

uiteinde daarvan niet een speciale verdikking, maar een plaatje. Deze plaatjes zijn vaak vierhoekig van vorm en vormen zo de buitenkant van het fossiel, zoals het wordt gevonden. Bij sommige geslachten sluiten de plaatjes niet geheel tegen elkaar aan, maar zijn er openingen tussen. Vandaar dat men ze vroeger voor sponzen heeft gehouden.

Een bekende als zwerfsteen in ons land gevonden receptaculiet is *Ischadites*, afkomstig uit een zuigerij in Westerhaar; deze ligt in het museum Natura Docet in Denekamp. Het is lange tijd het enige exemplaar gebleven. Later zijn er in de Groningse keileem een groot aantal receptaculieten gevonden, wat aanleiding is geweest tot een diepgaand onderzoek, waaruit bleek dat men te maken had met de soort *Tetragonis sulcata*.

Een andere soort, *Receptaculites neptuni* kan (kon) in het Ordovicium van Öland worden aangetroffen en ook in het Siluur van Gotland. Zie kleurenfoto K.

Verdere vondstmogelijkheden liggen in de Belgische en Franse Ardennen; in de omgeving van Couvin komt *Receptaculites neptuni* voor en in Trelon (Fr.) *Sphaerospongia tessellata*.

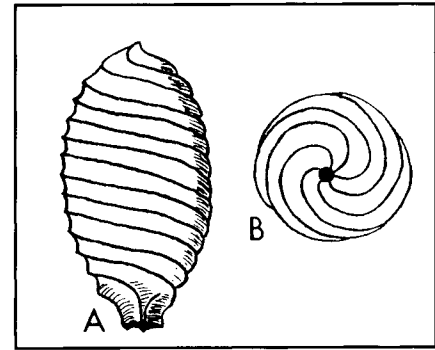
8. Kranswieren (*Charophyceae*)

Meestal worden de interessante kranswieren als een klasse van de groene algen beschouwd, omdat ze in het bezit zijn van dezelfde pigmenten en dezelfde reservestof zetmeel. Ze vormen echter een groep die zowel morfologisch als fysiologisch sterk verschilt met de andere klassen van de groene algen.

De kranswieren zijn rechtop groeiende, vertakte thallusplanten, bestaande uit een hoofdas met afwisselend knopen en internodiën. Ze zijn met **rhizoïden** aan het substraat verbonden. Door hun uiterlijk met knopen en geleidingen werden ze in het verleden wel als paardenstaarten beschouwd. Elke knoop draagt een krans van "zijscheuten", waaraan zich de voortplantingsorganen ontwikkelen. Door hun sterke gelijkenis met hogere planten, ook wat de pigmenten betreft, worden ze wel als intermediair tussen algen en mossen gezien. Vandaar dat sommige onderzoekers de kranswieren als een apart fylum beschouwen.

Hoewel er tijdens het Devoon talrijke families waren en ze tijdens het Krijt hun bloeitijd hadden, bestaat er tegenwoordig nog maar één familie: de **Characeae**, met als belangrijkste geslacht *Chara*. Zie de voorplaat.

Afb. 8. Kranswier.
Gyrogoniet van Palaeochara acadica.
A: van opzij gezien;
B: van boven.
Tertiair.
Hoogte ± 0,3 mm.



Het zijn voornamelijk zoetwaterplanten, die bij voorkeur in stilstaand water van vijvers, sloten en meren leven. Een enkele soort komt nog in brak water voor, in marien milieu zijn ze onbekend. Verondersteld wordt, dat de fossiele soorten in overeenkomstige niet-mariene milieus hebben geleefd.

Zowel het loof als, met name, de vrouwelijke geslachtsorganen: de **oögoniën** - verkalken in de vorm van calciet. Na de bevruchting ontstaat een sporangium, die door een harde wand is omgeven; deze wordt gevormd door vijf cellen, die er spiraalsgewijs omheengroeien. De gecalcificeerde vruchten worden **gyrogonieten** genoemd. Afb. 8. Deze worden gefossiliseerd gevonden in afzettingen vanaf Silurische ouderdom.

Andere verkalkte delen van de kranswieren zijn fossiel niet bekend. Wel komen ze recent massaal voor: ze werden vroeger wel gebruikt als meststof.

De gecalcificeerde gyrogonieten zijn karakteristiek voor de soort. Aangezien vele soorten een snelle evolutie doormaakten, worden gyrogonieten gebruikt voor het opstellen van een biostratigrafie, met name voor het Trias.

Omdat de gyrogonieten slechts ongeveer één millimeter groot zijn, kunnen ze alleen worden verzameld door sediment van bekende vindplaatsen te zeven. Vooral in Tertiaire afzettingen komen ze voor, zoals in het Bekken van Parijs, o.a. bij La Chapelle en Serval (Eoceen) en in de zanden van Boutersem (Oligoceen) in België.

Wordt vervolgd

Amethist, citrien en ametrien

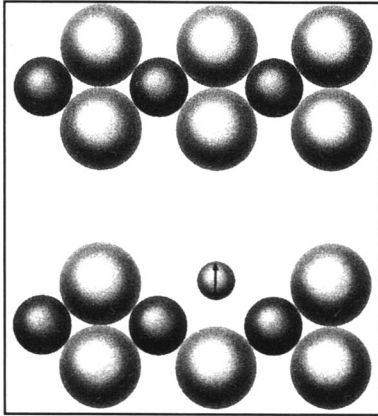
Ernst A.J. Burke
Faculteit Aardwetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam

Inleiding

Chemisch zuivere kwarts, puur SiO₂, zonder insluitsels is kleurloos en doorzichtig: deze relatief zeldzame verschijningsvorm van kwarts wordt bergkristal genoemd. Andere variëteiten van kwarts zijn gekleurd, en wel door twee verschillende mechanismen, namelijk door kleurcentra of door insluitsels. Kwartsvariëteiten die hun kleur door insluitsels verkrijgen zijn bv. melkkwarts (door fluïde insluitsels), praas of prasem (insluitsels van actinoliet), blauwe kwarts (Tyndall effect door insluitsels van toermalijn of rutiel), saffierkwarts (insluitsels van riebeckiet) en aventurin (insluitsels van verschillende glimmers of hematiet).

Kwartsvariëteiten die hun kleur aan kleurcentra ontleen zijn citrien (geel tot bruin), amethist (paars), ametrien (afwisselend geel en paars), rookkwarts en morion (donkerbruin tot zwart), prasioliet (groen) en sommige roze kwarts.

Voor het ontstaan van kleur in kwarts door kleurcentra moet aan twee voorwaarden worden voldaan: de aanwezigheid van andere elementen dan silicium (op de plaats van de siliciumatomen in het kristalrooster en/of ertussen) en blootstelling aan ioniserende straling of warmte.



Afb. 1. Kleurcentrum in paarse fluoriet.
Bovenaan: schematische voorstelling van de structuur van fluoriet; de kleine bollen zijn ionen van calcium en de grote van fluor. Onderaan: een ontbrekend ion van fluor wordt vervangen door een ingevangen elektron (bol met pijl).
(Naar Nassau, 1978, Amer. Mineralogist)

Kleurcentra

Zichtbaar wit licht is een mengsel van spectrale kleuren ("de kleuren van de regenboog"): van paars via blauw, groen, geel en oranje naar rood. Zichtbaar licht is een klein gedeelte van het elektromagnetische spectrum en de diverse kleuren hebben een bepaalde golflengte en energie. De structuur van kristallen bestaat uit ordelijke rangschikkingen van atomen of ionen. Deze deeltjes bestaan uit een positief geladen kern met er omheen draaiende negatief geladen elektronen. De kleur van een kristal ontstaat door de wisselwerking tussen lichtgolven en elektronen, en wel op een aantal verschillende manieren (zie de uitgebreide artikelen hierover van Schilthuis in *Gea*, Vol. 15, 130-135, en Vol. 16, 57-64). In het algemeen komt het hierop neer dat de elektronen in de kristallen uit het invallende witte licht een aantal golflengten absorberen en andere niet: in een rood kristal absorberen de elektronen alle golflengten van wit licht behalve die van rood licht.

Eén van de wisselwerkingen tussen lichtgolven en elektronen in kristallen ontstaat door defecten in een kristalstructuur, zoals de aanwezigheid van extra elektronen die gebonden zijn aan de plaatsen van ontbrekende atomen of aan atomen die zich tussen de eigenlijke roosterplaatsen bevinden, maar ook het ontbreken van elektronen kan hetzelfde effect hebben. Dergelijke structurele defecten noemt men kleurcentra of F-centra (naar het Duitse woord *Farbe* voor kleur).

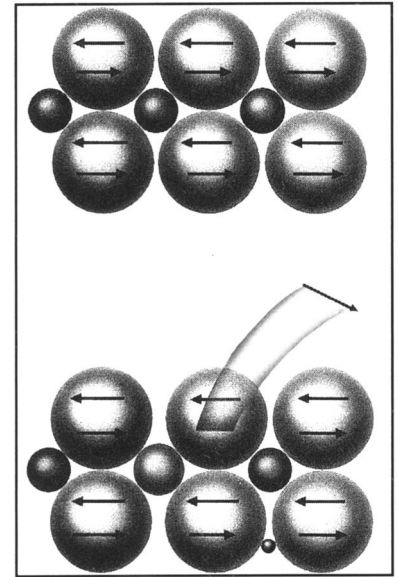
De paarse kleur van fluoriet (CaF_2) is een bekend voorbeeld van kleuring door kleurcentra. In Afb. 1 wordt bovenaan de structuur van fluoriet schematisch weergegeven: een regelmatige afwisseling van kleine calcium-ionen en tweemaal zoveel grote fluor-ionen: deze structuur bevat geen defecten en het mineraal is dan kleurloos. Onderaan Afb. 1 is een fluorietstructuur getekend waarin één groot fluor-ion ontbreekt; om de elektrische lading van het rooster neutraal te houden is een extra elektron ingevangen (= zelfde lading als een fluor-ion). Zo een defect kan op verschillende manieren ontstaan, door straling, door de aanwezigheid van teveel calcium tijdens de groei, of door verwijdering van fluor uit het kristal door een elektrisch veld. Het elektron op de "lege" plaats is niet zoals de andere elektronen aan een atoomkern gebonden, maar aan het elektrische veld van de omringende ionen. In dat veld kan het elektron op verschillende energieniveaus plaatsnemen, en de wisseling tussen de niveaus gaat gepaard met absorptie van bepaalde delen van het witte licht, zodat de paarse kleur ontstaat. Bij verhitten van paarse fluoriet verdwijnt de kleur, maar bij toepassing van intense straling (bv. röntgen- of gammastraling) verschijnt de kleur opnieuw. Let wel, deze uitleg geldt alleen voor paarse fluoriet, voor de vele andere kleuren van fluoriet zijn evenzoveel andere mechanismen verantwoordelijk!

Kleurcentra in kwarts

Het klassieke voorbeeld voor de aanwezigheid van kleurcentra in kwarts is dat van rookkwarts. Bovenaan Afb. 2 is een schematische weergave getekend van de structuur van kwarts: kleine vierwaardig positieve silicium-ionen bevinden zich tussen vier grote

Afb. 2. Kleurcentrum in rookkwarts.

Bovenaan: schematische voorstelling van de structuur van kwarts; de kleine bollen zijn ionen van silicium en de grote van zuurstof; gepaarde elektronen worden met pijlen aangeduid. Onderaan: het middelste silicium-ion is vervangen door een ion van aluminium (lichtere kleur), en voor de elektrische neutraliteit is een klein waterstof-ion aanwezig; straling verdrijft een elektron (pijl) uit een van de zuurstof-ionen rond aluminium, dit elektron wordt elders in de structuur ingevangen. (Naar Nassau, 1978, Amer. Mineralogist)

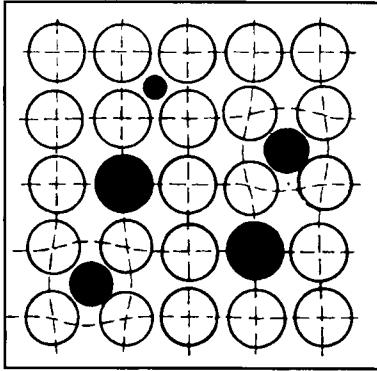


tweewaardig negatieve zuurstof-ionen (de tetraëder-omringing); de zuurstof-ionen worden "gedeeld" door verschillende Si ionen, zodat uiteindelijk de formule SiO_2 ontstaat, en niet SiO_4 . In rookkwarts is een klein aantal Si ionen (in de orde van grootte van 1 op 10.000) vervangen door driewaardig positieve ionen van aluminium (Afb. 2, onderaan); om elektrische neutraliteit te bewaren wordt tussen de echte structuurplaatsen een eenwaardig positief ion opgenomen van natrium, lithium of waterstof (kleinste ion in Afb. 2, onderaan). Deze kwarts is bij zijn vorming nog kleurloos, maar straling gedurende langere tijd (in geologische omstandigheden afkomstig van het verval van radioactief kalium, uranium of thorium in het gesteente rondom de kwartskristallen) verdrijft een elektron van een paar in een zuurstof-ion rond het Al ion. Dit ontbrekende elektron wordt een "gat" genoemd, en het resterende elektron kan verschillende energieniveaus bezetten (net als het extra elektron in paarse fluoriet), waarbij de overgangen door absorptie een bruine tot zwarte kleur veroorzaken. Verhitten van rookkwarts doet zijn kleur verdwijnen, bestraling herstelt de kleur. Deze processen van verhitten en bestralen zijn essentieel om de aanwezigheid van een kleurcentrum vast te stellen, bij andere oorzaken van kleur spelen verhitten en bestralen namelijk geen rol. Alle natuurlijke rookkwarts kan door verhitten (tot ca. 200 °C) gebleekt worden, en door bestraling weer zijn kleur teruggegeven worden. Bijna alle natuurlijke bergkristal bevat voldoende aluminium om door bestraling zwart te kunnen worden, iets waar men commercieel gebruik van maakt door ze te bestralen in kernreactoren of met zware kobaltbronnen!

De kleur van amethist

Mede omdat amethist in de 19^e eeuw door zijn toenmalige zeldzaamheid een relatief gezochte edelsteen was, zijn er nogal wat speculaties en onderzoeken geweest naar de oorzaak van zijn prachtige paarse kleur. De vroegste ideeën daaromtrent stelden goud en titaan verantwoordelijk voor de kleur, of mangaan omdat de kleur van amethist sterke gelijkenis vertoont met die van kaliumpermanganaat in oplossing, en omdat mangaan-bevattend glas een paarse kleur kreeg onder invloed van ioniserende straling. Ondertussen zijn deze theorieën al lang achterhaald, maar ze duiken nog steeds op in mineralogieboeken die het niet zo nauw nemen met de werkelijkheid.

Met moderne analysetechnieken (met name paramagnetische elektronenresonantie en optische absorptiespectroscopie) is het mogelijk om vast te stellen welke elementen zich waar bevinden in een kristalstructuur. In de laatste 30 jaar is amethist vele malen onderzocht, en telkens duikt daarbij de naam op van de Duitser



Afb. 3. Schematische weergave van een kristalstructuur waarin bepaalde ionen voorkomen, zowel als vervanging van ionen op de regelmatige structuurplaatsen als interstitieel tussen de structurele plaatsen. (Naar H.-J. Rösler (1979): *Lehrbuch der Mineralogie*)

Lehmann, die reeds in 1967 het thans gangbare model voor de paarse kleur introduceerde. In amethist wordt de paarse kleur veroorzaakt door een kleurcentrum dat vergelijkbaar is met dat van rookkwarts, maar een klein aantal Si ionen wordt niet vervangen door aluminium, maar door ijzer (Fe). Dit is echter niet voldoende om de kleur te laten ontstaan, er moeten ook Fe ionen aanwezig zijn in de ruimten tussen de structurele plaatsen: "interstitieel" Fe ionen (Afb. 3). Door natuurlijke radioactieve straling wordt een elektron van een "structureel" Fe ion verdreven waardoor het oorspronkelijke Fe^{3+} ion omgezet wordt in een Fe^{4+} ion; het verdreven elektron wordt ingevangen door een interstitieel Fe^{3+} ion, dat daardoor omgezet wordt in Fe^{2+} . Daarmee wordt de elektrische neutraliteit behouden, maar het resterende elektron van een paar rond het Fe^{4+} ion veroorzaakt door zijn wisselwerking met licht de paarse kleur. De paarse kleur is in amethist het meest intens als er ongeveer evenveel structurele als interstitieel ijzer-ionen aanwezig zijn. Kwartskristallen waarin ijzer-ionen enkel voorkomen als vervanging van silicium op structurele plaatsen worden door bestraling niet paars! De paarse kleur kan verschillende tinten hebben, soms meer warmrood, soms meer koudblauw: dit wordt veroorzaakt door andere kleurcentra naast die van ijzer.

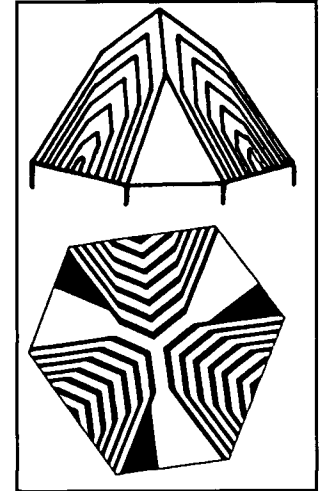
In veel amethistkristallen is de paarse kleur niet egaal verdeeld. De rhomboëdervlakken aan de spits van de kristallen zijn vaak veel dieper gekleurd dan de prismavlakken aan de zijanten; bovendien is de kleuring onder de drie (meestal grotere) vlakken van de positieve rhomboëder intenser dan onder de drie (meestal kleinere) vlakken van de negatieve rhomboëder (Afb. 4): een typisch voorbeeld van sectoriële kleuring of kluerzonering. Daarnaast hebben zeer veel amethistkristallen onder de positieve rhomboëdervlakken een gelaagde opbouw door polysynthetische tweelingvorming van rechts- en linkswaarts (Afb. 4). Deze lamellen zijn echter alleen met speciale optische methoden (gepolariseerd licht) zichtbaar, of worden dat na kunstmatige etsing met HF (thuis absoluut niet doen!). Sommige auteurs zeggen dat deze Braziliaanse tweelingen ook in verband staan met de aanwezigheid van ijzer, omdat de ongekleurde negatieve rhomboëdervlakken deze lamellering niet hebben. Inderdaad bevatten de sectoren van deze vlakken minder ijzer dan de positieve sectoren.

Citrien

Om maar meteen met de deur in huis te vallen: er zijn wel tegelijk verschillende soorten citrien, alhoewel de meeste handelaren dat zullen ontkennen. Er zijn citrienkristallen die door natuurlijke bestraling geel tot geelbruin zijn geworden, maar de citrien die normaal aangeboden wordt is meestal ontstaan door verhitting van amethist.

Het opwarmen van amethistkristallen tot even boven $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ geeft de elektronen die ingevangen zijn door de interstitieel Fe ionen voldoende energie om weer terug te kunnen keren naar hun plaats van oorsprong, de structurele Fe ionen. Maar daardoor verdwijnen de kleurcentra, en dus gaat de kleur verloren: deze opgewarmde kristallen worden veel lichter paars of zelfs kleurloos. Met behulp van röntgen- of gammastraling kunnen de kleurcentra en dus de paarse kleur echter weer hersteld worden. Veel (te) licht gekleurde natuurlijke amethistkristallen worden trouwens

Afb. 4. Geëts amethistkristal: de grotere positieve rhomboëdervlakken zijn vaak intenser paars gekleurd dan de kleinere negatieve rhomboëdervlakken, en zijn bovendien lamellair vertweelgd. (Naar R. Rykart (1989): *Quarz-Monographie en Crowningshield et al., 1986, Gems & Gemology, Vol. 22*).



op die manier een "handje geholpen"! De bekende gele tot bruin/roodgele kleur van gebrande amethist ontstaat pas bij verhitten tot $450\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$; van deze "citrien" kan de paarse kleur niet hersteld worden met straling, omdat de

daarvoor noodzakelijke Fe ionen nu door de hoge temperatuur uit de structuur van kwarts genomen zijn door de vorming van zeer kleine ($0,1$ micrometer) submicroscopische deeltjes van een ijzerverbinding (oxide of hydroxide, zeer waarschijnlijk Fe_2O_3), die ook verantwoordelijk zijn voor de kleur van de gebrande amethist. Deze verhitte amethistkristallen behouden hun karakteristieke structuur van lamellaire tweelingen onder de grote positieve rhomboëdervlakken: met optisch onderzoek kunnen zij daarmee onderscheiden worden van echte citrien, die deze structuur niet bezit. Maar om Rykart te citeren: "*Nach Konvention der Edelsteinhändler dürfen gebrannte Amethyste als Citrin bezeichnet werden*". Zo krijgen/nemen de handelaren toch nog het laatste woord.

Echte natuurlijke citrien heeft nog meer duidelijke verschillen met gebrande amethist. Zo heeft citrien geen sectoriële kleuring, de kristallen zijn egaal gekleurd in alle domeinen. De gele tot geelbruine kleur verdwijnt al bij verwarmen tot ongeveer $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, en kan daarna door inwerking van straling weer hersteld worden. De kleur van echte citrien wordt dus ook veroorzaakt door een kleurcentrum, maar over de precieze oorzaak is nog geen volledige duidelijkheid. Weliswaar bevat citrien ook kleine hoeveelheden ijzer, maar veel minder dan amethist en uit onderzoek blijkt dat dit ijzer geen rol speelt bij het ontstaan van de gele kleur. De sleutel ligt bij het vaak gezamenlijk voorkomen in kwartskristallen van rookwaarts- en van citriencentra. De kleur van rookwaarts verdijnt bij ongeveer dezelfde temperatuur als de gele kleur van citrien. Men neemt aan dat aluminium niet alleen voor de bruin-zwarte kleur van rookwaarts zorgt, maar ook voor de gele kleur van citrien, al dan niet in combinatie met waterstof-ionen in een bepaalde verbinding. Schmetzer heeft in een artikel van 1989 aangetoond dat de twee soorten citrien relatief eenvoudig van elkaar onderscheiden kunnen worden.

Men heeft synthetische kwartskristallen geproduceerd met een gele kleur door ijzerverbindingen toe te voegen aan de oplossingen waaruit de kristallen groeiden. In deze kristallen is de (relatief sterke) gele kleur te wijten aan de vervanging van grotere hoeveelheden Si ionen door Fe ionen: de kleur ontstaat hier door absorptie, niet door straling op een kleurcentrum als in natuurlijke citrien. Deze gele kwarts wordt dus ook niet paars onder invloed van straling. Eigenlijk is er dus nog een derde soort citrien, met zijn eigen kleuroorzaak. Nogmaals moet Rykart geciteerd worden: "*Solche, durch Hydrothermalsynthese erhaltene Citrine, wie auch gebrannte Amethyste dürfen, nach Konvention der Edelsteinhändler, als Citrin bezeichnet werden*".

Ametrien

Ongeveer 8 à 10 jaar geleden verschenen op mineralenbeurzen in Nederland geslepen schijfjes en gefacetteerde stenen, al dan niet zeshoekig of als zodanig bijgesneden, van een materiaal dat uit kwarts bestond en dat een opvallende sectoriële kleuring had: afwisselende gebieden met paarse en gele kleur. Dit materiaal

werd ametriën genoemd, een samentrekking van de woorden amethyst en citrien. Ametriën was al aan het eind van de jaren zeventig op de Amerikaanse markt verschenen en in Europa aan het begin van de jaren tachtig. Er was meteen nogal wat controverse rond deze aantrekkelijk gekleurde kwarts: men achtte het onmogelijk dat dit een natuurlijk mineraal was, en deze geruchten zijn ook nu nog erg sterk aanwezig, soms overigens terecht. Het is inderdaad mogelijk om zulk materiaal kunstmatig uit natuurlijke amethyst te produceren door gecombineerde behandelingen van bestraling en verhitting. In het begin was er ook nog eens onduidelijkheid over de juiste vindplaats. Eerst werd gezegd dat de ametriën uit Brazilië kwam, maar later bleek dat het materiaal uit Bolivia naar Brazilië gesmokkeld werd, en aldaar als van Brazilië oorsprong geregistreerd werd omdat de winning ervan in Bolivia toentertijd verboden was. Een artikel van Vasconcelos, Wenk en Rossman in *Gems & Gemology* van 1994 heeft een einde gemaakt aan alle speculaties en geeft juiste informatie over alle aspecten van het begerenswaardige mineraal. De vindplaats is de Anahí mijn in de provincie Santa Cruz in het oosten van Bolivia, ongeveer 30 km ten westen van de grens met Brazilië. De kwartslichamen en -aders bevinden zich in dolomitische kalksteen en zijn gevormd uit warme gemineraliseerde oplossingen in spleten in de kalksteen. Van 1989 tot 1994 is meer dan 100 ton ametriën-houdende kwartskristallen gemijnd, maar het slijpbare materiaal vormt maar 40-80 kg per ton; het wordt op de markt gebracht als amethyst, citrien en ametriën. Er zijn ondertussen voldoende mineralogen en gemmologen met kennis van zaken ter plaatse geweest (trouwens ook nu nog bepaald geen plezierreis!) om met eigen ogen te kunnen vaststellen dat de fameuze ametriën inderdaad volledig natuurlijk is (Vasconcelos *et al.* namen niet minder dan 200 kristallen mee naar huis voor nader onderzoek, en lieten er voor 3000 karaat stenen uit slijpen!). De kleurzonering is vrijwel constant in alle kristallen: de sectoren van de grotere positieve rhomboëdervlakken zijn paars gekleurd, en de sectoren van de kleinere negatieve rhomboëdervlakken zijn oranjegeel gekleurd, een duidelijk diepere kleur dan in natuurlijke citrien. De paarse sectoren zijn altijd lamellair vertweelgd, maar de gele sectoren in het geheel niet, iets wat gemakkelijk vastgesteld kan worden in gepolariseerd licht. Met chemische analyses is vastgesteld dat de gele sectoren meer ijzer bevatten dan de paarse, in tegenstelling tot wat eerder beschreven is. Intense bestraling met gammastraling resulteerde niet in kleurverschillen, een indicatie dat het aluminiumgehalte laag is in beide sectoren, want bij hoge Al-gehalten ontstaat immers rookkwarts. Bij het verhitten van ametriën tot 200 °C gebeurt er niets, een duidelijke aanwijzing dat de gele sectoren niet uit "echte citrien" bestaan; bij 370 °C verdwijnt de paarse kleur bijna volledig, terwijl de gele sectoren nog altijd hun kleur behouden; bij 385 °C is ook de gele kleur een stuk minder, en bij 400 °C zijn de paarse sectoren geel geworden, en de gele sectoren bijna kleurloos. De kleur uit de eerst gele sectoren verdwijnt geheel tussen 450 en 500 °C. Dit

gedrag toont aan dat de oorspronkelijk paarse sectoren uit amethyst bestaan, en dat de oorspronkelijk gele sectoren geen "echt citrien" zijn, want dan zouden die gebieden al bij 200 °C kleurloos worden. Deze gele sectoren bestaan, gezien hun hoge ijzergehalten, zeer waarschijnlijk uit de "derde soort" van citrien (zie boven), kwarts waarvan de gele kleur ontstaat door absorptie van licht door ijzer-ionen op de structurele plaats van silicium, en die door bestraling niet van kleur verandert.

Kristallen van Boliviaanse ametriën zijn tussen de 10 en 30 cm lang, en hebben een diameter van 4 tot 12 cm. Andere vindplaatsen van ametriën bevinden zich in India (Hyderabad) en in Brazilië, maar de vondsten aldaar zijn minimaal in vergelijking met die van de Anahí mijn.

Synthetische ametriën wordt geproduceerd door het bekende Tsjernogolovka Science Institute ten noordoosten van Moskou: de kristallen hebben een volkomen andere vorm dan kristallen van natuurlijk materiaal, maar in geslepen toestand ziet men dat uiteraard niet! Het andermaal citeren van Rykart lijkt overbodig te zijn!

Literatuur

H.-J. Rösler (1979): *Lehrbuch der Mineralogie*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoff-industrie, Leipzig.

Over kleur in het algemeen:

K. Nassau (1983): *The physics and chemistry of color; the fifteen causes of color*. John Wiley & Sons, New York etc., 454 pp.

Over de kleurvariëteiten van kwarts:

G.R. Rossman (1994): *Colored varieties of the silica minerals*. *Reviews in Mineralogy*, Vol. 29, pp. 433-467.

R. Rykart (1989): *Die Farbvarietäten*. In: "Quarz-Monographie: Die Eigenheiten von Bergkristall, Rauchquartz, Amethyst und anderen Varietäten", Ott Verlag, Thun, pp. 142-165.

Over de kleur van amethyst:

W. Lieber (1994): *Amethyst: Geschichte, Eigenschaften, Fundorte*. Christian Weise Verlag, München, 188 pp.

Over de kleur van citrien:

K. Schmetzer (1989): *Methods for the distinction of natural and synthetic citrine and prasiolite*. *Journal of Gemology*, Vol. 21, pp. 368-391.

Over ametriën:

P.M. Vasconcelos, H.-R. Wenk, G.R. Rossman (1994): *The Anahí ametrine mine, Bolivia*. *Gems & Gemology*, Spring 1994, pp. 4-23.

Op internet, met talrijke kleurenfoto's van ametriën en de Anahí mijn: <http://minerals.gps.caltech.edu/ametrine/>

GEOCOMpositie 4

Help via internet bij redding van bedreigd geologisch monument!

Iedere geoloog is zich bewust van het feit dat bij elk van zijn hamerslagen iets verdwijnt dat onvervangbaar is. Gelukkig is dat bijna nooit een probleem; net als in het dagelijks leven kunnen we immers niet alles bewaren. Maar ook net als in het dagelijks leven moeten we zuinig zijn met unieke geologische fenomenen. Dat wordt steeds meer erkend; in Nederland hebben we zelfs een aantal geologische reservaten.

In het buitenland is men bij de bescherming van unieke geologische objecten soms verder gevorderd dan in Nederland, soms bestaat er in het geheel geen bescherming. Dan blijkt economisch gewin (al dan niet begrijpelijk vanwege de economische omstandigheden) de doorslag te geven. Dat dreigt nu ook in Gabon (Afrika), waar een ongeveer tweemiljard jaar oud, zeer bijzonder geologisch fenomeen wordt bedreigd. Het gaat om een 'natuurlijke' kernreactor: een massa uraniumerts die ongeveer tweemiljard jaar geleden gedurende waarschijnlijk enkele honderdduizenden jaren heeft gefungeerd zoals ook de huidige kernreactoren dat doen: het leveren van energie door middel van een kernsplijtingsreactie die zichzelf in stand houdt, zonder tot een ongecontroleerde uitbarsting te komen (zoals dat in een atoombom het geval is).

Hoe weten we dat in dit oude ertslichaam zo lang geleden een min of meer gelijkmatig kernsplijtingsproces heeft plaatsgevonden? Dat werd ontdekt toen het erts ontgonnen werd om uranium