

Krullen, ringen en spiralen – curieuze groeivormen van kristallen

door Dr. Werner Lieber
vertaling uit het Duits: Joke Stemvers-van Bommel

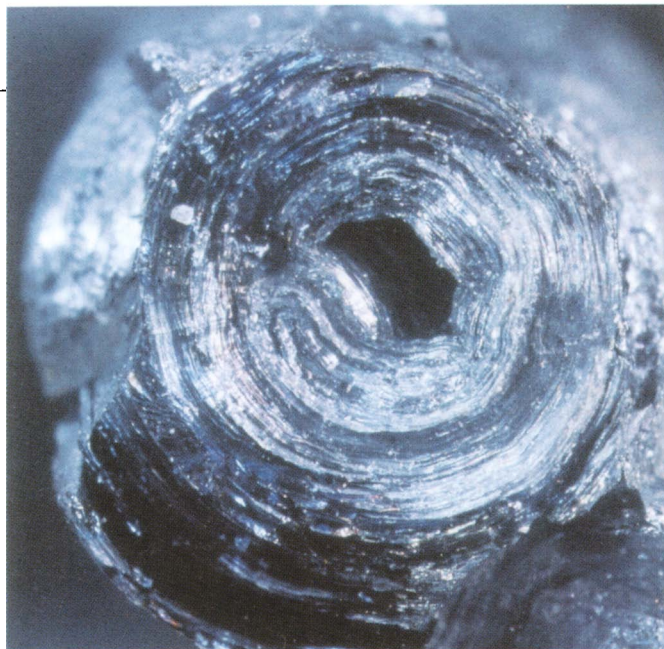
De wereld van de mineralen verrast ons altijd weer met ongewone variaties in de vorm. Zo vertonen zich onverwachts en in heel weinig vindplaatsen cirkelronde ringetjes van pyriet, die geen enkel vlak laten zien. Normaliter kent men dit mineraal in kubische vormen, soms ook als naald- en staafvormige kristallen, die zijn ontstaan doordat bv. heel kleine kubusjes in één richting verder zijn gegroeid.

Ook boulangeriet en jamesoniet zijn in enkele vindplaatsen zeldzaam in de vorm van kleine ringetjes van minder dan 1 mm doorsnee gevonden.



Afb. 1a. Cylindriet van de Mina Santa Cruz bij Poopó, Bolivia; hoogte van het aggregaat 4 cm.

Malachiet komt wereldwijd voor in naaldvormige kristallen, radiaalstralige aggregaten of compacte, glaskopachtige massa's van zulke naalden. En plotseling duiken dan, in een al heel lang bekende vindplaats, mooie krullen en kurketrekkerachtige spiralen op. Ook gips vertoont zich wel eens in min of meer ronde, krullige vormen, die door bedenkers van nieuwe namen wel eens als 'ramshoorn'-gips worden aangeduid. Bij het zorgvuldig controleren van verzamelingen zal men misschien nog meer voorbeelden van kromme, gekrulde of gedraaide vormen vinden. Waarom en hoe deze ontstaan kan in enkele gevallen worden verklaard; in andere gevallen zoekt men – tot nu toe – tevergeefs naar een plausibele interpretatie.



Afb. 1b. Cylindriet. Blik in de richting van de as van de cilinder. Doorsnee bijna 0,5 cm.

In de natuur komen enkele mineralen voor, die door hun bijzondere structuur *in principe altijd 'ronde kristallen' vormen*. Daartoe behoren bv. cylindriet (afb. 1), incaïet, cannizzariet, chrysotiel, halloysiet. Cylindriet wordt gevonden als centimeterlange, cilindrische (vandaar de naam) rolletjes met doorsneden tot 5 mm, zoals een rol papier met veel wikkels. De andere genoemde mineralen komen echter altijd alleen in nietige kristalletjes voor. Zo is de doorsnee van bv. de buisjes van chrysotiel maar enige tienduizendste millimeters (= 0,1 mm). Daardoor viel de rolvorm buiten iedere microscopische herkenning. Pas de elektronenmicroscopie maakte de ware vorm van deze mineralen duidelijk. (Foto's, details en literatuur hierover bij Lieber & Richartz, 1980). In tegenstelling hiertoe gaat het bij de te bespreken rondachtige, gekrulde en spiraalvormige voorkomens van enige mineralen om meer of minder *zeldzame* en curieuze verschijningsvormen. In normale gevallen vormen ze kristallen volgens de klassieke definitie: ze hebben platte vlakken en rechte kanten. In het volgende artikel wordt verslag gedaan over waarnemingen aan buitengewone groeivormen van enige mineralen.

Koper, zilver, goud

Gekrulde vormingen kent men bv. van de metalen koper, zilver en goud. Alledrie zijn gemakkelijk rekbaar en vervormbaar (ductiel). Men spreekt van een *elastische* vervorming als het kristal of het kristalaggregaat – zoals een draad of een plaatje – na beëindiging van de invloed van de vervormende kracht zelfstandig in zijn oorspronkelijke vorm of ligging terugspringt. Bij *plastische* vervormingen keert het vervormde voorwerp niet meer in zijn vroegere vorm of positie terug; òf het breekt, òf het blijft vervormd.

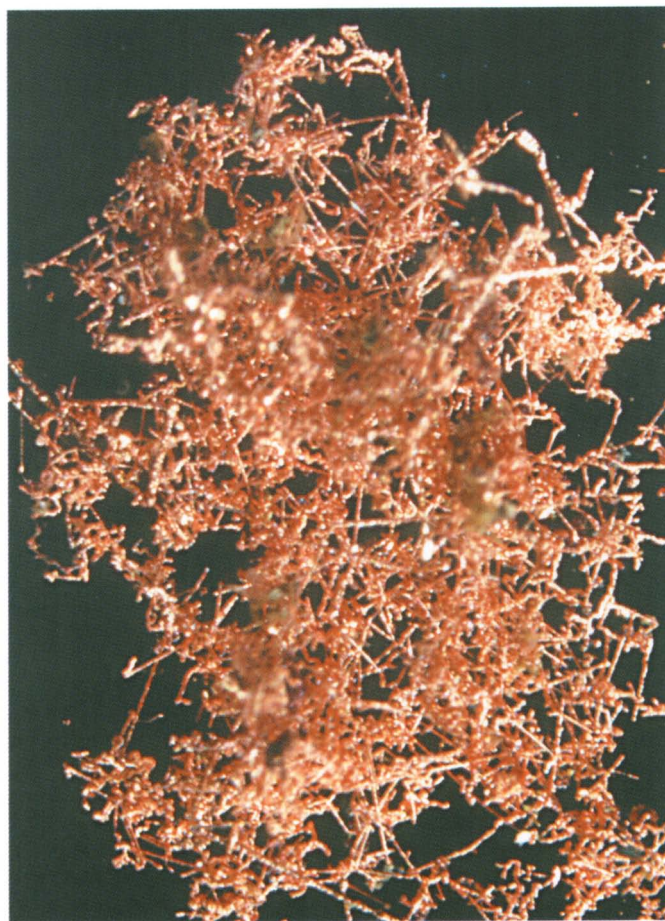
Het is begrijpelijk, dat de neiging tot vervorming van kristallen bij gelijke lengte afhangt van o.a. hun dikte, van hun doorsnee. Een 10 cm lange kristalnaald van kwarts is niet plastisch vervormbaar, maar wel een beetje elastisch buigbaar. Bij een te grote krachtoefening komt het tot een breuk. Daarentegen kan een draad van dezelfde doorsnee van koper, zilver of goud



Afb. 2. 'Koperkrul' met prehnet van Allouez, Keweenaw-schiereiland, Bovenmeer, Michigan; hoogte van het handstuk 2 cm.

zowel elastisch alsook heel gemakkelijk plastisch duurzaam vervormd worden.

Koper vormt naar verhouding zelden krullen en draden. Als ze ergens optreden dan zijn ze dun en kort. Afb. 2 toont een tussen

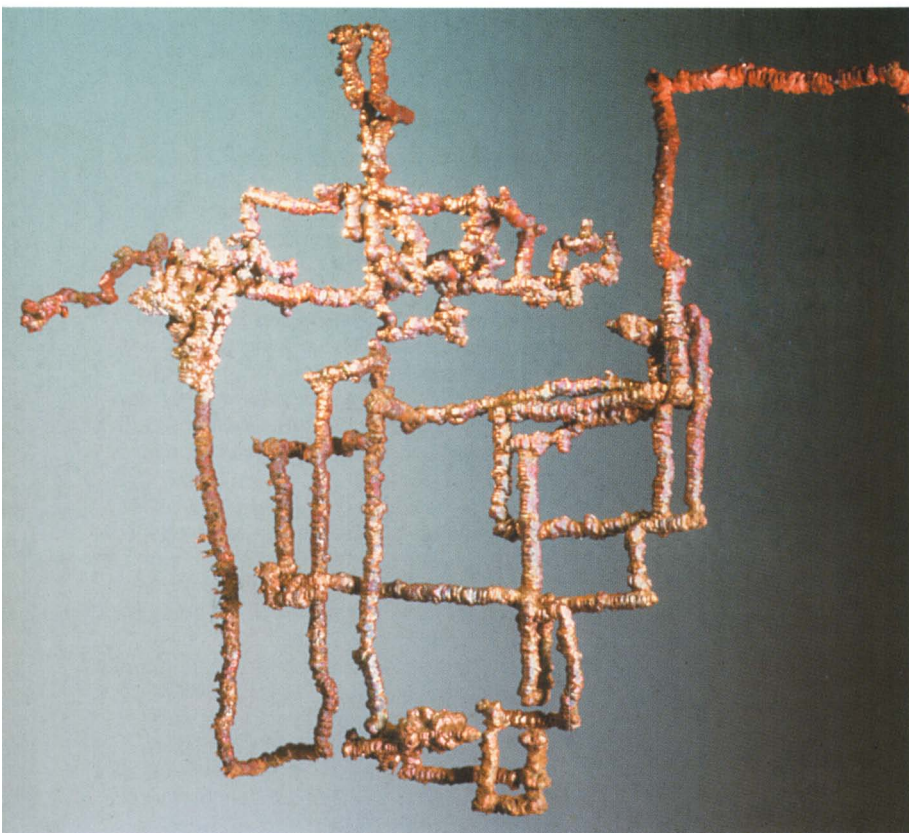


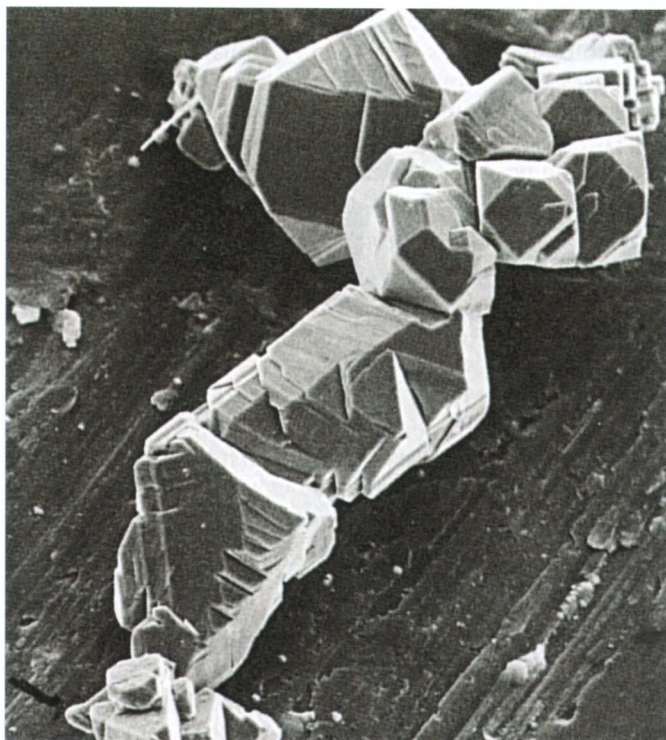
Afb. 4a. Koper'wol', synthetisch gegroeid uit waterige koperzoutoplossing; 1 cm.

prehnet gegroeide, nauwelijks 0,5 mm dunne en 2,5 cm lange 'draad', die zich eerst in veranderlijke richtingen windt voor hij zich naar boven richt en zich uiteindelijk ombuigt tot een krul. Er is geen contact tussen de draad en wat voor kopermineralen ook onder of in de prehnet. Eerder vormde zich aanvankelijk een kristalletje met kubische habitus, dat toen in een voorkeursrichting verder groeide. Ongeveer gelijktijdig ontstonden de radiaalstralige prehnetaggregaten, die enige koperdraden insloten. Zoals men bij een juiste vergroting kan zien, heeft de krul een vierkante en niet een ongeveer ronde doorsnee. Het gaat dus om een kristal, dat heel normaal in de voorkeursrichting van slechts één kristalas groeide in een waterige oplossing (Lieber, 1998). Later ontstond op het krullenbouwsel een klein koperkristal met isometrische habitus. De vele krommingen van de krul zijn vermoedelijk veroorzaakt door hindernissen wegens gebrek aan vrije ruimte. De plastisch vervormende kracht was in dit geval de kristallisatie-druk, die zich tegen de hindernis manifesteerde.

Koperdraden (afb. 3) uit de White Pine Mine aan het zuidwestelijke begin van het Keweenaw-schiereiland in het Bovenmeer blijken uit talloze kubische kristallen te zijn opgebouwd, die in waterige oplossing zijn ontstaan. Ook andere 'draadkrullen' bestaan uit kristalletjes, die zich ~ vaak ~ parallel aan elkaar gerangschikt hebben en uit waterige oplossing werden uitgescheiden. In een kluwen van 'koperdraden',

Afb. 3. Koperdraad, opgebouwd uit talloze parallel aan elkaar gegroeide kristalletjes; van de White Pine Mine, Keweenaw-schiereiland; hoogte 2,5 cm.





Afb. 4b. 'Koperkrul' (detail van afb. 4a). Vergroting 1430 x; beeldbreedte 0,1 mm. REM-foto: R. Arnold.

die in het laboratorium uit een waterige koperzout-oplossing bij kamertemperatuur in drie maanden zijn ontstaan, bestaat elke 'draad' helemaal uit zeer kleine kristalletjes met kubische vormen, die in een voorkeursrichting groeiden (afb. 4 en 6). Daarentegen herinnert de auteur zich geen natuurlijk handstuk, waarbij metallisch koper zich in de geest van uitbloeiingen uit de matrix naar buiten geschoven zou hebben. Dat zou betekenen dat in de matrix koperhoudende mineralen aanwezig waren; deze zouden zijn omgezet onder vorming van metallisch koper en dan de groeiende uitbloeiing van onderen af van substantie hebben voorzien.

Goud in de vorm van haarvormige kluwens, draden en krullen is alles bij elkaar zeldzamer dan schilferig en korrelig, bladachtig, goed gekristalliseerd of tot nuggets geaggregeerd en gecomprimeerd goud. Schijnbaar draadvormig of als een wolkluis voorkomend goud, bv. van de Ollinghouse Mine, Nevada, laat onder de microscoop zeer dunne, extreem in de lengte gegroeide kristallen zien, die gedeeltelijk met elkaar zijn vergroeid (afb. 5 en 6). In de matrix worden geen goudmineralen gevonden die bij



Afb. 5a. Goud, lijkend op krullen, van de Ollinghouse Mine in de Washoe County, 30 km ONO van Reno, Nevada; beeldbreedte 1,5 cm.

omzetting een eventuele draadvorming als uitbloeiing zouden hebben kunnen bewerkstelligen. Integendeel, eerder ontstond de 'goudwol' uit waterige oplossingen. Ook het goud van vele handstukken uit Siebenbürgen bestaat, hoewel het er draadvormig uitziet, uit kristallen die uit waterige oplossingen zijn gegroeid en zich sterk in de lengte hebben ontwikkeld.



Afb. 5b. Goudkristalletje, vergroot detail uit afb. 5a. Beeldbreedte 5 mm.

Ongetwijfeld bestaan er ook echte gouddraden (als uitbloeiing?), bv. in het gebied van Breckenridge in Colorado. In het Denver Museum of Nature and Science zijn veel van zulke handstukken tentoongesteld. Een bijna 12 cm lang draadbouwsel van 2 cm dik (aan de 'voet') bevindt zich in het Harvard Mineralogical Museum in Cambridge, Massachusetts; het is afkomstig uit de Groundhog Mine bij Gilman, Colorado, en is in Mineralogical Record 33 (2002), nr. 2, op pag. 176 afgebeeld. Matrix is niet aanwezig, zodat niet kan worden vastgesteld of het om een echte uitbloeiing gaat en uit welke goudmineralen het tot uitbloeiing zou kunnen zijn gekomen.

Het transport van goud in waterige oplossing werd de laatste jaren meermalen ter discussie gesteld. De vorming van water-oplosbare sulfidische goudcomplexen, bv. $\text{Na}_3[\text{AuS}_2]$, wordt mogelijk geacht (Yardley, 1996). Zodra dit complex wordt omgezet, slaat elementair goud neer. Ook humuszuren kunnen goud oplossen en doen dit bij duidelijk lagere temperaturen dan in hydrothermale oplossingen het geval is.

Terwijl als draden uitziende koper- en gouddraden overwegend uit waterige oplossingen kristalliseren, meestal klein van stuk zijn en uit talloze zeer kleine enkelkristalletjes zijn opgebouwd, is er bij **zilver** heel vaak nog een tweede mogelijkheid van ontstaan: de zilverkrullen kunnen – als gevolg van omzetting van zilverglaans-matrix – naar buiten schuiven. Waarschijnlijk zijn de meeste zilverkrullen zelfs op deze manier ontstaan. Dit komt overeen met het principe van uitbloeiingen: de uitbloeiing groeit steeds uit de matrix en wordt uit deze gevoed. Dat gaat mogelijk op voor alle krullen die zelfs elektronenmicroscopisch geen kristalvlakken laten zien, maar er eerder uitzien als bundels met vele draden, die parallel met elkaar zijn vergroeid (afb. 6). Over na-



Afb. 6. Zilverdraden, als 'uitbloeiing' uit zilverglans-matrix naar buiten gegroeid; van Aspen, Colorado; 5 cm hoog. Zie ook de voorplaat.

tuurlijke of kunstmatige vorming van zilverkruilen en -draden werd enige tijd geleden controvers en van verschillende zijden met een zeker onbehagen gediscussieerd. Om herhalingen te voorkomen wordt verwezen naar het werk van Bischof (1843), Münster (1876), Opificius (1888), Vogt (1899), Kohlschütter & Eydmann (1912), Mügge (1913), Beutell (1919), Veen (1925), Kohlschütter (1932), Keil & Meyer (1960), Ramdohr (1960, 1975), Johnsen (1987), Martinek (1995) en Bancroft et al. (2001).

Bischof (1843) was de eerste die met eigen proeven vaststelde dat zilver sulfide "...met groot gemak in heel korte tijd..." omzet, als men er waterdamp 'bij geringe warmte' overheen leidt. 'Het gereduceerde zilver verscheen in dezelfde boom-, mos- en draadvormen als het gedegen zilver' (...in de natuur; opm. van de auteur).

Kohlschütter & Eydmann (1912) spreken van een dissociatie (ontleding) van het zilver sulfide en van een 'pseudo-gastoestand' van het zilver op het moment van de omzetting. De zilverbaren of -draden die ontstaan groeien aan de basis, dus aan de grens van het zilver sulfide met de ontstaande zilverdraad.

Volgens Mügge (1913) zouden zilverdaden ontstaan bij het verwarmen van natuurlijke of synthetische zilverglans, zowel in waterstofgas als in lucht boven de 180 °C. Bij deze temperatuur (opm. van de auteur: dus in de buurt van het omzettingspunt acanthiet / argentiet bij 173 °C) houdt hij het zilver voor bijzonder beweeglijk, hij spreekt zelfs van 'quasi-vloeibaar' en neemt aan, dat het fijnverdeelde zilver tijdens de thermische ontleding met de ontstaande gassen naar het oppervlak getrokken wordt, waar het zich tot submicroscopische kristallijne massa's concentreert. Meer zilver wordt naar buiten geschoven en vormt draden en krullen.

Uit de overvloed aan verklaringen blijkt: zilver sulfide Ag_2S is bij temperaturen boven ongeveer 180 °C, bij voorkeur boven 220 °C, onder afscheiding van elementair zilver, meer of minder gemakkelijk te ontleden. Een reducerend milieu bevordert dit proces. Het gaat om een 'uitgroeiing' of 'uitbloeiing', die door aanvoer

van materiaal aan de voet van de ontstaande draad van onderen gevoed wordt. Terwijl de vorming van draden en krullen in de natuur heel waarschijnlijk zonder medewerking van oplossingen direct uit de Ag_2S -matrix gebeurt, zijn zilverkristallen uit waterige oplossingen ontstaan, ook als ze als groep een dendritisch, draadvormig of gekruld totaalbeeld zouden opleveren. Afb. 7. Bij de pogingen tot verwarming in het laboratorium moet niet



Afb. 7. Zilverkristal, uit oplossingen ontstaan; van Batopilas, Chihuahua, Mexico; hoogte 1,5 cm.

over het hoofd worden gezien, dat de natuurlijke mineraalvorming in de regel de omgekeerde weg volgt: in plaats van van lage naar hoge temperatuur te stijgen, koelt het complexe systeem van hoge temperatuur komend af. Volgens Bancroft et al. (2001) wijzen onderzoeken van vloeibare insluitels in kristallen van de voorkomens van Kongsberg erop, dat de gangen bij temperaturen tussen 300 °C en 200 °C gevuld werden; dat gebeurde dus in het stabiliteitsbereik van argentiet.

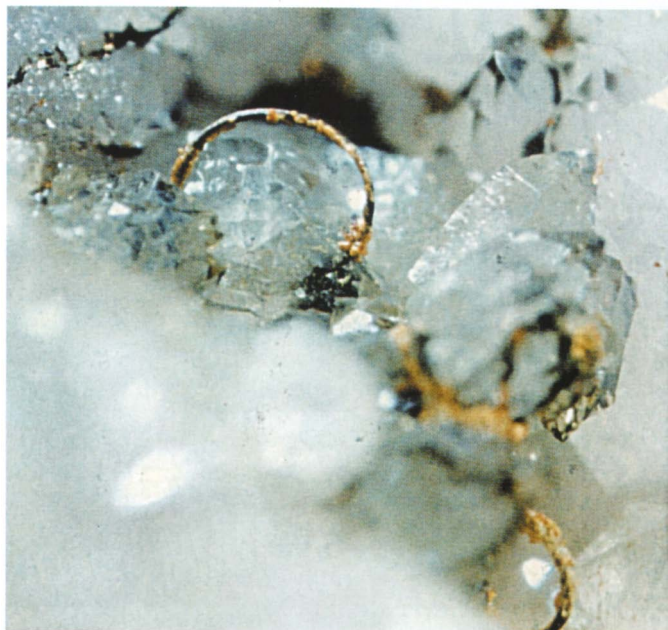
Het idee dat bij ongeveer 180 °C de zilberatomen van het Ag_2S -kristalrooster 'bijzonder goed beweegbaar' zouden zijn (Mügge, 1913), lijkt overtuigend en waard om nader onderzocht te worden. De kromming van de 'uitgebloeide' draden kan veroorzaakt zijn door verschillende stoftoevoer aan de voet van de draden, door mechanische weerstand (aanstoten tegen de spleetwanden) en/of vervorming door het eigen gewicht. Bij vele handstukken zou men aan een naderhand plaatsgevonden 'verfraaiing' kunnen denken, bv. in het geval van een op veel plaatsen afgebeeld – en zelfs op een 50 Pf-postzegel van de vroegere DDR uit 1969 weergegeven – aantrekkelijk zilverdraad-handstuk.*)

*) Opm. van de vertaler: Zie afb. 1 van het artikel Zilver en zilvermineralen in *Gea* 2004, nr. 2, p. 64.

Hierbij zijn de draden uit de calciet 'naar buiten gegroeid', ze maken scherpe bochten van 90°, lopen precies horizontaal over het handstuk en zijn in het midden samengekomen (samen-voegd?). Overigens is bewezen (Bergakademie, Techn. Universität Freiberg), dat de zilverdraden en -krullen van groeven bij Freiberg *niet* zoiets als enkelkristallen zijn, maar wijzen op een polykristallijne structuur.

Pyriet, jamesoniet en boulangeriet

Zoals algemeen bekend is vormt pyriet isometrische kristallen. Deze voldoen ook dan aan de definitie als een zeldzame habitus wordt waargenomen. Zo hebben de naaldvormig in een enkele richting gegroeide kristallen steeds platte vlakken en rechte kanten. Van de vindplaats Hall's Gap in de Lincoln County van Kentucky zijn echter complete ringen van pyriet bekend geworden.



Afb. 8. Pyriet-ringen van Hall's Gap, Kentucky, USA; grootste doorsnee 1,5 mm.

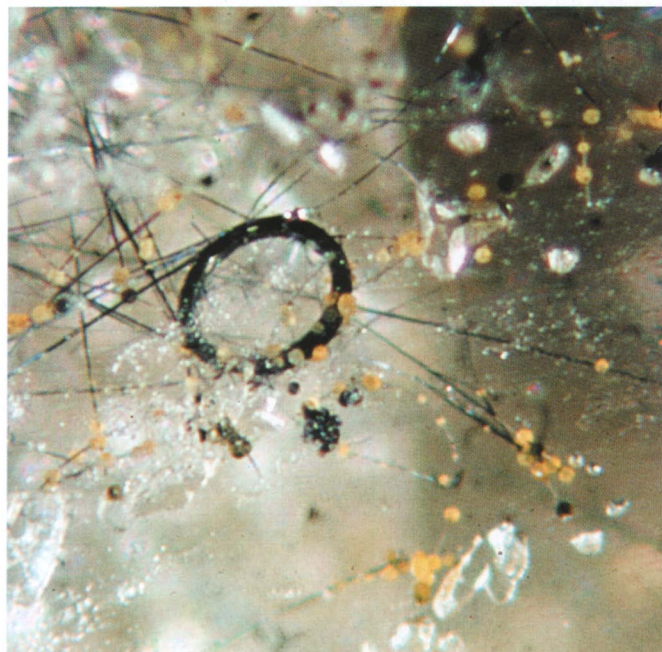
Bideaux (1970) publiceerde raster-elektronen-microscopische afbeeldingen van zulke ringen, die een doorsnee van minder dan 1 millimeter hebben. Zoals daarbij naar voren kwam bestaan ze uit talloze minuscule, veerachtig uitziende minikristalletjes, die in regelmatige onderlinge verplaatsing en gelijke kromming de ring opbouwen. Afb. 8 toont verscheidene pyrietringen, die gedeeltelijk door andere mineralen werden omhuld.

Bideaux (1970) beschreef ook nog **boulangeriet**-ringen van Madoc in Ontario, Canada, en publiceerde daarbij elektronenmicroscopische afbeeldingen. Daaruit is op te maken dat de ringen uit een groot aantal dunne vezels bestaan.

Ghiurca (1985) publiceerde een uitvoerig artikel over **jamesoniet**-ringen van Baia Mare, Roemenië. Het mineraal vormt normaliter naald- en haarvormige kristallen van minder dan 0,1 mm doorsnee en verscheidene centimeters lengte. In 2 % van alle gevallen kwamen gekromde, maar ook perfect ring-, schijf- en rolvormige aggregaten voor. Afb. 9 a toont een, in een barietkristal ingesloten, complete ring van 0,5 mm doorsnee. Ghiurca vermoedt, dat de kromming '...door dezelfde krachten veroorzaakt wordt die haren in bewegend water kunnen krommen'. Om een haarvormig kristal blijvend tot een ring te vervormen is de vereiste kracht des te groter, hoe kleiner de radius van de kromming is. Voor zo'n nietig ringetje zou de benodigde energie enorm zijn, wat door bewegend water niet is op te brengen.

In 1991 berichtten ook Hansen, Falster en Simmons over ringen met verschillende afmetingen van boulangeriet, met doorsneden

van 80 tot 130 mm, en over 200 mm lange rollen van jamesoniet. Zij zaten naast langvezelige naalden en haren van hetzelfde mineraal samen met andere sulfozouten in marmer, bij de Taylor Farm, dichtbij het plaatsje Madoc in de staat Ontario, Canada.

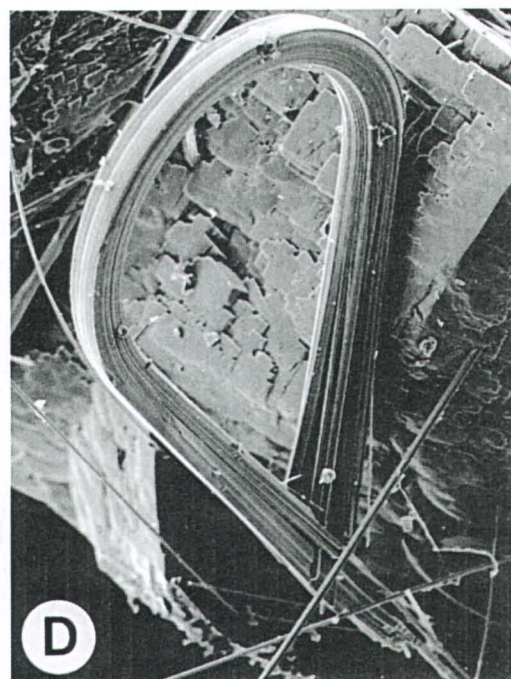
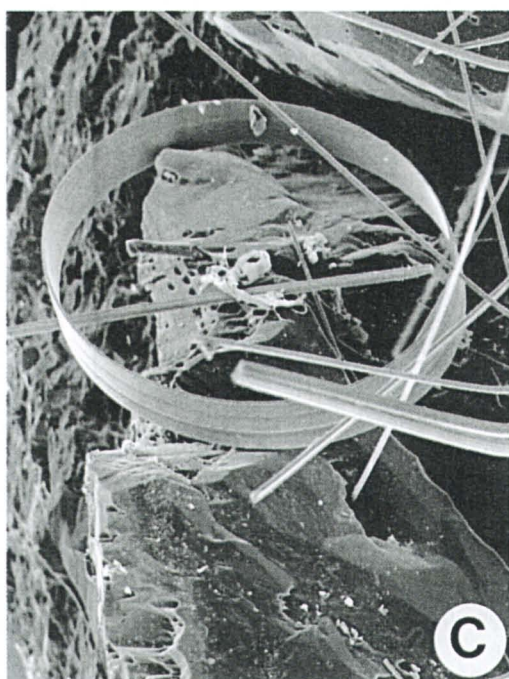
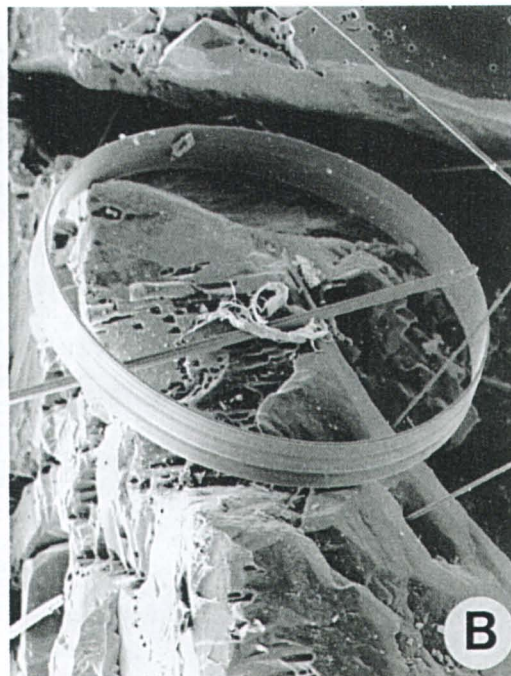


Afb. 9a. Jamesoniet-ring en -naalden in bariet van Baia Sprie, Roemenië; doorsnee 0,5 mm.



Afb. 9b. Twee jamesoniet-ringen met dolomiet/calciet van Cavnic, Roemenië; doorsnee 0,3 mm.

Een enkele jaren geleden op een mineralenbeurs aangeschaft, 4 cm groot aggregaat van dolomiet- en calcietkristalletjes, dat intensief met jamesoniet-naalden (boulangeriet?) vergroeid was en volgens opgave van 'Cavnic, Roemenië' kwam, bevatte tussen de naalden verscheidene ringen van 0,25 tot 0,4 mm doorsnee. De uit ringen samengestelde mantel was 2 tot 4 mm hoog (afb. 10 A - D). Hoe dikker de ringen zijn, uit hoe meer windingen ze bestaan. De meeste ringen zijn los met de naalden vermengd, maar soms is er ook geheel of gedeeltelijk calciet of dolomiet omheengegroeid. Vaak steken kristalnaalden door de ringen heen.



Afb. 10. Jamesoniet-ringen en -naalden op dolomiet.
A. Vergr. 140 x; beeldbreedte 1 mm; ringdoorsnee 0,3 mm.
B. Vergr. 420 x; beeldbreedte 0,333 mm; ringdoorsnee 0,3 mm; hoogte van de ring-'mantel' 3 mm (= 0,003 mm).
C. Vergr. 420 x; beeldbreedte 0,333 mm; ringdoorsnee 0,25 mm.
D. Ringvormig gekromde naalden; vergr. 280 x; beeldbreedte 0,5 mm.
REM-foto's door R. Arnold.

De dunne ringen zijn gevoelig voor mechanische belasting. Bij ruwe aanraking kunnen ze met een ruk opengaan en in een gestrekte stand springen; ze staan dus onder grote spanning. Behalve volledige ringen zijn er ook gedeeltelijk gekromde naaldenbundels (afb. 10 D), zoals al door Ghiurca (1985) werd beschreven.

Als de opgave van de vindplaats klopt, dan zou er met Cavnic behalve Baia Mare en Baia Sprie nog een voorkomen zijn; dit zou door de paragenetische overeenkomst geen verrassing zijn.

Hoe de ringen ontstaan is nog onbekend. Zelfs bij sterke vergroting is er geen naad te bekennen. Er is ook – nog – geen onderzoek naar gedaan of het hierbij om eenkristallen of om een polykristallijne opbouw gaat.

Malachiet

In de jaren '70 is een heel zeldzame en mogelijk tot het voorkomen Schwaz / Brixlegg in Tirol beperkte vormvariant van malachiet in krullen en spiralen gevonden. Het tot nog toe rijkste

voorkomen voor de ongewone vorm is de vindplaats 'Mockleiten', ongeveer 5 km ten oosten van Brixlegg. De eerste publicatie over de ongewone malachietvormen is van Meixner & Paar (1975). Verscheidene auteurs publiceerden afbeeldingen van de krullen (Brandstätter & Seemann 1984; Niedermayr 1994; Seemann 1989); heel indrukwekkende foto's staan in het artikel van Jahn (1997).

Natuurlijk dacht men ook na over de oorzaken van de krul- en spiraalvormige malachietgroei. Brandstätter & Seemann (1984) spreken van 'uitbloeiingen'; verschillende groeisnelheden van de individuele draden van een bundel zouden voor de krommingen verantwoordelijk zijn. Jahn (1997) citeert eerdere publica-

ties over ronde kristallen en herinnert aan een vaak vermeld en afgebeeld blokmodel. Met behulp hiervan kan ook de spiraalvormige stapeling van atomaire bouwstenen bij de groei van whiskerkristallen verklaard worden. (Whiskerkristallen zijn extreem in één richting gegroeide, haardunne kristalnaalden). Hij ziet in het zinkgehalte van de malachiet de oorzaak van de vermoede spiraalgroei.

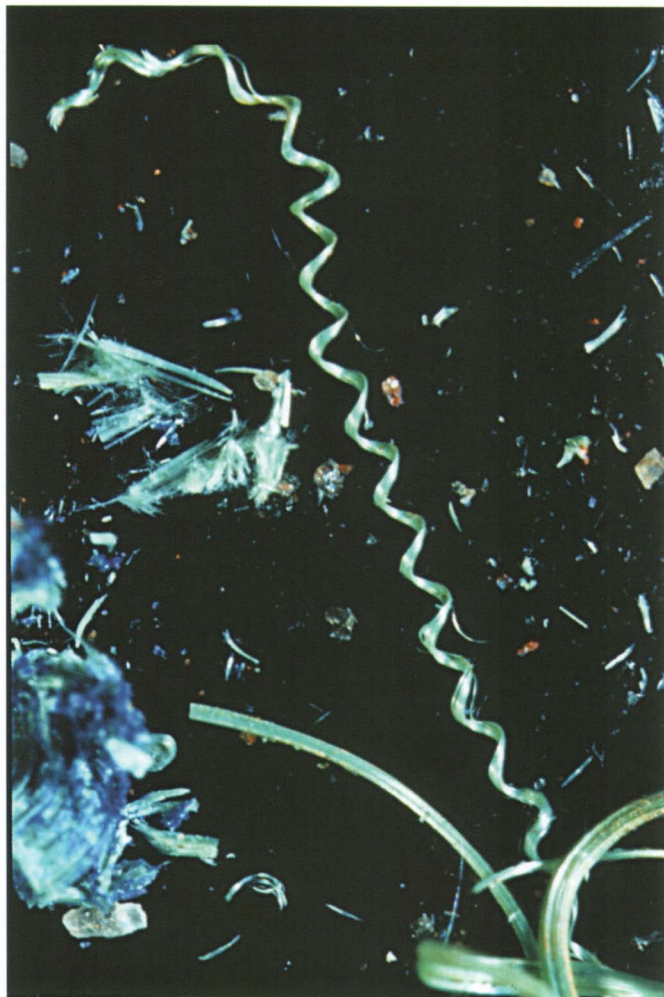
In 1997 deed de verzamelaar Heinz Dieter Müller op de Silberberg bij Brixlegg een betrekkelijk omvangrijke vondst met krullen tot 5 cm lang en spiralen van enkele millimeters tot 2 cm lengte; aan hem dank ik wat materiaal voor eigen waarnemingen (afb. 11-13).

De aangroeiplaatsen van de dradenbundels worden maar moeizaam gevonden. Vele liggen nu los op de handstukken. Hier en daar schijnen ze tussen azuriet aangegroeid te zijn. Aan de meeste losse krullen vindt men een dik en een dun eind. Het dikste is compacter, is vaak wat donkerder groen en meestal vlak (REM-foto 13 A). Blijkbaar was dat de aangroeiplaats.



Afb. 11. Malachiet-krullen en -spiraal van de Silberberg bij Brixlegg, Tirol, Oostenrijk; beeldhoogte 1 cm. Zie ook de achterplaat.

In alle gevallen dat de krullen nog 'vast' aan de ondergrond kleefden waren ze gegroeid op kwarts-, dolomiet- of calcietskistallen (REM-foto 13 B). Het gaat dus *niet* om 'uitbloeiingen' die



Afb. 12. Malachiet-spiraal; lengte 5 cm.

van anderen toevoer van materiaal zouden hebben kunnen krijgen. Eerder groeide de malachiet uit oplossing op de kwarts, dolomiet, enz. en vormde aanvankelijk meer of minder compacte, kleine kristalletjes. Hieruit ontwikkelden zich daarna haarvormige voortzettingen van de groei in de richting van de c-as. Dit werd ook op andere plaatsen – hoewel zelden: bv. Tsumeb / Namibië – waargenomen. De vaak goed gevormde azurietkristalletjes op de krullen wijzen eveneens op een ontstaan in waterige oplossingen.

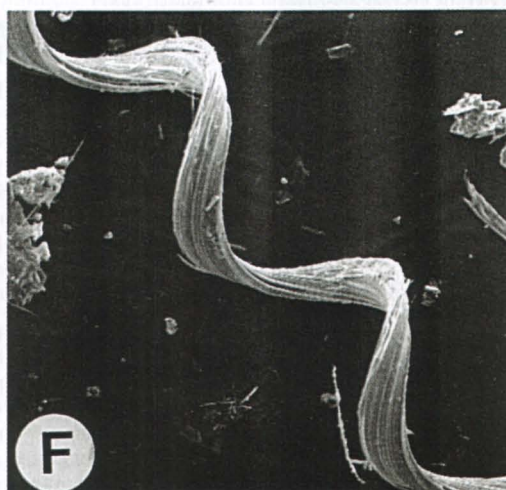
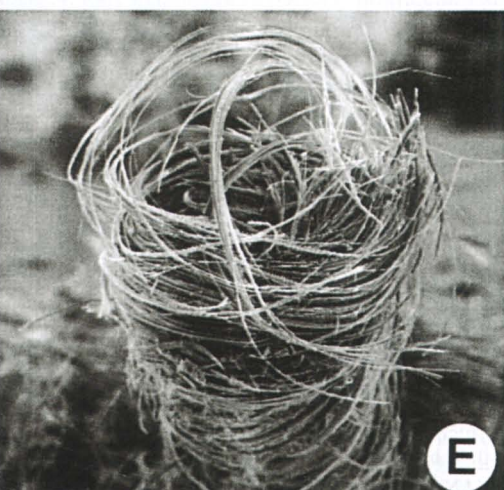
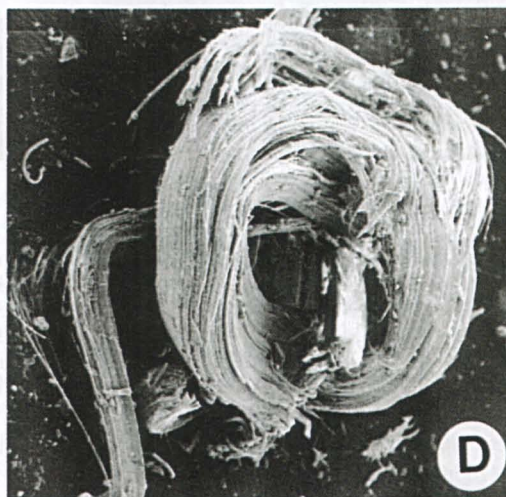
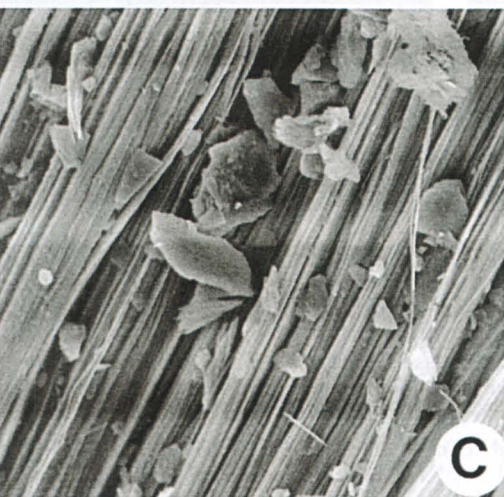
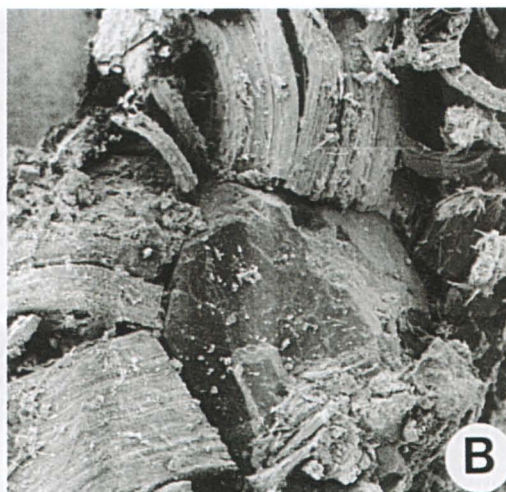
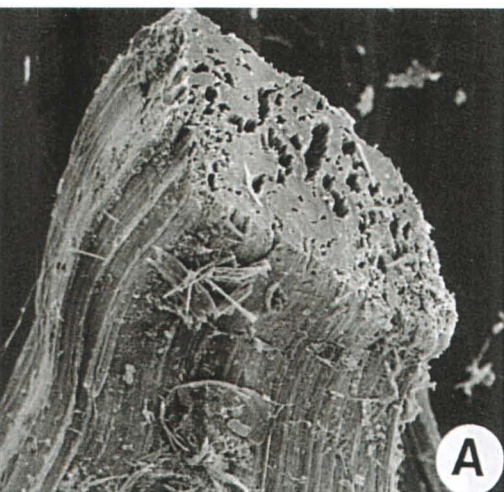
Malachiet heeft een grote voorkeur voor de vorming van naaldachtige, haardunne kristallen. Ook elk massief, glaskopachtig stuk blijkt onder de loep, of beter onder de microscoop, een aggregaat van talloze dunne haren of naalden te zijn. In het geval van de krullen van Brixlegg staan de enkele vezels zeer dicht naast elkaar en schijnen ze zich tot stabiele bundels te verbinden (REM-foto 13 C). Maar al bij zeer lichte druk rafelen ze in aparte haren uit elkaar. Voor de aggregaatvorm pleit ook het feit, dat de duizenden enkele vezels eerst niet met elkaar vergroeid waren maar slechts los aan elkaar kleefden toen het water uit de barsten, gangen en holle ruimten opgedroogd was.

Het wel eens geuite vermoeden, dat de krullenvorming door 'spiraalgroei' is veroorzaakt, is niet steekhoudend, omdat deze soort kristalgroei zich in *atomaire* dimensies afspeelt. Dat heeft *niet* dezelfde betekenis als het ontstaan van een *zichtbare* spiraal of van een 'rond' kristal. Whiskerkristallen zijn meestal exact rechthoekig en niet getordeerd. De malachietspiralen daarentegen zijn bundels van duizenden enkele vezels; hier is dus de *gehele bundel* schroefvormig verwrongen; dat heeft met de eigenlijke spiraalgroei niets te maken.

Enkele auteurs hebben het zinkgehalte van de malachietspiralen en -krullen als mogelijke oorzaak voor de ongebruikelijke groei aangevoerd. Meixner & Paar (1975) gaven een zinkgehalte van 5,0 % op en, als element berekend, 3,3 %. Brandstätter & Seemann (1984) van 2,7 %. Toch wijst niets erop dat de kromming van de vezelbundels van hun zinkgehalte afhangt. Overigens zijn, hoewel malachiet wereldwijd veel voorkomt, verder van geen enkele vindplaats spiralen en krullen bekend, hoewel vermoedelijk elke malachiet behalve koper ook nog andere zware metalen bevat. De inbouw van zink in het kristalrooster is zonder problemen mogelijk, omdat de ionenradii bijna gelijk zijn. Er zijn vrijwel alle overgangen van zinkvrije malachiet naar isomorfe rosasiet met (in het ideale geval) 20,6 % zink mogelijk, zonder dat zich daardoor spiralen of krullen ontwikkelen.

Mogelijke oorzaken voor de verkromping van de vezelbundels zouden mechanische invloeden, zoals verbuigingen onder het eigen gewicht kunnen zijn. Een verschillende groeisnelheid van de afzonderlijke vezels of van gedeelten van de bundels zou daarmee gepaard kunnen gaan. Brandstätter & Seemann (1984) hebben hier wellicht een waarschijnlijke oorzaak beschreven. Maar hoe ontstonden de ringvormige krullen? Een bevredigend antwoord is er – nog – niet. De REM-foto's 13 D en 13 E tonen voorbeelden van malachietringen die zowel uit dikke vezelbundels als uit enkele vezels bestaan. Als men het begin of het eind van ringvormig opgerolde vezels (spanen, draden, banden, papier, enz.) uit de rol trekt, of als de windingen zich zelfstandig uit het verband losmaken, dan ontstaat direct een spiraal (REM-foto 13 F). Welke windingsrichting deze krijgt hangt af van de richting waarin de vezels uit de rol worden getrokken en worden uitgerekt.

Samenvattend kan het volgende worden gezegd. De malachietkrullen die voor deze waarnemingen ter beschikking stonden bestaan uit bundels van zeer talrijke, fijne kristalvezels, die vanuit malachietkristalletjes zijn verder gegroeid. Ze groeiden veelal op kwarts, dolomiet, calciëet, enz. Er zijn geen contacten met andere kopermineralen onder hun 'voet' in de matrix. Het gaat dus *niet* om uitbloeiingen uit koperertsen, maar om een kristalgroei uit oplossing. Hun verkromping, dus de vorming van de



Afb. 13. REM-opnamen van malachiet-krullen en -spiraal van de Silberberg bij Brixlegg, Tirol, Oostenrijk.

A. Aangroeivlak van een krul; vergr. 160 x; beeldbreedte bijna 1 mm.

B. Kwarts-kristal met verscheidene opgegroeide malachiet-vezelbundels; vergr. 65 x; beeldbreedte 2,3 mm.

C. Vergroting van een krul; vezeldoorsnee ca. 0,5 mm (= 0,0005 mm); vergr. 2000 x; beeldbreedte 0,07 mm.

D. Ringvormige krullen; vergroting 60 x; beeldbreedte 2,5 mm.

E. Malachiet-vezels in spiraalvormige groei; hoogte bijna 1 mm; vergroting 130 x.

F. Spiraal; vergroting 175 x; beeldbreedte 0,75 mm.

Verdere verklaringen in de tekst. Alle REM-foto's door R. Arnold.

of groeven met vocht in aanraking en hydrateren daardoor.

De laatste jaren werden op mineraalbeurzen talrijke handstukken met gipskrullen uit het gebied van Bou Beker bij Oujda in de buurt van Touisit / Marokko aangeboden (afb. 14). Ze worden tot 25 cm lang bij een dikte van enige centimeters en zijn uit anhydriet van de matrix afkomstig, toen deze met water of vocht reageerde. Marokko is niet het enige voorkomen van de vaak curieuze vormen. Ook in Duitse zoutafzettingen werden deze 'uitbloeiingen' gevonden. Bijzonder mooie exemplaren kwamen van Naica in de staat Chihuahua, Mexico.

De meeste krullen hebben in de lengterichting opvallende groeven. Ze glanzen en laten bij geschikte belichting kleine, spiegelende vlakken zien. De kromming kan heel verschillend in sterkte zijn; zelfs aan een en hetzelfde stuk zitten kleine en grotere krommingsradia. Vaak is het 'eind' van de krul – dat in werkelijkheid het begin van de groei is – duidelijk sterker gebogen.

krullen, zou door mechanische weerstand tijdens de groei veroorzaakt kunnen zijn. Ook verbuigingen onder het eigen gewicht zijn denkbaar.

Gips

Bij **gips** treedt de vorming van krullen verreweg het meest op. Het is algemeen bekend, dat de zoutpijlers in Noord- en Midden-Duitsland door invloeden van water zijn veranderd. O.a. ging anhydriet door opname van water in gips over. Daarbij werd het volume ongeveer 60 % groter en ontstonden er koepelvormige opwelvingen. Daarvoor bestaan wereldwijd voorbeelden. Sporadisch en in betrekkelijk kleine hoeveelheden komen anhydriet-inschakelingen aan het aardoppervlak of in hopen, steengangen

Zoals men onder de loep waarneemt wordt iedere krul uit talloze gipskristalletjes opgebouwd. Deze zijn tussen de 0,25 en 1 mm lang. Ze zijn met hun hoofdas ongeveer in de groeirichting van de krul geïoriënteerd en ieder is volgens de kromming een beetje ten opzichte van elkaar verschoven (afb. 15). De kristalletjes kleven weliswaar goed aan elkaar, maar toch splijten de krullen gemakkelijk parallel aan de contactvlakken, de zijdelingse pinaoïde {010}.

De vorming van gipskristalletjes gebeurt aanvankelijk aan het grensvlak van de matrix en vochtige lucht of water. Omdat in het inwendige van de anhydriet geen plaats voor nieuwvorming bestaat, groeien de kristallen naar buiten. Steeds meer vocht dringt de anhydriet binnen en het nieuw gevormde gips, dat



Afb. 14a. Gips-krullen van Bou Beker bij Oujda in de omgeving van Touissit, N-Marokko; lengte van de basis van het handstuk 10 cm.

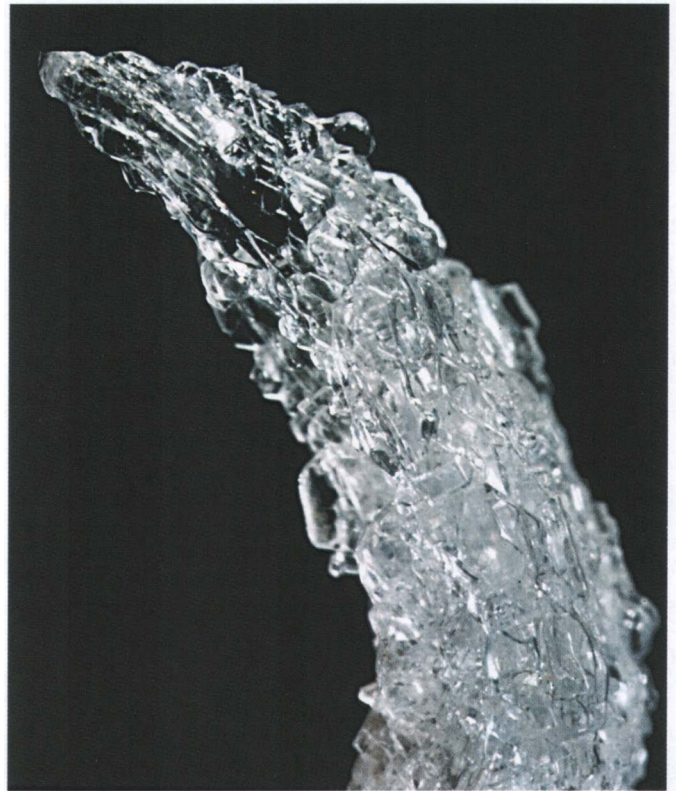
aanzienlijke volumevermeerdering heeft ondergaan, drukt op de aanwezige zwakke plek van de eerste vorming naar boven. Door ongelijke stoftoevoer groeit de uitbloeiing vooral aan de randen met verschillende snelheid. Dit leidt tot een kromming van de krul. Het kan zelfs gebeuren dat deze zich in twee of meer groeirichtingen opsplijt en in verschillende richtingen kromt (afb. 14a).



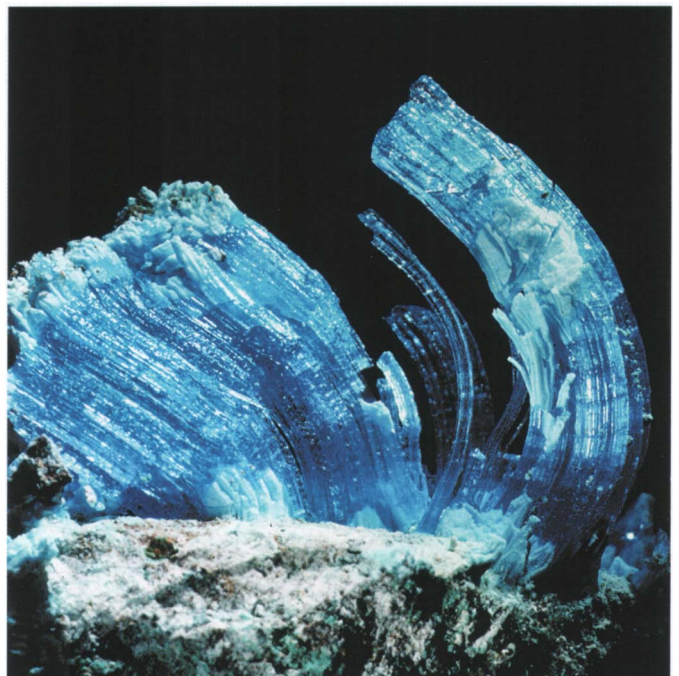
Afb. 14b. Gips-krul met complete winding, van Bou Beker; beeldbreedte 3 cm.

Terwijl bij de gipskristallen alleen door hydratatie (binding door water) van de anhydriet krulvormige uitbloeiingen ontstaan, worden veel andere sulfaten gevormd door een gecombineerde oxidatie van primaire sulfiden, tegelijk met binding van water. Zo ontstaan **chalcantiet**-krullen (afb. 16) uit koperhoudende ertsen zoals chalcosien (koperglans), chalcopyriet (koperkies) of

borniet (bontkoperkies). In het geval dat vitriolen ontstaan (chalcantiet = kopervitriool; melanteriet = ijzervitriool) wordt veel water gebonden. Zoals uit een rekensom blijkt, hebben de hoeveelheden chalcantiet en melanteriet, die maximaal uit bv. chalcopyriet kunnen ontstaan, het zesvoudige volume van het oorspronkelijke erts. Dat veroorzaakt een aanzienlijke kristallisatie-druk, waardoor de nieuwvorming als uitbloeiing uit de matrix naar buiten wordt gedrukt. Iedere verzamelaar weet dat markasiet, bijwijlen ook pyriet, maar in de eerste plaats de cryptokristallijne 'melnikovietpyriet' – het



Afb. 15. Punt van een gips-krul; vergroting ca. 35 x; beeldbreedte 4,7 mm; lengte van de afzonderlijke kristalletjes 0,25 tot 1 mm.



Afb. 16. Chalcantiet-uitbloeiing van de Planet kopermijn in de noordelijke La Paz County, W-Arizona; beeldhoogte 3 cm.



Afb. 17. Uitbloeiingen uit melnikoviet-pyriet van de Grube Segen Gottes bij Wiesloch, Baden; beeldbreedte 1,5 cm.

uit gelvormig FeS_2 afkomstige vaste materiaal – geneigd zijn om aan vochtige lucht meer of minder snel uit te bloeien (afb. 17). Daarbij gaat het om verschillende waterrijke ijzersulfaten als ferohexahydriet, halotrichiet (afb. 18), melanteriet, sideronatriet. Zij komen voor als witte, soms zachtgroene, ook wel gelige haren met zijdeglans, die bij daarvoor gunstige omstandigheden al binnen enkele weken tot verscheidene centimeters lang uit de matrix naar buiten groeien (Kohlschütter 1932). Ieder haar is een eenkristal, maar kristalvlakken zijn meestal niet te onderscheiden. Voor de omzetting van pyriet of markasiet in halotrichiet wordt een theoretische volumetoename van 17 maal berekend! Dat verklaart ook waarom sulfatische uitbloeiingen zo betrekkelijk snel uit de genoemde instabiele sulfiden ontstaan.

Deze korte beschrijving van curieuze vormen wijst niet alleen op de veelsoortige vormingsmogelijkheden van veel mineralen,



Afb. 18. Halotrichiet-uitbloeiingen van de Golden Queen Mine, Mohave County, California; hoogte van het handstuk 5 cm.

maar stelt tevens vele tot nog toe onbeantwoorde vragen aan de orde.

Alle foto's, behalve de REM-afbeeldingen, door W. Lieber.

Dr. Werner Lieber, Baden-Badener-Strasse 3, 69126 Heidelberg

Deze bijdrage werd, met veel dank, overgenomen uit *Der Aufschluss* 55, pag. 3-16, jan/feb 2004.

Literatuur

- BANCROFT, P., NORDRUM, F. S. & LYCKBERG, P. (2001): Kongsberg revisited. *Min. Record* 32, Nr. 3, mei-juni, p. 181-205.
- BEUTELL, A. (1919): Wachstumserscheinungen des Kupfers, Silbers und Goldes. *Centralbl. f. Min.* 14, p. 14-28.
- BIDEAUX, R. A. (1970): Mineral rings and cylinders. *Min. Record* 1, Nr. 3, p. 105-112.
- BISCHOF, G. (1843): Einige Bemerkungen über die Bildung der Gangmassen. *Annalen der Physik u. Chemie = POGGENDORFFS Annalen* 60, p. 285-297.
- BRANDSTÄTTER, F. & SEEMANN, R. (1983): 'Malachit-Excentriques' auf Kupfervererzungen in paläozoischen Gesteinsserien Kärntens und Tirols. *Ann. Naturhist. Museums Wien*, 85 A, p. 85-92.
- BRANDSTÄTTER, F. & SEEMANN, R. (1984): Die Malachit-Spirale von Schwaz, Tirol. *Magma* Nr. 3, mei-juni, p. 52-53.
- GHIURCA, V. (1985): Aus der Welt der runden Jamesonit-Kristalle von Baia Mare, Rumänien. *Aufschluss* 36, p. 145-150.
- HANSON, S. L., FALSTER, A. U. & SIMMONS, W. B. (1992): Jamesonite and Boulangerite rings from Madoc, Ontario. *Rocks & Minerals* 67, Nr. 2, p. 113/114; voordracht bij het 18de Rochester Mineralogical Symposium.
- JAHN, S. (1997): Neue Malachite in Spiral- und Lockenform vom Bergbau Schwaz-Brixlegg, Tirol. *Mineralien-Welt* 8, Heft 6, p. 20-26.
- JOHNSON, O. (1987): Silber aus Kongsberg. *Emser Hefte* 8, Nr. 2, april-juni, p. 2-48, vooral p. 24/25.
- KEIL, A. & MEYER, C.-L. (1960): Kristallwachstum bei Schwefeleinwirkung auf Silber und beim Zerfall von Silbersulfid. *Z. Metallkunde* 51, p. 253-255.
- KOHLSCHÜTTER, V. & EYDMANN, F. (1912): Über Bildungsformen des Silbers. Teil II. *Liebigs Annalen d. Chemie* 390, p. 340-364, vooral p. 348.
- KOHLSCHÜTTER, H. W. (1932): Über Kristallfäden und faserige Aggregatformen. *Kolloid-Zeitschr.* 61, p. 270-280, vooral p. 273 en 277.
- LIEBER, W. & RICHARTZ, W. (1980): Runde Kristalle im Mineralreich. *Aufschluss* 31, p. 511-525.
- LIEBER, W. (1998): Über die Entstehung von gediegenem Kupfer im Mineralreich. *Aufschluss* 49, Nr. 6, p. 345-357.
- MARTINEK, K.-P. (1995): Neu gebildetes Silber. *Extra Lapis* Nr. 8, p. 12-7.
- MÜGGE, O. (1913): Zur Kenntnis haarförmiger Kristalle. *N.Jahrb. Min., Geol. und Paläontol.* II. Band, p. 1-16.
- MÜNSTER, E. B. (1876): Om hyttenproduktet sten. *Archiv for Mathematik og Naturv., Kristiana/Norwegen*, deel 1, p. 330-334.
- MEIXNER, H. & PAAR, W. (1975): Neuere Untersuchungen am 'Lockenmineral' von Brixlegg/Tirol. *Der Karinthin* 1975, p. 175-181.
- NIEDERMAYR, L. (1994): *Lapis* 19, Nr. 7/8, p. 40.
- OPIFICIUS, L. (1888): Die Darstellung von gediegenem Silber (Haarsilber) auf künstlichem Wege. *Chemiker Zeitung* XII, Nr. 39, 13 mei.
- RAMDOHR, P. (1960 en 1975): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. 3^e dr., p. 441 en 4^e dr. p. 509. Akademie-Verlag, Berlin.
- SEEMANN, R. (1989): *Emser Hefte* Nr. 3, p. 51.
- VEEN, R. W. VAN DER (1925): *Mineragraphy and ore-deposition*. Vol. I, uitg. G. Naeff, Den Haag, Holland, 1925. 165 p., vooral p. 90-95.
- VOGT, J. H. L. (1899): Über die Bildung des gediegenen Silbers. *Z.prakt. Geol.* 7, p. 113-123.
- YARDLEY, B. (1996): Earthquakes with gold linings. *Nature* 382, p. 210-211.