

logie, waarvoor hij zoveel betekend heeft. Een ander onderzoek waaraan hij de laatste jaren werkte heeft hij helaas niet meer kunnen publiceren, hoezeer hij er zich tot het laatste moment voor inspande.

Ook danken wij het Musée du Louvre voor het beschikbaar stellen van dia's ter publicatie van afb. 2, 11 en de achterplaat.

## Literatuur

L.M.J.U. van Straaten (1992): Iets over gangen, porfieren en glazen. Grondboor en Hamer, 46 (2), 37-46 en (3), 65-70

Rushi Said (1990): "The Geology of Egypt". Balkema, Rotterdam, 734 pp.

J.L.R. Touret in: Catalogue de l'exposition "Porphyre, la Pierre pourpre des Ptolémées aux Bonaparte", sous la dir. de Philippe Malgouyres, ed. RMN, 210 pp.

Myron G. Best (1982) Igneous and metamorphic petrology, p.293. Freeman, New York.



Achterplaat:  
Hoofd, toegeschreven aan Alexander de Grote, rode porfier en brons.  
Musée du Louvre, MA 3385.

## GEOCOMpositie 3

### Meteoriet van de maan bevat on-aards mineraal

De meeste mineralen op aarde zijn ontstaan uit een afkoelende smelt van magma waaruit, bij afnemende temperatuur en/of druk, steeds meer mineralen uitkristalliseerden. Andere mineralen zijn ontstaan doordat reeds bestaande mineralen onder nieuwe condities instabiel werden en uiteenvielen in andere verbindingen; dit gebeurt onder meer bij chemische verwerking. Ook kunnen mineralen (deels) worden opgelost, waarna uit de gevormde oplossing (bijv. in grondwater) weer nieuwe mineralen worden gevormd; dat is het geval bij diagenese. En aan het aardoppervlak vormen zich oxiden uit andere mineralen door inwerking van zuurstof uit de atmosfeer (zoals limoniet en andere ijzeroxiden en -hydroxiden). Al deze mineralen weerspiegelen omstandigheden die ergens op aarde bestaan of hebben bestaan.

Uiteraard kunnen ook mineralen ontstaan onder omstandigheden die niet op aarde voorkomen. Zo vindt op hemellichamen die geen atmosfeer hebben (omdat die door geringe aantrekkingskracht geleidelijk in het wereldruim is verdwenen) toch bodemvorming plaats. Niet de bodemvorming die we op aarde kennen als gevolg van fysische, chemische en biologische processen die alle direct of indirect verband houden met het bestaan van een atmosfeer, maar een type bodemvorming dat vooral plaatsvindt onder invloed van de inslag (met hoge snelheid) van meteorieten en kleine deeltjes, van kosmische straling en van zonnewind. In 1973 voorspelde Bruce Hapke (universiteit van Pittsburgh) dat hierbij mineralen zouden ontstaan die niet op aarde voorkomen. Een daarvan zou een ijzer/siliciumverbinding zijn,  $Fe_2Si$ ; dit mineraal zou volgens Hapke ontstaan doordat bij de inslag van een meteoriet materiaal uit het oppervlak van het getroffen hemellichaam zou verdampen, evenals de inslaande meteoriet zelf, en dat deze damp door de lage temperatuur weer snel zou neerslaan. Zo zou op materiaal een dun laagje (patina) met deze verbinding ontstaan.

Op een van de maan afkomstige meteoriet is dit mineraal nu ontdekt. De Amerikaanse en Russische wetenschappers die deze verbinding op de maanmeteoriet hebben aangetroffen, hebben dit mineraal naar Hapke vernoemd (hapkeiet). Dat het inderdaad om  $Fe_2Si$  gaat, hebben ze bewezen door de resultaten van een analysetechniek (röntgendiffractie) te ver-

gelijken met die van een kunstmatig gemaakte verbinding met deze samenstelling. Dat het om een mineraal gaat dat door chemische precipitatie vanuit dampvorm gevormd werd, en niet om een 'normaal' maanmineraal, blijkt uit de relatief grote hoeveelheid ijzer die in de bovenste (zeer dunne) bodemlaag van de maan wordt aangetroffen. Maanmonsters die bij de Apollo-vluchten zijn verzameld, bevatten veel minder dan 1% elementair ijzer, behalve in het allerbovenste (< 1 cm) van de bodem, waar die hoeveelheid tienmaal zo groot is. Bovendien blijkt de 60-200 nm (ofwel 0,00006-0,0002 mm) dunne patina van de korrels op de maan grote hoeveelheden zeer kleine (< 10 nm) ijzerdeeltjes te bevatten, die verspreid voorkomen in een glasachtige matrix. Die glasachtige matrix moet zijn ontstaan door opsmelting ten gevolge van de vrijkomende warmte bij de inslag van een deeltje vanuit de ruimte (de bij inslag vrijkomende warmte is gelijk aan het product van de massa van het deeltje en het kwadraat van zijn snelheid; omdat die snelheid vaak zeer hoog is - tientallen tot honderden meters per seconde - komt bij de botsing genoeg warmte vrij om silicaten tot glas te laten smelten). Daarmee lijkt de vorming van hapkeiet (en andere Fe/Si-fases) uit een bij inslag gevormde damp onweerlegbaar. Er bestaat nog geen volledige helderheid over de precieze omstandigheden waaronder het hapkeiet is gevormd. Wel moeten de omstandigheden uiterst reducerend zijn geweest. Een van de processen die kan hebben plaatsgevonden is de vorming van metallisch ijzer en water uit waterstof en een smelt van FeO. Van de waterdamp die bij deze reactie moet zijn gevormd is echter nooit een spoor aangetroffen. Bij experimenten waar de hoge energie van een inslag werd gesimuleerd door laser-pulsen, bleek bovendien dat voor de vorming van metallisch ijzer dat zich onder de desbetreffende omstandigheden met silicium kan verbinden tot ijzersiliciden (niet alleen hapkeiet -  $Fe_2Si$  - maar ook FeSi) de aanwezigheid van vrij waterstof niet absoluut nodig was. Het is dus goed mogelijk dat de vorming van het mineraal hapkeiet op de maan toch anders is verlopen dan op het eerste gezicht waarschijnlijk lijkt. Hoe dan ook, het lijkt steeds meer te lonen om meteorieten mineralogisch nauwkeurig te onderzoeken: er kunnen ons nog heel wat verrassingen te wachten staan.

Anand, M., Taylor, L.A., Nazarov, M.A., Shu, J., Mao, H.-K. & Hemley, R.J., 2004. Space weathering on airless planetary bodies: clues from the lunar mineral hapkeite. Proceedings of the National Academy of Sciences 101, p. 6847-6851.

A.J. van Loon