PORFIER,

een keizerlijk gesteente

door Jan Verhofstad en Jacques Touret

Een tentoonstelling in het Louvre, Parijs, over slechts één gesteente, de oorspronkelijke 'porfier', in het Italiaans bekend onder de indrukwekkende naam *porfido rosso antico*. We zouden dit best het mooiste gesteente op aarde mogen noemen. Dat vonden de Romeinse keizers ook al, die exclusieve rechten op de exploitatie hadden. Door het lange transport vanuit Egypte en door zijn zeldzaamheid werd de paars-rode porfier het duurste materiaal in de Oudheid voor bouw- en beeldhouwwerk. De toepassingen in Rome werden zo talrijk dat in alle eeuwen na het einde van het Keizerrijk en het verval van de groeves alleen nog uit de voorraad in Rome geput kon worden, overigens uitsluitend voor gebruik door de Europese aristocratie.
De naam porfier is later in de petrografie een textuurbegrip geworden.

De tentoonstelling heette *Porphyre. La pierre pourpre, des Ptolémées aux Bonaparte*. Afb. 1. Deze is helaas reeds voorbij wanneer deze Gea bij u in de bus valt, vandaar dat wij ons geroepen voelen een verslag uit te brengen. Een tentoonstelling over een gesteente is op zichzelf al een unicum, maar deze porfier heeft evenzeer een historische als een culturele betrokkenheid, in aansluiting op onze geologische interesse. De meeste objecten behoren tot de collectie van het Louvre en staan, zij het verspreid, weer in het museum. Heel bijzonder zijn de twee levensgrote beelden van Dacische gevangenen uit de tweede eeuw AD en enkele enorme stenen badkuipen (afb. 2).

Aan het einde van de Ptolemeïsche tijd, omstreeks 30 v. Chr., werd Egypte een provincie van het Romeinse Rijk. Nabij Djebel Dokhan, in de oostelijke woestijn van Egypte en op 50 kilometer van de Rode Zee (zie kaartje, afb. 3), ontdekten de Romeinen oude groeves in een prachtig paars-rood gesteente met witte vlekjes. Volgens documenten vonden zij deze plek officieel op 23 juli van het jaar 18 AD. De *porphyros* (Grieks voor paars) uit de Mons Porphyrites werd een gewild gesteente voor keizerlijke borstbeelden en tempels en paleizen in Rome. Enorme voorraden werden naar Rome versleept en de porfier werd het materiaal bij uitstek om de keizerlijke macht te symboliseren. Door het verval en de opsplitsing van het Romeinse Rijk stopte de exploitatie van de groeves in de loop van de 5e eeuw om nooit meer ter hand te worden genomen. Alle latere toepassing van deze porfier was slechts mogelijk door afbraak van vervallen monumenten in Rome.

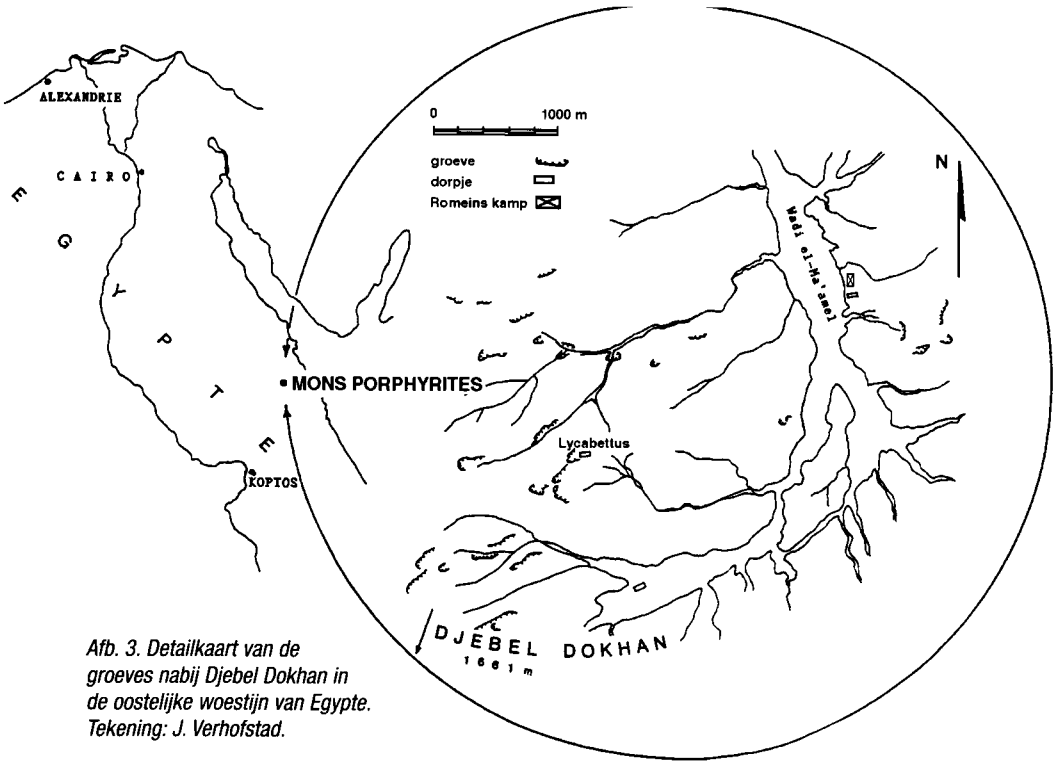


Afb. 1. Aankondiging van de Porfier-tentoonstelling in het Louvre. Foto: J.L.R. Touret.

Deze porfier, *lapis porphyrites*, die meer correct als "wijnrood" beschreven kan worden, is een andesiet, een typisch vulkanisch gesteente met veel millimeter-formaat fenokristen (volgroeide kristallen) van veldspaat (*leukostikos* = witte vlekjes; plagioklaas) en enkele van amfibool, in een grondmassa die sterk roodgekleurd is door fijnverdeelde hematiet (ijzeroxide). Afb. 4. Het gesteente is redelijk homogeen met hier en daar kleine, lichtergetinte sliertjes. Een op het oog ongedifferentieerde matrix, van welke kleur ook, met daarin verspreide kristallen van één of meer mineralen, wordt in de gesteentekunde als 'porfirisch' omschreven. De samenstelling van porfieren varieert, al naar gelang het kiezelzuurgehalte, parallel aan de 'overeenkomstige' dieptegesteenten. De rode porfier is een andesiet,



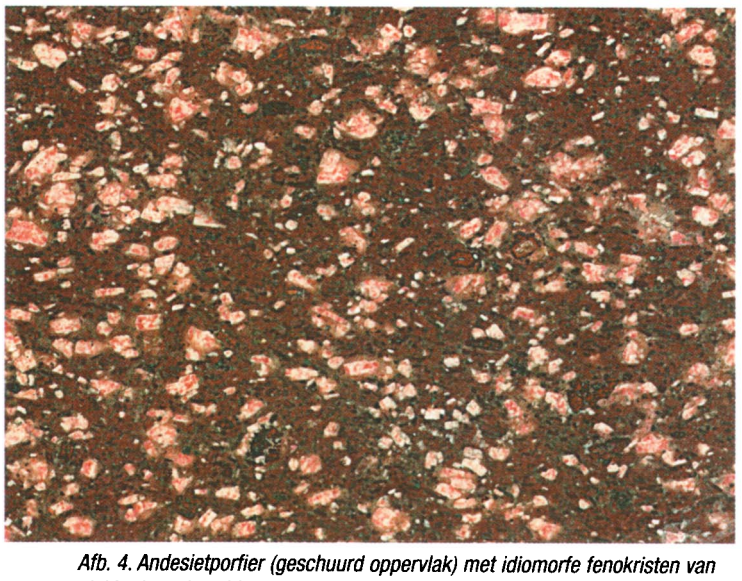
Afb. 2. Stenen badkuip, "Baignoire de Dagobert" (koning uit het Huis der Merovingers), uitgevoerd in rode porfier. © Musée du Louvre, P. Philibert, MND 1585.



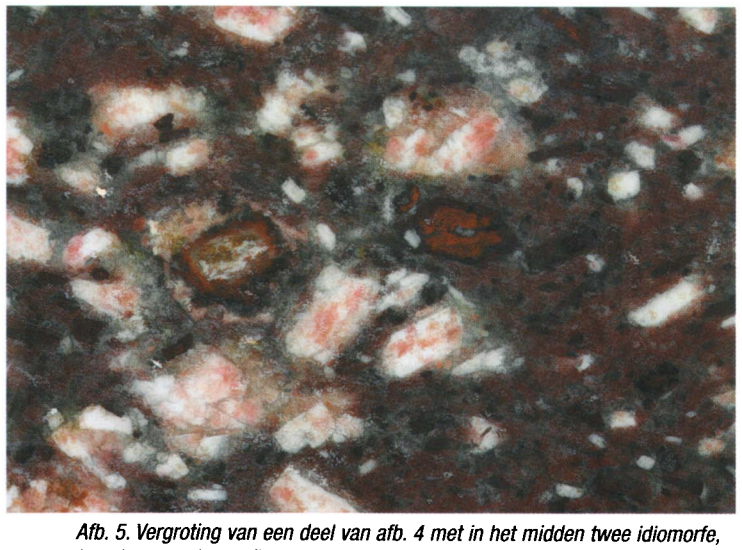
Afb. 3. Detailkaart van de groeves nabij Djebel Dokhan in de oostelijke woestijn van Egypte. Tekening: J. Verhofstad.

naar een lavagesteente dat veel in gebergten zoals de Andes gevonden wordt en dat ook in andere kleuren voorkomt. Mineralogisch bestaat een andesiet in hoofdzaak uit plagioklaas en een donkergekleurd ijzer/magnesium-mineraal; dat laatste is in dit geval een pseudomorfe, geheel in fijne hematiet omgezette amfibool (afb. 5 en 6). Ook werd een agglomeraat (vulkanische breccie) met grote brokken en grijze vlekken bij Djebel Dokhan gedolven en voor kunstwerken gebruikt.

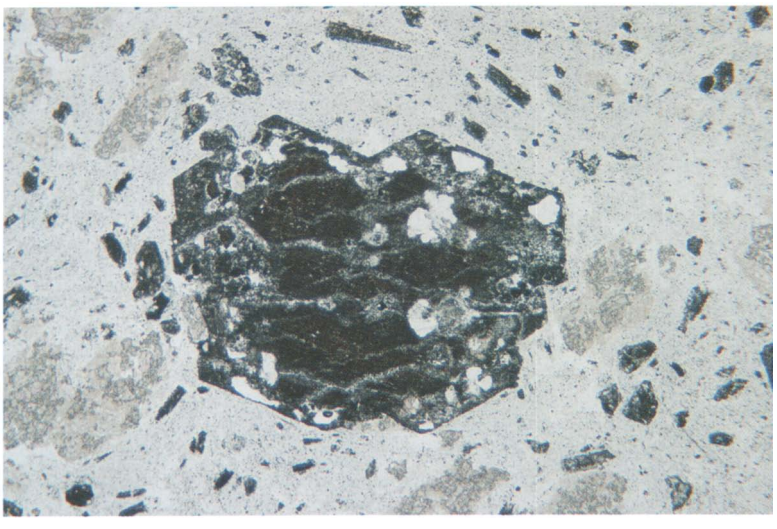
De meeste brokken porfier onderscheiden zich met hun lichtrode tot paarsrode tint maar weinig van de matrix. De veldspaat is lichtrose door vorming van mangaanrijke piemontiet, een mineraal uit de epidootgroep (afb. 7). De veelal idiomorfe veldspaatkristalletjes (met eigen kristalvorm) vertonen hier en daar fluïdaalstructuur: de kristalletjes zijn reeds in de diepte bij langzame afkoeling gevormd, om dan met een vulkanische uitvloeiing in de nog plastische, stromende lava naar het aardoppervlak meegevoerd te zijn. Op veel plaatsen zijn gebroken veldspaatkristallen en clusters (glomeroporfirische aggregaatjes) aanwezig, wat op dikwijls krachtige erupties wijst. Aanwijsbare ignimbrieten schijnen niet veel gevonden te zijn.



Afb. 4. Andesietporfier (geschuurd oppervlak) met idiomorfe fenokristen van vlekkerig-rode veldspaat en donkere mineralen in rode grondmassa. Monster: L.M.J.U. van Straaten. Foto: P. Stemvers.



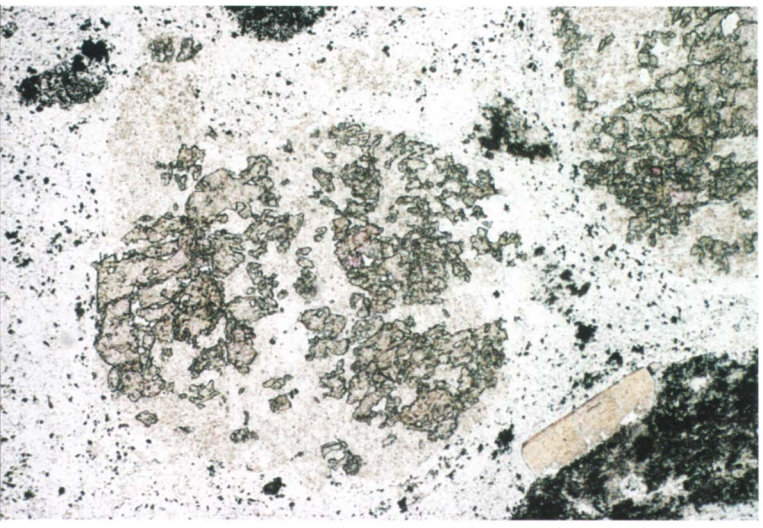
Afb. 5. Vergroting van een deel van afb. 4 met in het midden twee idiomorfe, totaal omgezette amfiboolkristallen. Foto: P. Stemvers.



Afb. 6. Micro-opname: de oorspronkelijke vorm van vergroeide amfiboolkristallen is geheel bewaard gebleven, ondanks volledige pseudomorfose naar hematiet (zwart) en andere secundaire mineralen. Monster: L.M.J.U. van Straaten. Foto: P. Stemvers.

Ook groverkorrelige gesteenten met kristallen van centimeterformaat of groter, temidden van een contrasterende fijnerkorrelige tussenmassa, zoals bij granieten wel voorkomt, mogen porfirisch worden genoemd. Dit is dus een zuiver beschrijvende term en betekent niet automatisch dat een gesteente met deze textuur vulkanisch is. In de beeldhouwkunst wordt voor alle gesteenten met vergelijkbare textuur bij voorkeur de term *porfier* gebruikt, in plaats van meer specifieke gesteentenamen.

De lava en de omgeving ervan zijn gedateerd in het Precambrium (650 Ma), terwijl circa 50 Ma (miljoen jaar) na de uitvloeiing het hele continentale complex waarin het gesteente



Afb. 7. Micro-opname: plagioklaaskristal, grotendeels omgezet in korrelige epidoot (reliëf), waarin mangaanrijke delen rose pleochroïsme vertonen (piemontiet). Foto: P. Stemvers.



Afb. 8. Achtergebleven Romeinse zuilen in Wadi el-Ma'amel. Foto: L.M.J.U. van Straaten.

zich bevindt, aan een thermische metamorfose werd blootgesteld. Deze metamorfose is echter in de regio van Djebel Dokhan vrij zwak gebleven. De enige effecten van deze metamorfose in onze porfier zijn een goede stevigheid en daardoor geschiktheid om te polijsten en geringe omzettingen binnen de veldspaat, o.a. de vorming van piemontiet. Er is nauwelijks een tweede zo prachtige porfier te vinden. In recente tijd zijn ook rode maar minder mooie porfieren uit Zweden en Rusland in Europa verhandeld.

De locatie van de porfier in de woestijn van Egypte is sinds 1822 enkele malen door Britse onderzoekers bezocht. Verscheidene geologische en archeologische missies, die in de jaren '90 van de 20e eeuw zijn uitgevoerd, hebben geen aanleiding tot verdere exploitatie gegeven. Het porfiervoorkomen is niet meer dan 6 km^2 in oppervlakte, de oude groeves bevinden zich hoger dan 1000 m boven zeeniveau. Bewoningssporen werden aangetroffen, alsmede twee waterputten. Zes plaatsen werden teruggevonden waar de porfier, in verschillende tinten, gewonnen werd. Eén van de Britse onderzoekers ontdekte, iets noordelijk van het kaartje, een zwarte profier waarvan nog een stèle was achtergebleven, maar die blijkbaar in veel mindere mate geëxploiteerd was,



Afb. 9. Wadi (droge rivierbedding) met puinwaaiers nabij Mons Porphyrites. Foto: L.M.J.U. van Straaten.

gezien ook de zeldzaamheid van bekende objecten in zwarte porfier. Twijfel bestaat over het voorkomen van groene porfier, wel bekend van kunstvoorwerpen, maar niet gevonden rondom Djebel Dokhan. Een anderssoortige groene porfier (*porfido verde*) van archeologische objecten is afkomstig uit de Peloponnesos.
Vanuit de Lykabettus locatie loopt een herkenbare baan waarlangs het transport van blokken naar de wadi beneden, de bodem van het droge dal (afb. 8, 9 en 10), moet hebben plaatsgevonden. De mooiste porfieren komen hiervandaan, o.a. de breccie en één met melkachtige veldspaatkristallen, onder steenhouwers bekend als de *porfido lattinato.* De resten van onafgemaakte objecten, waaronder een gebroken badkuip, lagen langs deze toegangsweg. Gesteentebrokken met merktekens, met Romeinse cijfers en Griekse letters, liggen er verspreid. Een graffito met de ramskop van de Egyptische god Khnoem doet vermoeden dat granietarbeiders uit



Afb. 10. Wadibodem, west van Hurghada aan de Rode Zee. Foto: L.M.J.U. van Straaten.

Assoean waren aangeworven om ter plaatse te werken. Een eerste ruwe bewerking van gesteenteblokken vond plaats bij de groeve of aan de oever van de Nijl. Omheinde vierkante ruimtes met verdedigingstorens, met stallen en een drinkbak voor de trekdieren treft men onderweg op de transportroute naar de rivier. Daarna volgde transport naar Alexandrië, waar zonodig een verdere bewerking tot ruwe beelden of zuilen plaatsvond om zo min mogelijk overtollig materiaal over zee richting Rome te hoeven vervoeren.

Oude bewerkingssporen vertellen ons over de technieken van houwen en bewerken van de steen. Egyptenaren hebben immers vanaf de eerste dynastieën de hardste en meest heterogene gesteenten weten te bewerken. Van de keggen om de steen uit de rotswand los te maken zijn op veel plaatsen de merktekens overgebleven. Het zagen van blokken werd met eindeloos geduld uitgevoerd met een zaag zonder tanden; het simpele heen en weer halen met zand en water bleef tot ver in onze Middeleeuwen in gebruik en op deze manier werden later ook de Romeinse zuilen van porfier weer in plakken gesneden voor andere toepassingen. Hamer- en beiteltechnieken op zulke harde gesteenten werden uitgevoerd met gereedschap van vuursteen (silex) of doleriet. Schuren, slijpen of polijsten gebeurde met zandsteen, kiezelaarde of met een wetsteen, zoals Egyptische beeldhouwers dat ook al sinds duizenden jaren deden. Ook waren slijppoeders van amaril en korund in gebruik.

In de Middeleeuwen eigenden de pausen, die zich immers als de opvolgers van de Romeinse keizers beschouwden, zich het monopolie op de rode porfier toe. De Byzantijnse keizers hadden al helemaal het exclusieve gebruik van de kleur paars, reeds lang haalde men de paarse kleurstof voor stoffen en kleding uit de Murexslakken. Zij werden al in het paars geboren: een paleiszaal geheel in porfier uitgevoerd diende tijdelijk als verloskamer voor de keizerin. Pausen en andere heersers probeerden de kostbare badkuipen te verkrijgen om deze te doen omvormen tot hun sarcofaag.

Tijdens de Renaissance gaat het toenemend gebruik gepaard aan het verlangen de Oudheid te doen herleven. De begeerte van de Medici in Florence naar de porfier is groot en hangt samen met het uitdragen van hun belangrijke politieke rol in Europa. In de 17e eeuw werd Rome het centrum van de productie van kunstwerken uit de voorraden van dit gesteente en geen koninklijke collectie in Europa kon zich het ontbreken van enkele van die prachtige porfieren vazen (afb. 11) permitteren. Nog meer dan andere materialen behoorde de porfier tot de *grand Goût*, de goede smaak van de hogere kringen. Behalve in de vazen specialiseerde men zich in Rome ook in het produceren van bustes van grote figuren uit de Oudheid, waaronder de eerste twaalf Romeinse keizers en bijvoorbeeld het borstbeeld van Alexander de Grote (zie de achterplaat). Tenslotte bereikt de toepassing een hoogtepunt in de tijd van Lodewijk XIV, bij de decoratie van het paleis van Versailles.

Het Louvre heeft een grote verzameling van zeker 50 objecten in de rode porfier: beelden, vazen, bustes, gedenktekens, altaarstukken. Zo ook het Vaticaans Museum in Rome. In Venetië zijn veel heiligenfiguren in de San Marco basiliek hieruit gebeeldhouwd. In het Amsterdamse Allard Pierson Museum bevindt zich een roodporfieren kopje van Domitianus (Romeins keizer uit de 1e eeuw na Chr.), in de vitrine op 3 meter van de grote Romeinse sarcofaag.

Dankbetuiging

Onze bijzondere dank gaat uit naar prof.dr. L.M.J.U. van Straaten, die tijdens de voorbereiding van het manuscript overleden is en aan wie de auteurs dit artikel opdragen. De monsters, dia's en slijpplaatjes die hij voor deze publicatie beschikbaar stelde vormen zijn laatste bijdrage aan de geo-



Afb. 11. Vaas in rode porfier, "Vase des Noces de Cana". Musée d'Angers, Pierre David.

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 verwering. 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 omstaan 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 vergelijken 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