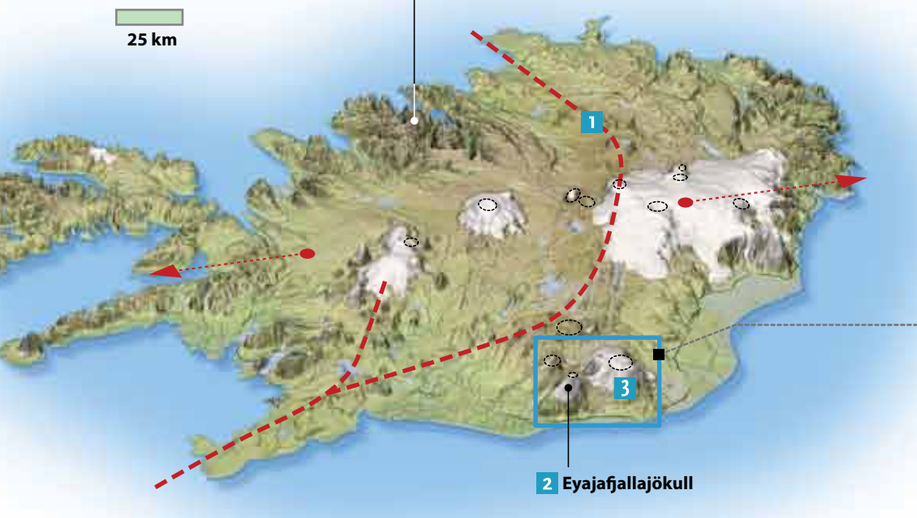
Op 20 maart breekt het magma door de flank van de vulkaan en gedurende drie weken stroomt daaruit lava naar beneden. Vreemd genoeg zakken twee van de drie gps-stations niet terug – de spanning blijft.
Twee dagen is het rustig. Maar dan, op 14 april 2010, volgt een explosieve uitbarsting vanuit de sneeuwbedekte krater van de vulkaan. Volgens de analyse komt dat doordat de magma toen op vier kilometer diepte contact heeft gemaakt met een oudere magmalaag. Hooper: “Die magma zat er al een tijdje. Daardoor is het stroperiger geworden en bevatte het ook veel gas. Het gas heeft tot een explosieve uitbarsting geleid en de taaiere magma leverde kleinere asdeeltjes op die hoger in de atmosfeer terecht kwamen en zich verder verspreidden.”
Zo schetst het artikel een fascinerend beeld van hoe de eruptie zich heeft voltrokken en volgens Sigmundsson is dit een voorproefje van hoe de vulkanologie zich zal ontwikkelen. Met als uiteindelijk ideaal: een compleet beeld van de magmastromen in de vulkaan. “We willen vulkanologische anatomie bedrijven”, licht hij toe.
De reconstructie is het resultaat van een soort omgekeerd ontwerp. Hooper gaat daarbij uit van een ‘elastische’ ondergrond, dat wil zeggen: van een grond waarvan de vervorming evenredig is met de overdruk van een magmastroom. In die ondergrond veronderstelt hij een aantal breuklijnen (a bunch of cracks) waardoor de magma zich beweegt. Vervolgens berekent hij de vervorming aan het aardoppervlak als magma zich een weg baant door een zeg twintig centimeter brede spleet. Die berekening vergelijkt hij met de metingen, waarna hij zijn reconstructie bijstelt. Zo kwam hij na een aantal iteraties tot een resultaat dat goed overeenstemt met de meetgegevens.
Helpt die kennis nu ook om uitbarstingen te voorspellen? “In IJsland weet je nooit welke vulkaan er als volgende uitbarst”, zegt Sigmundsson. “Voorspellen gaat niet”, zegt Hooper, “maar je kunt wel betere verwachtingen geven over het verloop. Daar zal de luchtvaart wel belangstelling voor hebben.”

(*) *Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir, Andy Hooper et al.: ‘Intrusion triggering of the 2010 Eyjafjallajökull explosive triggering’, Nature, 17 Novembre 2010.*

Meer informatie:
Dr. Andy Hooper
a.j.hooper@tudelft.nl

Land van vulkanen
IJsland ligt op de Mid-Atlantische rug 1. De Noord-Amerikaanse en de Euraziatische plaat schuiven elk jaar bijna 2 cm uit elkaar. De plaatbewegingen veroorzaken vulkanisme.

Eyajafjallajökull 2
Over het gedrag van vulkanen die weinig actief zijn, zoals de Eyajafjallajökull (IJslands voor Eilandbergengletsjer) die niet boven de Mid-Atlantische rug ligt, is weinig bekend. Hoe ziet de magmakamer van zo'n weinig actieve vulkaan eruit en hoe gedraagt die kamer zich?



Grote buurman
Naast de Eyjafjallajökull (oppervlak 50 km²) ligt de grotere buurvulkaan Katla 3 (oppervlak 600 km²). In het verleden zijn de twee vulkanen vaak gelijktijdig actief geweest. Magmastromen in de bodem bij de ene vulkaan kunnen de andere doen uitbarsten. De laatste uitbarsting van de Katla in 1918 was groter dan die van de Eyjafjallajökull in 2010. Hoewel er geen concrete aanwijzingen zijn voor een uitbarsting, verwachten vulkanologen dat Ketla de komende jaren zal uitbarsten. De vulkaan barst elke 40 tot 80 jaar uit en is dus over tijd.

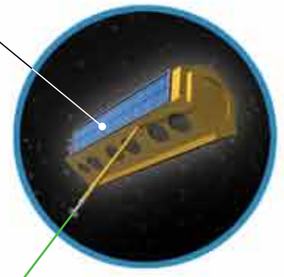
OPMERKELIJKE METING

Geen inzakking na uitbarsting 6
Normaal zakt na een uitbarsting de aardkorst in omdat de magmakamer leeg raakt. Dit gebeurde niet met de flankuitzetting na de uitbarsting in 2010.

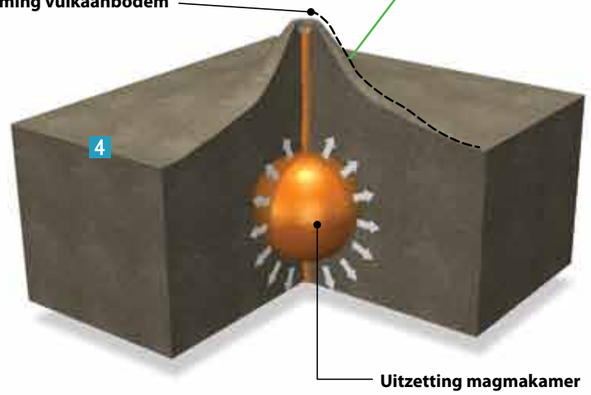
Het magma van de flankeruptie is dus niet afkomstig uit de magmakamer onder de flank, maar werd direct aangevoerd vanuit een diepe bron in de aardkorst. De uitzettingen blijven bestaan, tot de dag van vandaag, en de magmakamers blijven dus onder druk staan.

Klassieke vulkaan 4
Het klassieke beeld van een actieve vulkaan is een kegelvormige berg met één grote magmakamer. Voor een uitbarsting stroomt magma de kamer in, de druk loopt op en de kamer zet geleidelijk uit. Tijdens een uitbarsting stroomt magma weg waardoor de druk afneemt en de kamer weer inkrimpt. Het uitzetten en krimpen van de magmakamer is meetbaar door de vulkaanvorm te monitoren met satellieten (GPS en radar-interferometrie). Voor de uitbarsting van 2010 stonden rond de Eyajafjallajökull vijf GPS-ontvangers 5. Deze ontvangers meten (semi-) continu 3D-verplaatsingen.

Radar-interferometrie
Vanaf juli 2009 registreerde de InSAR-radar van de TerraSAR-X-satelliet bodemverplaatsingen van de Eyajafjallajökull. Door opeenvolgende beelden (de satelliet komt elke elf dagen langs) met elkaar te vergelijken kunnen deformaties worden bepaald. Als de eigenschappen van het oppervlak te veel veranderen, bijvoorbeeld door sneeuwval, is het moeilijk om metingen aan elkaar te relateren en dus om vast te stellen welke hoogtevariaties hebben plaatsgevonden.



Vervorming vulkaanbodem



Bodemsimulatie

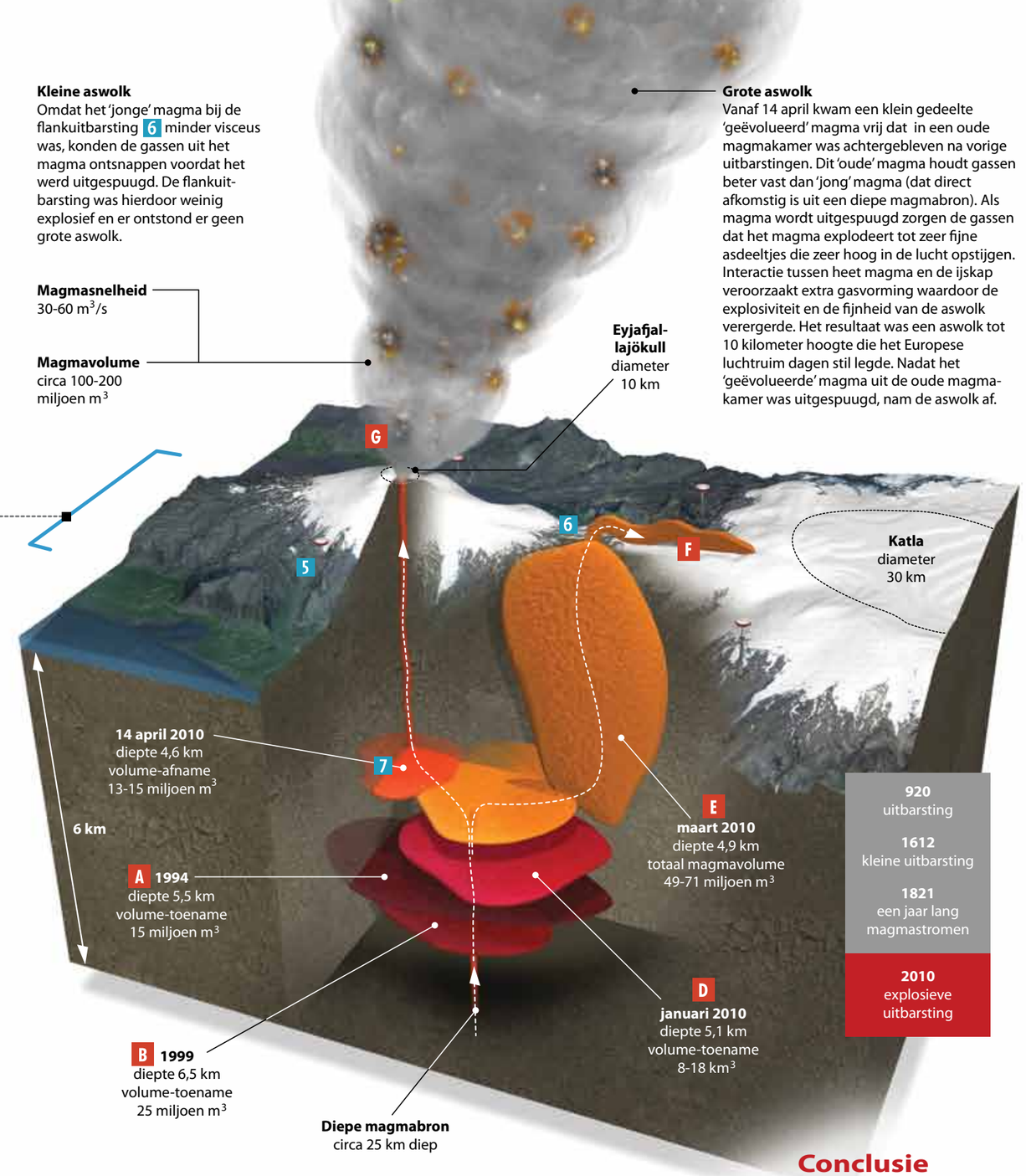
In het Delftse computermodel bestaat de vulkaanbodem uit elastisch materiaal waarin onder druk van magmastromen scheurvlakken ontstaan die zich vullen met magma. Het model probeert de gemeten verplaatsingen aan het oppervlak te simuleren door aan te nemen dat er één of meer (uitzettende of krimpende) magmakamers onder de vulkaan aanwezig zijn.

Kleine aswolk
Omdat het 'jonge' magma bij de flankuitbarsting 6 minder visceus was, konden de gassen uit het magma ontsnappen voordat het werd uitgespuugd. De flankuitbarsting was hierdoor weinig explosief en er ontstond er geen grote aswolk.

Grote aswolk
Vanaf 14 april kwam een klein gedeelte 'geëvolueerd' magma vrij dat in een oude magmakamer was achtergebleven na vorige uitbarstingen. Dit 'oude' magma houdt gassen beter vast dan 'jong' magma (dat direct afkomstig is uit een diepe magmabron). Als magma wordt uitgespuugd zorgen de gassen dat het magma explodeert tot zeer fijne asdeeltjes die zeer hoog in de lucht opstijgen. Interactie tussen heet magma en de ijskap veroorzaakt extra gasvorming waardoor de explosiviteit en de fijnheid van de aswolk verergerde. Het resultaat was een aswolk tot 10 kilometer hoogte die het Europese luchtruim dagen stil legde. Nadat het 'geëvolueerde' magma uit de oude magmakamer was uitgespuugd, nam de aswolk af.

Magmasnelheid
30-60 m³/s

Magmavolume
circa 100-200 miljoen m³



920 uitbarsting
1612 kleine uitbarsting
1821 een jaar lang magmastromen
2010 explosieve uitbarsting

A 1994 — Grote bodemdeformaties
In 1994 worden grote bodemdeformaties (ruim 18 cm) gemeten. Het computermodel simuleert dat magmastromen de bodem binnendringen en een horizontale magmakamer vormen.

B 1999 — Grote deformaties
Magmastomen vormen een tweede horizontale magmakamer.

C 2000-2009 — Aardbevingen
Per maand vinden een tot vier aardbevingen plaats.

D JANUARI - FEBRUARI 2010 — Grote bodemdeformaties
Elke dag vinden aardbevingen plaats. Er worden grote bodemdeformaties gemeten. Het computermodel berekent de vorming van een horizontale magmakamer.

E MAART 2010 — Grote bodemdeformaties
Na 4 maart stijgt de bodem meer dan 5 mm per dag. Eind maart zijn de hellingen van de Eyjafjallajökul circa 10 cm gestegen. Er heeft zich een tweede horizontale kamer en een verticale magmakamer gevormd.

F 20 MAART - 12 APRIL — Uitbarsting in de flank
Op 20 maart spuit lava uit de flank van de vulkaan. Na 200 jaar rust barst de vulkaan uit. De uitbarsting duurt tot 12 april. De uitbarsting produceert lava met een gemiddelde snelheid van 13 m³/s (magmavolume 25 miljoen m³).

G 14 APRIL - 22 MEI 2010 — Explosieve uitbarsting
De tweede uitbarsting vindt plaats in de krater (caldera) van de met ijs bedekte top van de vulkaan. De uitbarsting duurt ruim een maand. Tijdens deze tweede eruptie wordt wel een inzakking van de magmakamer 7 onder de caldera gemeten.

Conclusie

De explosieve uitbarsting van de Eyjafjallajökull op 14 april 2010 was de uitkomst van 18 jaar vulkanische activiteit waarin meerdere platte horizontale en verticale magmakamers boven en naast elkaar zijn gevormd. Dit cumulatieve gedrag maakt het moeilijk om voortekenen bij weinig actieve vulkanen te detecteren en te gebruiken om uitbarstingen te voorspellen.

Illustratie & tekst: Eric Verdult, www.kennisinbeeld.nl © 2011