

Onderzoek naar de aardmantel onder de Eolische eilanden (Italië)

door Lisa Hageman, Vrije Universiteit Amsterdam
hageman.lisa3@gmail.com



Afb. 1. Eolische archipel.

In de geologie staan de Eolische eilanden, ten westen van de punt van de 'laars' van Italië, bekend om het vulkanisme en de variatie van vulkanische afzettingen. Zo hebben de oudere vulkanische afzettingen over het algemeen een mafische tot intermediaire compositie, d.w.z. dat dit gesteente betrekkelijk weinig siliciumdioxide (SiO_2) bevat en vaak donker van kleur is, zoals bijvoorbeeld basaltisch gesteente (45-52% SiO_2). De jongere afzettingen hebben een meer felsische (lichtgekleurde) compositie en zijn rijker aan siliciumdioxide (>63% SiO_2).

De eilanden maken deel uit van de Eolische eilandenboog, in het zuidelijke deel van de Tyrrheense zee, ten noorden van Sicilië (afb. 1). Het westelijke deel van de boog wordt gedomineerd door kalk-alkalisch vulkanisch gesteente (Lipari en Panarea), met een gemiddelde hoeveelheid kaliumoxide (K_2O). De afzettingen op de oostelijke eilanden (Vulcano en Stromboli, afb. 2) hebben een nog hoger kaliumoxidegehalte dan de kalk-alkalische afzettingen en worden shoshonitisch genoemd.



Afb. 2. Zonsondergang op Stromboli. Foto: Wikimedia Commons, Benjamín Núñez González via CC-BY-SA-4.0.

Actieve vulkanen

Het vulkanisme in deze regio wordt gedreven door de subductie van een oceanische plaat onder de Calabrische eilandenboog. De eilanden bevinden zich op een basement van continentale korst met een gemiddelde dikte van 20 kilometer. Hoewel alle

eilanden een vulkanische oorsprong hebben, worden alleen Stromboli en Vulcano nog als vulkanisch actief beschouwd. Stromboli (afb. 3) barst gemiddeld elk half uur uit en er zijn soms lavastromen te zien die over de noordwestelijke helling naar beneden stromen. Tijdens deze uitbarstingen ontsnapt er rook en gas uit de kraters en worden er stukken steen de krater uitgeslingerd die vaak over de helling van het eiland naar beneden rollen en in de zee terechtkomen. In vergelijking met Stromboli toont Vulcano minder activiteit. Wel bevinden zich op de jongste krater van Vulcano, de Gran Cratere (afb. 4), tientallen fumaroles, die continu zwaveldampen uitstoten (afb. 5).



Afb. 3. Uitbarsting van Stromboli. Foto: Wikimedia Commons, Tommaso Checchi via CC-BY-SA-3.0.



Afb. 4. De huidige krater, Gran Cratere, van Vulcano. Foto: Wikimedia Commons, Petr Vykoukal via CC-BY-SA-2.5.

Fumaroles zijn gaten in de aardkorst in vulkanisch actieve gebieden waar warmte en hete dampen worden uitgestoten. Het oude en huidige vulkanisme in de regio gaat gepaard met



Afb. 5. Een fumarole op de kraterrand van Gran Cratere op Vulcano. Foto: Wikimedia Commons, Petr Vykoukal via CC-BY-SA-3.0.

seismische activiteit, want vanwege de vele breuken die door de regio lopen en de onderschuivende plaat is het gebied seismisch instabiel. De Wadati-Benioff-zone, waar de meeste seismische activiteit plaatsvindt, bevindt zich ongeveer 200 kilometer onder de Eolische eilanden.

Samenstelling magma

Studies in het verleden laten zien dat er een grote variatie is in de hoofd- en sporelementen en isotopensamenstelling tussen de eilanden en binnen de eilanden zelf. Deze variatie laat zien dat het vulkanisme in de regio een complexe geochemische evolutie heeft doorlopen voordat het aardoppervlak bereikt werd. De variatie in isotopen ondersteunt de theorie dat de mantel onder het gebied heterogeen zou zijn en er dus veel verschillen zijn binnen de magmasamenstelling van de mantel. Aan de hand van isotopen (strontium, neodmium en lood) hebben veel onderzoekers de compositie van de magma's die als eerste worden gevormd (primaire magma's) proberen te achterhalen. Dit is echter lastig door processen als assimilatie, waarbij de magma's het omliggende gesteente ook smelten en opnemen; hierdoor wordt de compositie van de magma's sterk beïnvloed. Hoewel er nog geen sluitende verklaring is voor dit belangrijke vraagstuk, zijn er wel een aantal theorieën over de oorsprong van de magma's.

Analyse van olivijn

Eén van de theorieën is dat het magmatisme het resultaat is van het smelten van een 'veined gemetasomateerde subcontinentale lithosferische mantel' (SCLM), die het diepste gedeelte van de continentale plaat (>30 km diepte) vormt. Door de vloeistoffen die vrijkomen als gevolg van subductie ontstaan er smelten die via aderen (veins) het aardoppervlak proberen te bereiken. In en rondom de veins vindt er metasomatose plaats: de compositie van de smelten en het omliggend gesteente verandert en wijkt dus meer af van de primaire smelt. De smelten in de veins hebben mogelijk verschillende composities, doordat tijdens de subductie verschillende hoeveelheden en soorten sedimenten de mantel zijn ingebracht. Elke soort sediment heeft zijn eigen kenmerken van hoofd- en sporelementen en isotopen. In ons onderzoek aan de Vrije Universiteit Amsterdam (VU) proberen wij te achterhalen wat er in de mantel onder de eilanden gebeurt en vergelijken we de verschillende vulkanische afzettingen met elkaar. Dit doen wij door middel van hoofd- en sporelementen en isotopenanalyse van olivijnen*) met

een hoog forsterietgehalte (>80% Fo) en de smeltinsluitels die erin zitten. Olivijnen met een hoog forsterietgehalte kristalliseren eerder uit dan die met een laag gehalte en zijn dus minder beïnvloed en aangetast door processen die zich hebben afgespeeld tijdens de evolutie van het magma. Deze smeltinsluitels zijn ingesloten in de olivijnkristallen ten tijde van hun vroege kristallisatie, waardoor ze mogelijk nog sporen van primitieve magma's bevatten.

Vulkanische slakken verzamelen

De Eolische eilanden zijn voor mij een bekend gebied omdat ik er in 2015 enkele weken ben geweest tijdens een reis die was georganiseerd door GeoVUSie, de studievereniging aan de VU voor de studierichtingen Aardwetenschappen en Aarde en Economie. Zolang ik mij kan herinneren, heb ik vulkanen erg interessant gevonden en ik vind de zuidelijke regio van Italië nog steeds één van de mooiste regio's waar ik ooit ben geweest. Daarom was ik vastbesloten om deel te nemen aan het onderzoek dat op de VU als masterproject werd aangeboden. In april 2016 ben ik, met een andere masterstudent en begeleiders, afgereisd naar vier eilanden van de Eolische Archipel (Stromboli, Vulcano, Filicudi en Alicudi) om daar vulkanische afzettingen, zoals scoria (vulkanische slakken), te verzamelen. De monsters hebben we geselecteerd op de hoeveelheid olivijnen die de handstukken bevatten, zodat we voor de analyse voldoende materiaal zouden hebben. Als we geluk hadden zaten er grote olivijnen (>1 mm) in die met het blote oog zichtbaar waren, maar anders werden de loepen erbij gepakt om naar olivijnen te zoeken. Vaak hadden de handstukken minder dan 3% mineralen, waarvan maximaal 35% olivijnkristallen.



Afb. 6. Zuidwestelijk gedeelte van Filicudi: Capo Graziano. Foto: Wikimedia Commons, Petr Vykoukal via CC-BY-SA-2.5.

Het is echter lastig om in het veld al iets te kunnen zeggen over het forsterietgehalte, want dat kan alleen met zekerheid aan de hand van analyses in het laboratorium worden vastgesteld. Wel is er een correlatie tussen het forsterietgehalte en de kleur van het mineraal. Zo schijnen olivijnen met een transparante tot lichtgroene kleur een hoger gehalte aan forsteriet te hebben dan de donkergekleurde olivijnkristallen.

Als eerste hebben wij voor ons veldwerk het eiland Vulcano bezocht. Langs de hellingen van de huidige krater Grand Cratere hebben we vulkanische slakken verzameld. Tijdens de afdaling vonden we grote hoeveelheden obsidiaan in de depressies van het landschap. Na voldoende samples te hebben verzameld op Vulcano, zijn wij naar het noordwestelijk van Vulcano gelegen eiland Filicudi (afb. 6) afgereisd. Daar hebben wij enkele mooie tochten gemaakt langs de hellingen en richting de Fossa Felci-krater van ongeveer 700 meter hoog. In de tussentijd zijn we ook nog een dag met een boot naar de westkust van Alicudi (afb. 7 en 8) gevaren om daar vervolgens aan land te gaan. De laatste paar dagen van het veldwerk hebben we gespandeerd op Stromboli, die wordt beschouwd als een van de meest actieve vulkanen in Europa. Omdat de vulkaan vorig jaar erg actief is

geweest, was het magmaniveau in de krater gedaald waardoor er tijdens de explosies geen lava was waar te nemen. Wel waren er één tot drie keer per uur luidruchtige gasexplosies, waarbij er brokstukken de lucht in werden geslingerd. De krater van Stromboli bevindt zich aan de noordwestelijke kant van het eiland en lag ongeveer 50 meter lager dan de plek waar wij stonden. Dit was de eerste keer in mijn leven dat ik bovenop een vulkaan stond en ik binnen in de krater kon kijken. Helaas hebben wij dus geen lava gezien, maar elke explosie was fantastisch om mee te maken en een ervaring die ik nooit zal vergeten.



Afb. 7. Ontsluiting van een vulkanische afzetting op Alicudi met huizen op de achtergrond. Foto: Wikimedia Commons, Petr Vykoukal via CC-BY-SA-2.5.



Afb. 8. Rustieke trap op Alicudi, Foto: Wikimedia Commons

Analyse in het lab

Na thuiskomst zijn in het lab van de VU de samples fijngestampt, gewassen en gezeefd in een fractie van 500 tot 1000 micrometer (0,5-1 mm). Deze fractie bestaat uit grondmassa (het gesteente) en andere mineralen, zoals pyroxenen en veldspaten. Om de olivijnkristallen te scheiden van deze grondmassa en de overige mineralen hebben we in het 'mineral separation laboratory' aan de VU gebruik gemaakt van een 'heavy liquid techniek': daarbij blijven de olivijnen drijven door het dichtheidsverschil tussen de olivijn (3,3-3,4 g/ml) en de vloeistof diiodomethane (3,12-3,30 g/ml). Na de scheiding zijn de lichtgekleurde olivijnen geselecteerd voor verder onderzoek. Deze kristallen zijn in houders geplaatst en onder de microscoop bekeken. De olivijnen met een significante hoeveelheid aan smeltinsluitsels zijn geselecteerd op hoofd- en spoorelementen en isotopenanalyses.

Momenteel worden de olivijnkristallen en de smeltinsluitsels geanalyseerd op hoofdelementen met behulp van *electron microprobe* (EMP) aan de Universiteit van Utrecht. Dit apparaat

analyseert de monsters met behulp van een elektronenstraal, waarbij röntgenstraling met verschillende golflengtes vrijkomt die kenmerkend zijn voor bepaalde elementen. Door middel van die golflengtes kunnen we bepalen welke elementen er aanwezig zijn en in welke hoeveelheden. Ook hebben we de variatie van de spoorelementen in de smeltinsluitsels gemeten met de *Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (LA-ICP-MS). De massaspectrometer zet de atomen in de monsters om in ionen, die worden gescheiden volgens hun massa en ladingverhouding en die vervolgens gemeten kunnen worden. Momenteel worden de samples geprepareerd voor metingen van de isotopen strontium, neodmium en lood. Dit wordt gedaan in de steriele ruimte aan de VU om enige vorm van contaminatie te minimaliseren. De samples worden geanalyseerd met behulp van de nieuwste generatie massaspectrometer (TRITON-Plus TIMS) met 1013 Ohm feedback resistors. Met deze technieken kunnen kleine volumes nauwkeurig worden gemeten, wat ideaal is bij deze monsters.

De smeltinsluitsels die wij al op spoorelementen hebben geanalyseerd, laten zien dat er veel variatie is binnen de eilanden. Wij verwachten daarom dat de isotopenanalyse dat zal bevestigen. Pas wanneer alle data binnen zijn, kunnen we aan de slag met het maken van grafieken en het trekken van conclusies. Wij zullen hierover in een volgend artikel berichten.

*) Olivijn is een mengkristal – de samenstelling kan variëren tussen Mg_2SiO_4 (forsteriet, Fo) en Fe_2SiO_4 (fayaliet, Fa), d.w.z. tussen magnesiumrijk en ijzerrijk. Meestal wordt bij het bepalen van een olivijn het Fo-gehalte gegeven.

Literatuur

- Civello, S., & Margheriti, L. (2004). Toroidal mantle flow around the Calabrian slab (Italy) from SKS splitting. *Geophysical Research Letters*, 31(10).
- Francalanci, L., Davies, G.R., Lustenhouwer, W., Tommasini, S., Mason, P.R.D., Conticelli, S. (2005). Intra-Grain Sr Isotope Evidence for Crystal Recycling and Multiple Magma Reservoirs in the Recent Activity of Stromboli Volcano, Southern Italy: *J. Petrology* (October 2005) 46 (10): 1997-2021.
- Koornneef, J. M., Nikogosian, I., van Bergen, M. J., Smeets, R., Bouman, C., & Davies, G. R. (2015). TIMS analysis of Sr and Nd isotopes in melt inclusions from Italian potassium-rich lavas using prototype 10 13 Ω amplifiers. *Chemical Geology*, 397, 14-23.
- Peccerillo, A., Dallai, L., Frezzotti, M. L., & Kempton, P. D. (2004). Sr–Nd–Pb–O isotopic evidence for decreasing crustal contamination with ongoing magma evolution at Alicudi volcano (Aeolian arc, Italy): implications for style of magma-crust interaction and for mantle source compositions. *Lithos*, 78(1), 217-233.
- Peccerillo, A., De Astis, G., Faraone, D., Forni, F., & Frezzotti, M. L. (2013). Compositional variations of magmas in the Aeolian arc: implications for petrogenesis and geodynamics. *Geological Society, London, Memoirs*, 37(1), 491-510.
- Steckler, M. S., Agostinetti, N. P., Wilson, C. K., Roselli, P., Seeber, L., Amato, A., & Lerner-Lam, A. (2008). Crustal structure in the Southern Apennines from teleseismic receiver functions. *Geology*, 36(2), 155-158.

In het themanummer 'Cyprus, Eolische Eilanden en Helgoland' (Gea 2003/1) verscheen het zeven pagina's tellende artikel 'Stromboli en omgeving: Vulkanisme van de Eolische Eilanden', van de hand van mw. A.G. Marschall-Wesselingh. Dit artikel is ook online beschikbaar op de website <http://natuurtijdschriften.nl>.

Directe link naar de pdf van dit artikel: <http://natuurtijdschriften.nl/download?type=document&docid=415283>

Link naar de samenvatting: <http://natuurtijdschriften.nl/search?identificer=415283>