

Inhoud:

Dendrieten.....	37	Mineralendeterminatie per computer	58
Stenen met sterren en ogen	46	Het Ei van Columbus	59
Fossielen op postzegels II	51	Vragen staat vrij	60
Geologie voor iedereen:		10 jaar lang	naast pag. 60
Fossielen verzamelen II	55		

DENDRIETEN

door L.M.J.U. van Straaten *)

"Meneer, ik heb plantenfossielen gevonden!", aldus een op excursie veel gehoorde uitroep. Tot teleurstelling van de fossielenzoeker of -zoekster blijken het dan in veel gevallen geen resten of afdrukken uit de plantenwereld van het verleden te zijn, maar anorganisch gevormde, vertakte afzettingen van mangaanoxijde, zgn. dendrieten (van het Grieks: dendron = boom). Een teleurstelling hoeven zulke vondsten overigens niet te zijn: in esthetisch opzicht winnen dendrieten het vaak van plantenfossielen, en hun vormingswijze is niet minder interessant.

Niet alle dendrietische afzettingen bestaan uit mangaanoxijde. Er zijn er ook van ijzerhydroxyde, van silikatische mineralen enz. In het algemeen kan men dendrieten definiëren als: veelvuldig en systematisch vertakte uitscheidingen van vaste stof. Daarbij zijn dan al dadelijk twee categorieën te onderscheiden:

"kristaldendrieten", eigenlijk niet anders dan vertakte kristallen, en dendrieten waarbij de vertakte vormen niets te maken hebben met kristalbouw. Tot de laatsten horen de bovengenoemde mangaanoxijde-dendrieten.

Kristaldendrieten

Fraaie voorbeelden van kristaldendrieten kunnen we in de winter tegenkomen: sneeuwkrystalletjes, in de lucht ontstaan door de directe overgang van waterdamp in de "vaste fase" (ijs), vertonen vaak platte, meer of minder sterachtige vormen. Wanneer het in de lagere luchtlagen dooit, ondergaan deze krystalletjes bij het vallen gedeeltelijke opsmelting en plakken ze aan elkaar tot grote vlokken. Bij (streng) vorst kan men echter de 6-stralige sterretjes in hun oorspronkelijke gedaante zien neerkomen. De takjes (stralen) maken onderling hoeken van 60°, in overeenstemming met de hexagonale kristalstructuur van ijs. Ook rijpkristallen, voorzover gevormd door directe kristallisatie van waterdamp (dus geen "ruwe" rijp) zijn soms dendrietisch vertakt. De mooiste voorbeelden van ijsdendrieten zijn wel ijsbloemen op vensterruiten, met hun sierlijk gebogen verenbouw.

Ook in het chemisch laboratorium en in de techniek zijn kristaldendrieten een algemeen bekend verschijnsel. Zo hebben metaalaggregaten, gevormd door stolling van smelten, dikwijls duidelijk dendrietische structuren. In de gesteenten van de aardkorst zijn kristaldendrieten relatief zeldzaam. We kennen ze voornamelijk van koper, zilver, goud en bismut (zie bv. Gea, maart 1982, p. 5 en juni 1987, omslagfoto) en ook, op microscopische schaal, van magnetiet en van sommige silikaatmineralen in vulkanisch glas. Koper, zilver en goud, die kristalliseren in het kubische stelsel, vertonen, zoals te verwachten, aftakkingshoeken van 90°, maar ook, als gevolg van tweelingbouw, van 60°.

Kristaldendrieten zullen aan het eind van dit artikel nog even ter sprake komen. Het hier volgende is in de eerste plaats bedoeld om iets mee te delen over:

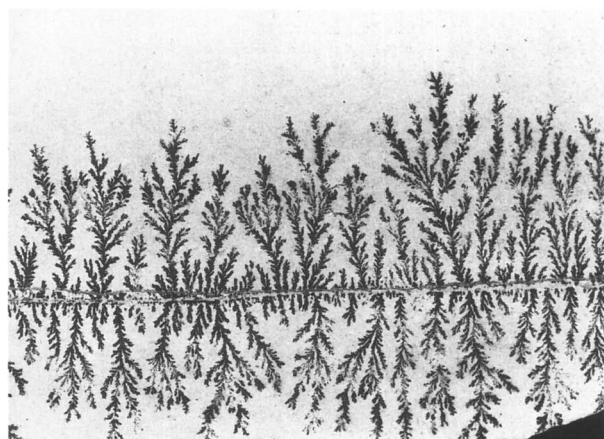
Aggregaatdendrieten

In tegenstelling tot kristaldendrieten zijn die van de andere categorie in de gesteenten, althans voorzover men die op het land, bij de aardoppervlakte aantreft, rijkelijk vertegenwoordigd. Het gaat daarbij in hoofdzaak om twee soorten ¹⁾: de reeds vermelde mangaanoxijde-dendrieten, hier verder kortweg **Mn-dendrieten** genoemd, en dendrieten van ijzerhydroxyden (vooral goethiet, FeO(OH)), die als **Fe-dendrieten** zullen worden aangeduid (waarbij uiteraard niet gedacht moet worden aan vrij ijzer, dat als grote zeldzaamheid in sommige bazalten wordt gevonden).

De Mn-dendrieten zijn gewoonlijk pekwart; alleen in zeer dunne vorm zijn ze doorschijnend zwartachtig bruin. De Fe-dendrieten vertonen allerlei mengtinten van bruin, oranje en geel. De twee soorten verschillen niet alleen in kleur, maar ook in gedaante (zie afb. 1 en 2 en de voorplaat). De takjes van ijzerdendrieten zijn meestal breder en grover dan die van mangaandendrieten ²⁾; bovendien zijn ze langs de buitenzijde van de takjes meestal sterker gekleurd dan binnenin.

Microscopisch onderzoek en röntgendiffractie tonen aan dat beide soorten precipitaten amorf zijn, of hoogstens

Afb. 1. Laagvlak met dwarsdoorsnede van diaklaas. Van de diaklaas uit zijn naar beide kanten Mn-dendrieten gegroeid. Z van Solnhofen. Afmetingen: 58x43 mm.



cryptokristallijn, d.w.z. dat het aggregaten zijn van colloïdale partikels of van ultra-kleine kristalletjes. De vertakkingsrichtingen kunnen bij deze "aggregaatdendrieten" dus niet beïnvloed zijn door kristalstructuur. Inderdaad zijn de hoekjes die de takjes bij hun afsplitsing met elkaar maken geheel variabel. Wel liggen ze bijna altijd tussen 30° en 70°, en meestal zelfs tussen 35° en 55°.

Hoe zijn nu deze aggregaatdendrieten ontstaan? Voordat daarover iets gezegd kan worden is het nodig dieper in te gaan op hun eigenschappen en hun verbreiding in de verschillende gesteenten.

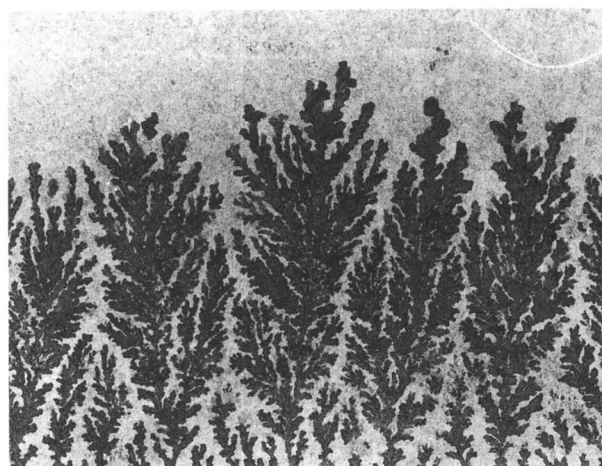
Verbreiding

Mn-dendrieten worden in of op allerlei gesteenten en mineraalvormingen aangetroffen: kalksteen, dolomiet, zandsteen, graniet, vuursteen, chalcedoon, opaal, veldspaat, kwarts, bariet enz., maar ze zijn het algemeenst in kalken en dolomieten. Fe-dendrieten zijn minder algemeen en lijken in hoofdzaak beperkt te zijn tot kalkige en dolomietische gesteenten. De formatie met de mooiste dendrieten en de grootste verscheidenheid van typen in West-Europa is waarschijnlijk de Solnhofen-kalksteen in Zuid-Duitsland. Deze Bovenjurassische kalksteen is vooral bekend geworden door de bijzondere, vaak tot in de fijnste details "afgedrukte" fossielen die er in gevonden zijn, o.a. die van de oervogel *Archaeopteryx*. Dat de dendrieten in deze formatie zo fraai ontwikkeld zijn hangt ten dele samen met de platheid van de laagvlakken (dat zijn de scheidingsvlakken tussen opeenvolgende lagen)³⁾. Deze platheid is het gevolg van de speciale wijze van afzetting, uit "troebelingsstromen", en van de afwezigheid, in de oorspronkelijke zeebekkens, van bodemfauna (zie Van Straaten, 1971)⁴⁾. Gezien de rijkdom aan dendrietvormingen leek het de schrijver van dit artikel goed, een onderzoek naar de ontstaanswijze van dendrieten te beginnen met die in de Solnhofen-kalksteen. Voorzover niet anders aangegeven berust al het hier besprokene op de situatie in deze formatie.

Herkomst van het Fe en het Mn

Een belangrijk punt is de oorsprong van het dendrietmateriaal, in het bijzonder van het Fe en het Mn. Men kan zich voorstellen dat deze metalen afkomstig zijn uit het gesteente zelf, en dat de dendrieten gevormd zijn door plaatselijke concentratie daarvan. Uit chemische analyses blijkt evenwel, dat de Solnhofen-kalksteen in het algemeen uiterst arm is aan ijzer en nog veel armer aan mangaan. Onder de kalkstenen, die doorgaans toch al niet bijzonder rijk zijn aan deze stoffen, is de Solnhofen-kalksteen in dit opzicht wel een van de

Afb. 2. Laagvlak met Fe-dendrieten: "uitschakeling van onderbegroeiing". Birkhof, bij Eichstätt. 63x47 mm.



allerarmste. Een toevoer van elders lijkt daarom aannemelijker (ofschoon niet bewezen). Naar een bron van deze metalen hoeft men trouwens niet ver te zoeken: de formatie wordt bedekt door ijzer- en mangaanrijke verweringslemen, voornamelijk gevormd in het Krijt en het Tertiair, terwijl er hier en daar ook riviergrind op ligt, waarin plaatselijk ijzer- en mangaan-concentraties plegen voor te komen. De metalen zouden dan daaruit naar beneden moeten zijn gespoeld, via de dwars op de gelaagdheid staande barsten: "**diaklazen**", en zo het gesteente binnen zijn gedrongen. Het transport zou dan in opgeloste toestand (mogelijk deels als zgn. chelaten) hebben plaats gevonden. De situatie van de dendrieten, die bijna steeds in en bij deze barsten beginnen, is daarmee in elk geval geheel in overeenstemming.

Situatie in het gesteente

De dendrieten blijken gebonden te zijn aan discontinuïteitsvlakken, waarlangs de permeabiliteit (doorlatendheid) groter is dan in de rest van het gesteente. Dit zijn met name de genoemde diaklazen, en de laagvlakken. Door hun volgens deze discontinuïteitsvlakken gerichte groei zijn de uitscheidingen in principe slechts in twee dimensies



Afb. 3. Dwarsdoorsnede van gelaagde Solnhofen-kalksteen. Van Mn-dendrieten op laagvlakken (de horizontale zwarte streepjes) zijn kleine "interne" Mn-dendrietjes het gesteente ingegroeid. In dit geval had de groei iets meer in bovenwaartse dan in benedenwaartse richting plaats. Van Mn-plekjes op de zijkant van de karstholte links zijn ook interne Mn-dendrietjes naar binnen gedrongen. N van Eichstätt. 19x13 mm.

vertakt. Van Mn-dendrieten in barsten en op laagvlakken uitgaande, zijn er echter ook nog vaak kleine Mn-dendrietjes die dwars van deze vlakken af het gesteente binnendringen. Deze **"interne dendrieten"** zijn driedimensionaal vertakt. Door hun geringe afmetingen (meest niet langer dan 1 mm) vallen ze overigens meestal nauwelijks op⁵⁾, zie afb. 3.

Niet alleen bij deze zeer kleine interne dendrietjes, maar ook bij de grotere diaklaasdendrieten valt het op dat ze, waar ze vertikaal staan, even vaak naar boven als naar beneden gericht zijn. Blijkbaar speelt de zwaartekracht bij hun groei geen rol. Door studie van slijpplaatjes kan verder worden afgeleid dat diaklaas- en laagvlakdendrieten uitsluitend gevormd worden in niet-gapende barsten. Een voorwaarde voor dendrietvorming blijkt dus te zijn: een zeer geringe barstdiameter, vermoedelijk niet meer dan (gemiddeld) enkele μm ($1 \mu\text{m}$ = een duizendste millimeter). Daardoor steken, op de meeste kalksteenplaten die uit de laagsuccessie zijn losgemaakt, de dendrietafzettingen (behoudens enkele uitzonderingen, zie hieronder) niet buiten het oppervlak uit. Daarentegen is het dendrietmateriaal wel steeds duidelijk een eindje het gesteente binnengedrongen (dus afgezien van de plaatselijk op de dendriettakken ontstane interne dendrietjes). Bij Mn-dendrieten bedraagt deze penetratie vaak zo'n 10 à 30 μm , bij Fe-dendrieten zelfs wel tot ruim 0,5 mm.

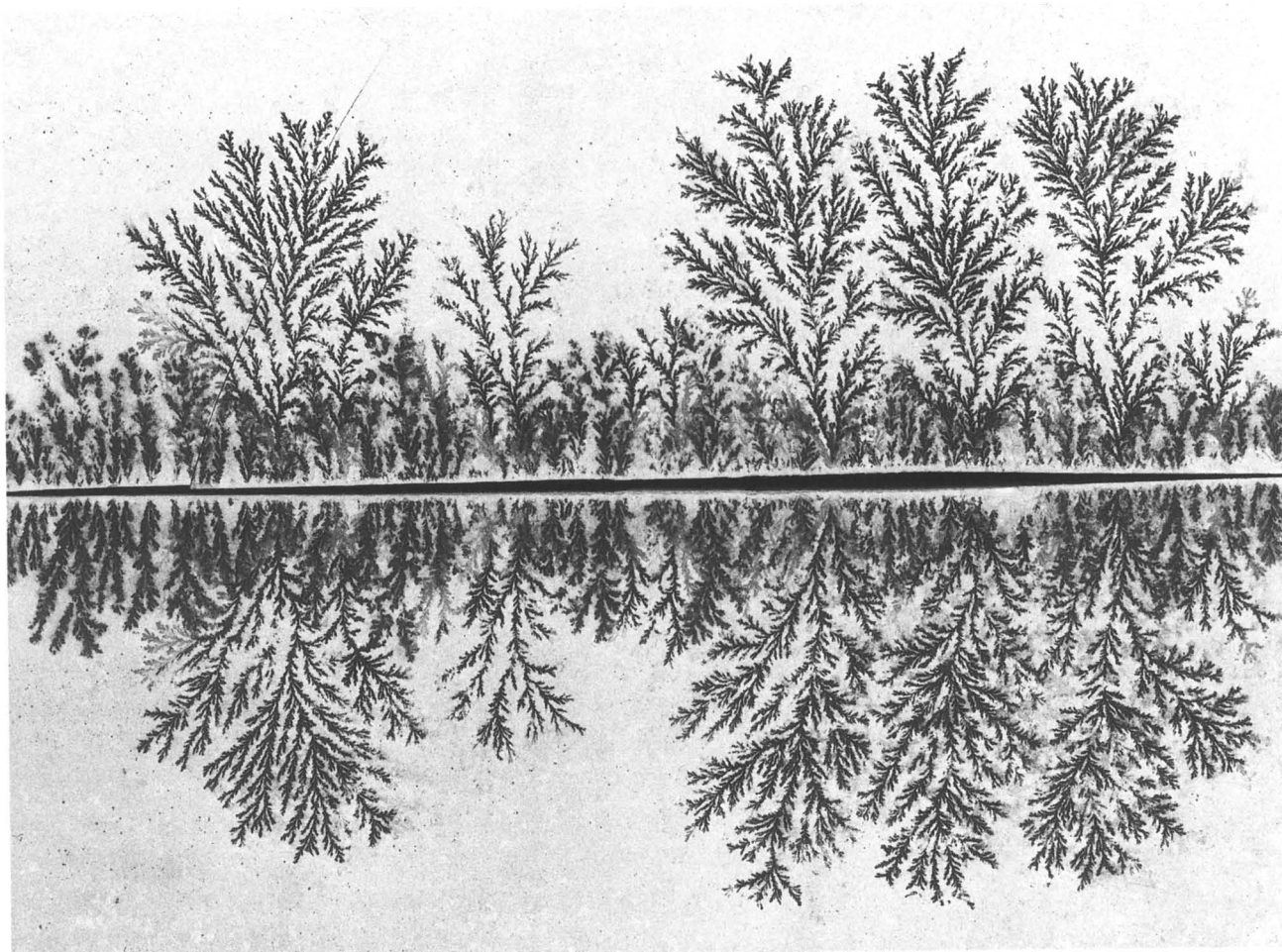
Voorzover is na te gaan is dit binnendringen van het mangaan- en het ijzermateriaal niet zozeer het resultaat van oplossing van de in de weg staande kalk, als wel van uitscheiding in de poriën tussen de calcietkristalletjes van het gesteente. Deze poriën zijn slechts enkele μm breed. Door de sterke kleuring van het mangaanoxyde en (in

mindere mate) het ijzerhydroxyde, en door de doorzichtigheid van de kleine kristalletjes lijkt het of de dendrieten mineralogisch zuivere precipitaten zijn, maar in werkelijkheid zijn het dus vertakte stelsels van door Mn- en Fe-verbindingen gecementeerde kalk.

Doordat de binnendringing van het discontinuïteitsvlak uit in beide richtingen plaats heeft resulteert vaneenspleijting van lagen in dendrietvormen die nauwkeurig elkaars spiegelbeeld zijn (zie afb. 4).

Doorgaans is op het grensvlak tussen twee kalklagen enig verspreid kleimateriaal aanwezig. Meestal gaat het daarbij om zeer kleine hoeveelheden (die niettemin chemisch aantoonbaar zijn), maar soms is er sprake van een aaneengesloten laagje (kleinrijke) mergel, waarvan de dikte kan variëren van enkele tot verscheidene mm. Waar nu dendrieten gevormd worden op het grensvlak van een kalklaag en zo'n mergelig laagje, kan, na losbreken van het gesteente, het in de mergel binnengedrongen deel van de dendriet vast blijven zitten aan de kalklaag, terwijl de rest van de mergel van de kalklaag loslaat. In dergelijke gevallen ziet men dendrieten die wel als verhevenheden op het gesteente-oppervlak liggen.

Het meest verbreide type laagvlakdendriet is het **"boompjes-type"**, waarbij een duidelijke hoofdgroeirichting ontwikkeld is. De boompjes beginnen in de meeste gevallen op de "randen" van laagvlakken, waar deze door diaklazen doorsneden worden (bv. afb. 1). Van de barsten uit groeien de boompjesdendrieten naar beide kanten, waarbij de hoofdgroeirichting steeds ongeveer loodrecht op de barst staat. Waar de plaatranden (barsten) gebogen zijn waaiert de



Afb. 4. Geen foto van een met bomen begroeide oever van een spiegelende plas, maar een vergroting van het positief en negatief van Mn-dendrieten (zwart) en Fe-

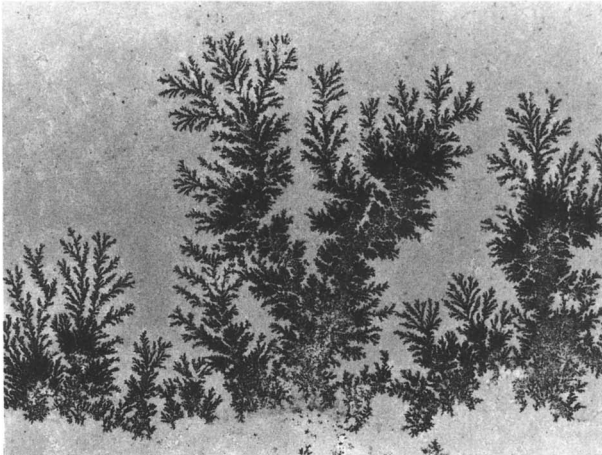
dendrieten (op de foto grijs en meer diffuus). Een smal strookje langs de diaklaasrand is door secundaire oplossing wit gekleurd. N van Eichstätt.

boompjesdendrieten uiteen (bij concave bochten), of zijn ze juist centripetaal gericht (bij convexe krommingen). Hetzelfde vindt men waar de kalksteenlagen worden afgesneden door oplossingsholten (karstpijpen e.d.), zie afb. 5, althans voorzover de dendrieten gevormd zijn na de vorming van de karstholte (ook het omgekeerde komt voor). Waar een barst in een laagvlak eindigt draait de groeirichting 180° rond.

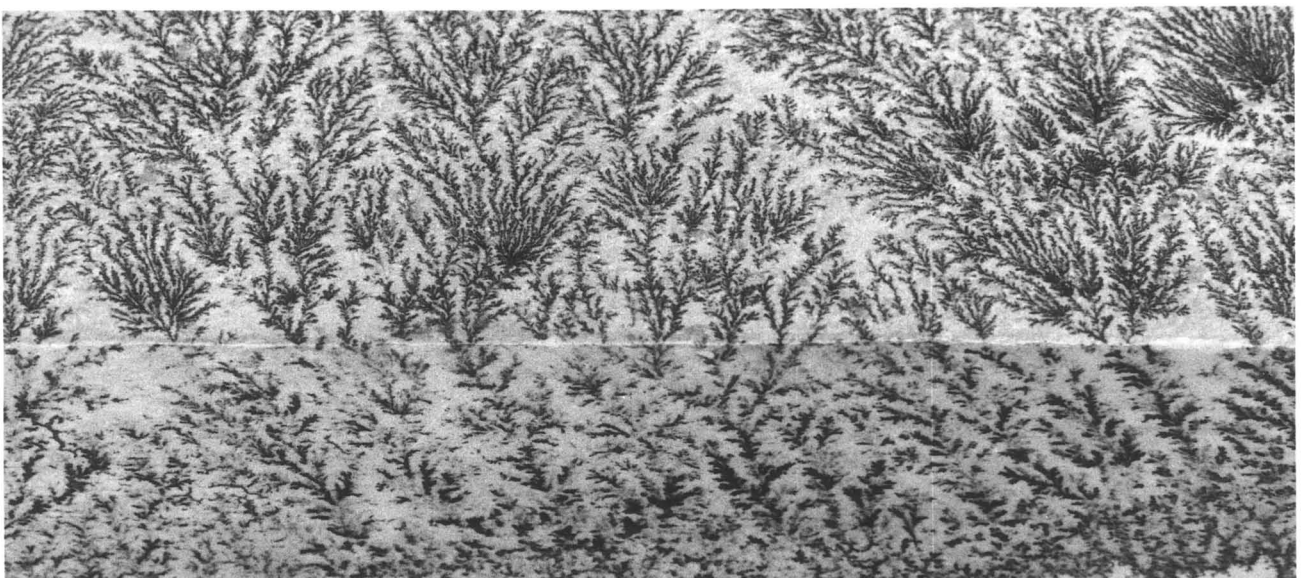
Behalve bij diaklazen en aan de rand van oplossingsholten vindt men dendrieten ook wel "midden" op laagvlakken, n.l. daar waar er barsten zijn ontstaan tengevolge van inhomogeniteiten, bv. fossielen, die de planparalleliteit van de lagen onderbreken en plaatselijk spanningen in de kalkplaten hebben teweeggebracht.

Het begin van dendrieten

Niet zelden is het mangaan of het ijzer van boompjesdendrieten in smalle stroken vlak langs de diaklaasrand weer secundair opgelost (bv. afb. 4, 5 en 6). De boompjes zijn dan als het ware aan hun basis afgeknot, niet als bij knotwilgen, waar de stammen overblijven, maar zo dat juist de beginstukken verdwenen zijn. Zulke oplossingsstroken zijn verder meestal gemarkeerd door een witte kleur: ook de diffuse, gele kleuring van de Solnhofen-kalksteen is daar verdwenen.

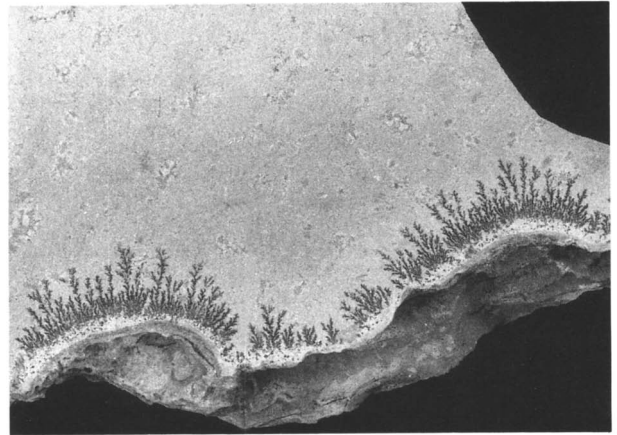


Afb. 6. Oplossing van dendrieten-mangaan langs diaklaas, en herafzetting verder van de diaklaas af, in de oorspronkelijke dendrieten. N van Eichstätt. 54x40 mm.



Afb. 7. Voortzetting (aftakking) van Mn-dendrieten op diaklaaswand (benedenzijde foto) als laagvlakdendrieten.

Afb. 5. Mn-dendrieten op laagvlak, afgezet na vorming van een oplossingsholte. De hoofdgroeirichting der dendrieten staat overal loodrecht op de gebogen randen van de holte. Naderhand is in een smalle strook aan de buitenkant het dendrietenneerslag weer opgelost. Z van Solnhofen. 77x58 mm.



Waar **niet** zulke secundaire oplossing heeft plaats gehad blijken de laagvlakdendrieten "geënt" te zijn op takjes van diaklaasdendrieten⁶⁾ (afb. 7), of op kleine of grotere plekjes van mangaan- of ijzer(hydr)oxyden op de diaklaaswanden. Andere laagvlakken zijn bij hun randen geheel vrij van dendrieten. Bij nader onderzoek blijkt dan dat er op de diaklaaswanden geen beginuitscheidingen zijn die als aanhechtingspunt voor dendrietgroei hebben kunnen dienen. Een tweede conclusie is dus, dat dendrieten relatief gemakkelijk ontstaan door aanbouw van materiaal op reeds aanwezige afzettingen, maar dat de "eerste steen" waarop aanbouw mogelijk is, niet zo gemakkelijk gelegd wordt. Toch ziet men af en toe laagvlakken, waarop, geheel los van barsten, spontaan nieuwe kiemen gevormd zijn; hierbij worden dan doorgaans meteen hele zwermen tegelijk geproduceerd. Om deze kiemen ontstaan aanvankelijk kleine sterretjes: "**sterdendrieten**" (afb. 8). Bij verdere groei kunnen grotere, sterk vertakte, min of meer ronde dendrietneerslagen gevormd worden.

De groei van sterdendrieten is niet altijd het resultaat van spontane kiemvorming. Bij dunne kalkplaten kan het gebeuren, dat takjes van interne dendrieten die van het laagvlak aan de ene zijde naar binnen zijn gegroeid, op

N van Eichstätt. Breedte 70 mm.

het laagvlak aan de andere zijde te voorschijn komen, en daar als aangroei-centra voor laagvlakdendrieten gefungeerd hebben. Door hun geïsoleerde ligging werden dit dan sterddendrieten. Terwijl sterddendrieten op laagvlakken zeker geen algemeen verschijnsel zijn, komen zij wel betrekkelijk veel voor op diaklaaswanden. Van aanleg op uitredende takjes van interne dendrieten kan in hun geval natuurlijk meestal geen sprake zijn.

Dendrietgroei. Vorm en patroon van dendrieten

Het wordt wel eens verondersteld dat (boompjes)dendrieten gesteentespleten binnengroeien door capillaire opzuiging, min of meer als inkt in vloeipapier. De groei zou dan dus voortgaan zolang nieuw materiaal de spleet binnendringt, en de twee processen: binnendringing en groei zouden nagenoeg synchroon zijn. Een dergelijke gang van zaken is echter niet in overeenstemming met verschillende karakteristieke eigenschappen van dendrieten.

In de eerste plaats zijn, in tegenstelling tot de situatie bij bomen, de "stammen" van dendrieten nooit systematisch dikker, of beter: breder, dan hun takken. Treden verbredingen op, dan is dat bv. ergens halverwege, of zelfs aan de uiteinden van de takken. Bij een opvloeiings-genese zou men verwachten dat de breedten geleidelijk verminderen van het begin van de stam tot de uiteinden der takken, omdat in deze richting de duur van het afzettingsproces afneemt.

In de tweede plaats is niet in te zien waarom bij een dergelijke opvloeiing naburige takken, hetzij van dezelfde boompjes, hetzij van de boompjes ernaast, in principe nergens met elkaar in contact komen, laat staan dat zij elkaar kruisen: tussen de uiteinden van de takjes blijven altijd neerslagvrije stroken open. Dit geldt althans voor dendrieten van een en dezelfde soort. Mn-dendrieten groeien wel vaak dwars over (door) Fe-dendrieten heen, en omgekeerd: ze trekken zich van elkaars aanwezigheid dikwijls weinig of niets aan.

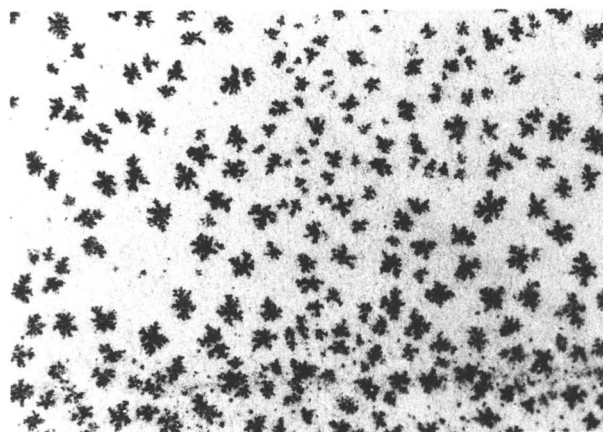
Ook waar dendriettakjes, die van verschillende barsten uitgaan, elkaar naderen respecteren ze als het ware elkaars grondgebied, en blijven er tenslotte smalle stroken "niemandslaan" over (afb. 9). Hetzelfde vindt men waar sterddendrieten uitgroeien tot ze vlak bij elkaar gekomen zijn: er vindt dan geen "versmelting" plaats, maar er ontstaat een soort mozaïek van polygonale dendrietcomplexen, dat gelijkenis vertoont met een door uitdroging gebarsten kleilaag (afb. 10).

Voor dit alles is slechts één verklaring mogelijk, n.l. dat laagvlakdendrieten groeien door stofftoevoer, die niet (direct) uit de diaklazen komt, maar (overwegend) uit tegenovergestelde richtingen. Het proces moet zich dan in twee fasen afspelen⁷⁾:

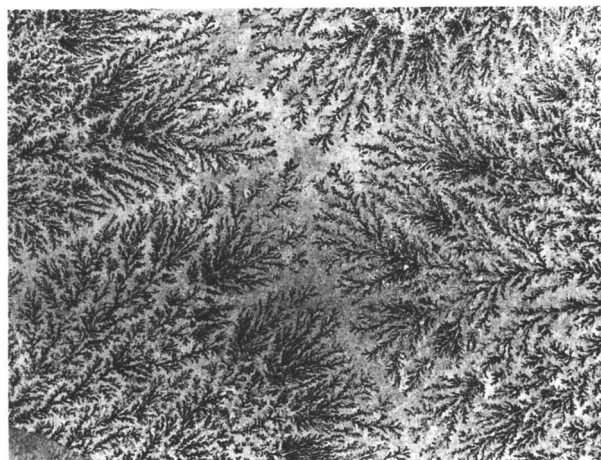
- het binnendringen van een oplossing tussen op elkaar liggende lagen, tot op een zekere afstand van de diaklazen, en
- het samentrekken (afzetten) van dit materiaal, eerst op kiemen op de randen van de laagvlakken (waar ze door de diaklazen worden doorsneden), en vervolgens op de aangroeiende uiteinden van de dendriettakjes (afb. 11).

Op deze wijze wordt niet alleen duidelijk waarom de dendrieten een constante takdikte vertonen (de afzettingsduur is overal ongeveer even lang), maar ook waarom de afsplitsingshoeken nooit meer dan 70° bedragen, en de groei steeds naar voren gericht is: groei in achterwaartse richtingen is (in normale gevallen) niet mogelijk omdat daar de moederoplossing al uitgeput is. Verder is het verschijnsel begrijpelijk dat men zou kunnen aanduiden als "de uitschakeling van onderbegroeiing" (zie afb. 1 en 2). Doordat de doorlatendheid van de laagvlakspelen van plaats tot plaats varieert zijn er altijd wel kleine verschillen in de snelheid waarmee het opgeloste materiaal zich verplaatst naar de groeiende uiteinden der dendrieten. Dendrieten die daardoor even iets langzamer groeien dan hun burens worden spoedig

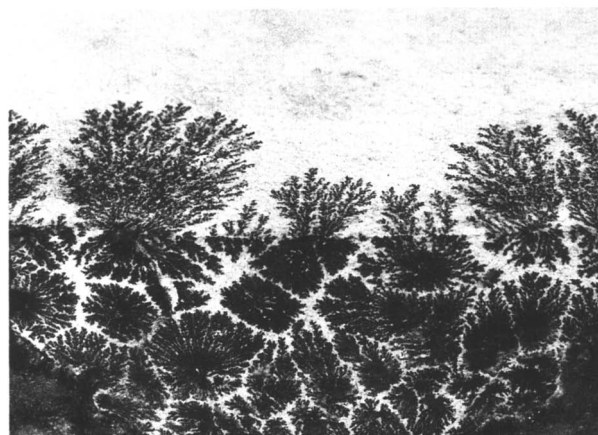
Afb. 8. Diaklaaswand met zwerm sterddendrietjes (Mn). Z van Pfalzpaint. 20x15 mm.



Afb. 9. Opeengebleven stroken tussen Mn-dendrieten op laagvlak. Haardt, bij Solnhofen. 95x71 mm.



Afb. 10. Mozaïek van Mn-sterddendrieten, waarop laagvlakdendrieten geënt zijn. Pfalzpaint. Afmeting van lijn tussen diaklaaswand (onder) en laagvlak (boven): 6,5 cm.



geheel afgesneden van verdere toevoer, doordat hun meer uit de kluiten gewassen burens het beschikbare materiaal wegvangen: een soort strijd om het bestaan, waarbij de sterkeren overblijven en de zwakkeren het loodje leggen. Tenslotte is ook de situatie bij kruisingen van barsten met

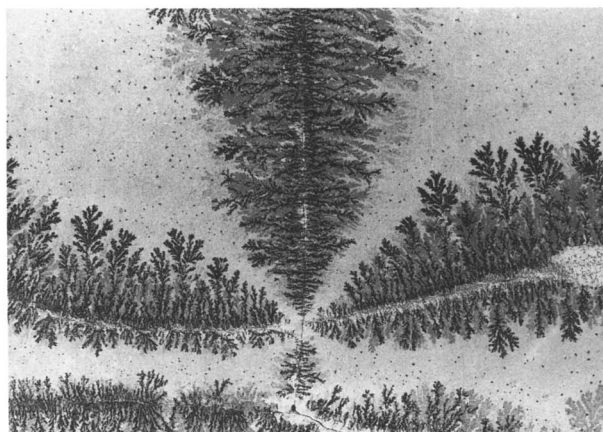
de bovenstaande verklaring in overeenstemming. Zou het Mn- of Fe-materiaal dat voor de dendrietgroei gebruikt wordt direct geleverd worden uit de diaklazen, dan zou bij de kruisingen zelf een versterkte dendrietprecipitatie moeten optreden, omdat het nieuwe materiaal daar uit twee dwars op elkaar staande richtingen wordt toegevoerd. In plaats daarvan ziet men juist een verminderde dendrietgroei, doordat het materiaal (dat van de andere kant komt) zich er over twee fronten moet verdelen (afb. 12).

Het verschijnsel der vertakking

Er is in het voorgaande al op gewezen dat zich in openstaande spleten in de Solnhofen-kalksteen geen dendrieten vormen, maar dat deze beperkt zijn tot discontinuïteitsvlakken waarlangs de samenhang van het gesteente gering is, of zelfs geheel verbroken, zonder dat echter uiteenschuiving is opgetreden: scheidingsvlakken tussen op elkaar liggende lagen die door de zwaartekracht op elkaar gedrukt blijven, en diaklazen voorzover het gesteente aan weerszijden nog geheel aan elkaar zit. Daaruit is af te leiden dat het al of niet ontstaan van dendrieten afhankelijk is van de vrijheid van diffusie van opgeloste stoffen in het gesteentewater (poriënwater). Waar diffusie gemakkelijk is, ontstaan onvertakte neerslagen; waar die door een geringe spleetwijdte bemoeilijkt is, worden dendrieten gevormd. Wanneer er nu in het aangroeiend gedeelte van een dendriet (bv. de top van de allereerste "stam", of het uiteinde van een takje) tengevolge van verschillen in doorlatendheid (over micro-afstanden) een kleine inham is ontstaan, zal zich bij de moeizame diffusie uiteraard het meeste materiaal afzetten op de vooruitstekende delen ter weerszijden van de inham, waardoor deze relatief dieper wordt. Daardoor wordt echter de kans dat deeltjes uit het zich terugtrekkende "front" van de oplossing (zie afb. 11) ook in het diepste deel terecht komen weer kleiner, enz. Na korte tijd komt de aangroei in de inham geheel tot stilstand en is een nieuwe vertakking ontstaan.

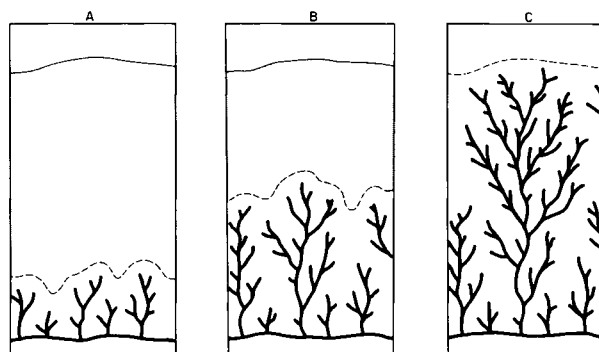
Duur van de dendrietvorming. Ouderdom van dendrieten

Om verschillende redenen mag men aannemen dat de (meeste) dendrieten in de Solnhofen-kalksteen gevormd zijn in de aanwezigheid van - in het poriënwater opgeloste - vrije zuurstof. Nu is echter de oplosbaarheid van mangaan en ijzer in O_2 -houdend water uiterst gering. Wel kunnen deze metalen gemakkelijker in oplossing gaan wanneer ze gebonden zijn aan (in) bepaalde



Afb. 12. Laagvlak met doorsneden van elkaar kruisende diaklazen. Van de diaklazen uitgaand hebben zich (zwarte) Mn- en (op foto grijze) Fe-dendrieten gevormd. N van Eichstätt. 70x53 mm.

Afb. 11. Schema groei laagvlakdendrieten, beginnend op diaklaasrand. Grijs: oplossing, A - C: achtereenvolgende stadia.



organische stoffen, afkomstig uit ontledende plantenresten, bv. als de reeds genoemde "chelaten". Ook dan echter is de totale hoeveelheid materiaal, die op een gegeven ogenblik uit het in de spleetopening en gesteenteporiën aanwezige water kan neerslaan, maar gering, zeker veel te gering om de precipitatie te verklaren van zware dendrietneerslagen als die van bv. afb. 13. Zulke neerslagen moeten wel het produkt zijn van talrijke opeenvolgende toevoerfasen. Overigens zullen vermoedelijk niet alleen deze extra zware precipitaten, maar ook de meeste andere dendrieten wel zo'n meergefasige ontwikkeling gehad hebben. Wel moet er dan meteen bij de eerste keer een vertakte dendrietvorm zijn aangelegd, die vervolgens bij latere toevoerfasen gehandhaafd bleef en versterkt werd, d.w.z. dat de takjes breder werden. Bij veelvuldige herhaling van het proces moeten daardoor kleine tussenruimten tussen de takjes zijn opgevuld, zodat de hele structuur grover werd.

Soms dringt bij een latere toevoer de oplossing dieper de laagvlak spleet in dan eerst, en ontstaan verlengstukken op de oorspronkelijke dendrieten. Het patroon daarvan kan geheel op dat van de eerstgevoerde aansluiten, of ook duidelijk ervan verschillen, zodat als het ware een soort etagebouw het resultaat is. Overigens ziet men ook wel dendrieten, of verlengstukjes van dendrieten, waarbij het bij één of hoogstens enkele uitscheidingsfasen is gebleven: zulke neerslagen hebben niet alleen een opvallend fijne structuur, maar zijn ook zeer licht van kleur (licht zwartachtig bruin bij Mn-dendrieten, lichtgeel bij Fe-dendrieten). Gezien het feit dat sommige dendrieten ontstaan zijn na de vorming van oplossingsholten in het gesteente (zie boven) lijkt het niet waarschijnlijk dat het precipitatieproces beperkt is geweest tot een periode uit het verre geologische verleden (al kunnen sommige karstholten natuurlijk al zeer oud zijn). Anderzijds hebben de omstandigheden die voor het proces van betekenis lijken te zijn - gesteentewater-circulatie (in verband met de naburigheid van rivierdalen), bedekking van de formatie door ijzer- en mangaanrijke leem- en grindafzettingen, en de aanwezigheid van een plantendeck - er al vele miljoenen jaren geheerst. De relatief korte ijsstijden in het Pleistoceen zullen mogelijk aan de dendrietvorming niet bijzonder veel hebben bijgedragen, gezien de lage temperaturen en de verarming van het plantenklee. Zo beschouwd lijkt het aannemelijk dat het dendrietvormingsproces al gedurende tenminste een groot deel van het Tertiair actief is geweest en dat er dus inderdaad een veelvuldig herhaalde (of geïntensiveerde) toevoer van Mn en Fe kan zijn opgetreden. Dat er behalve relatief jonge ook oudere dendrieten in de Solnhofen-formatie aanwezig zijn kan worden afgeleid uit die gevallen waar ze worden afgesneden door later gevormde karstholten, en waar ze blijken hun situatie al aanwezig waren voor de vorming

van bepaalde tektonische splijtvlakken.

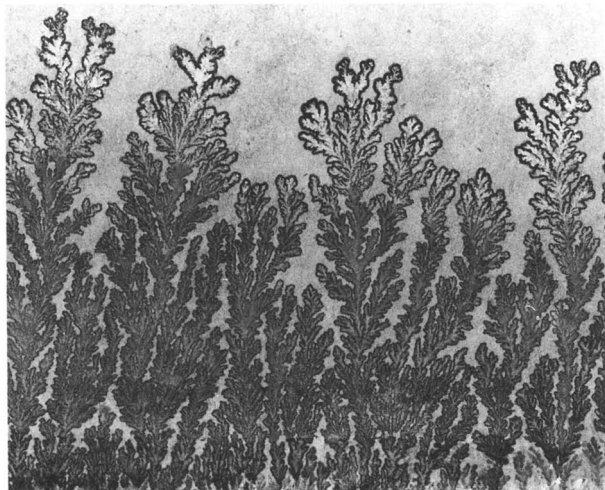
Complicaties bij de vorming van ijzerdendrieten

In tegenstelling tot de takjes van Mn-dendrieten vertonen die van Fe-dendrieten een heterogene opbouw, doordat de buitenranden sterker zijn gekleurd dan de binnengedeelten. Daar Fe-dendrieten verder wat betreft hun vertakkingshoeken, de voorwaartse groei, het afstand-bewaren tot buurdendrieten, het "uitschakelen van onderbegroeiing", hun ontwikkeling bij diaklaaskruisingen enz., geheel hetzelfde gedrag vertonen als Mn-dendrieten, moeten ook zij ontstaan zijn door uitscheiding van materiaal dat niet direct uit de diaklazen werd toegevoerd, maar dat afkomstig was uit oplossingen die al eerder waren binnengedrongen, op de wijze als aangegeven in afb. 11. Blijkbaar treedt er bij de Fe-dendrieten, na de concentratie van het Fe-materiaal tot dendrietische afzettingen, dan nog weer een herverdeling op, waarbij het ijzer in de dendriettakken naar de buitenzijde verplaatst wordt. Deze "centrifugale" verplaatsing kan zover doorgaan totdat tenslotte al het ijzer in de buitenranden der dendriettakken is geconcentreerd, en de middengedeelten geheel ijzervrij zijn: zelfs het in de Solnhofen-kalksteen meestal aanwezige diffuse gele pigment is daar dan verdwenen (zie afb. 14). Deze interne bleking is duidelijk het gevolg van zuurwerking: ook de kalk in de witte middengedeelten blijkt n.l. gedeeltelijk te zijn opgelost, waardoor het verband tussen de calcietskietalietjes losser is geworden en de korrels met een borsteltje zijn weg te vegen. De centrifugale verplaatsing is niet gebonden aan richtingen in het laagvlak, maar geschiedt ook, zij het uiteraard in mindere mate, naar boven en naar beneden, zodat vertikale doorsneden van Fe-dendrieten er uitzien als platgedrukte ringen.

Over de oorzaak van deze oplossing valt, bij gebrek aan kennis van het chemisme van de processen, nog niets definitiefs te zeggen.

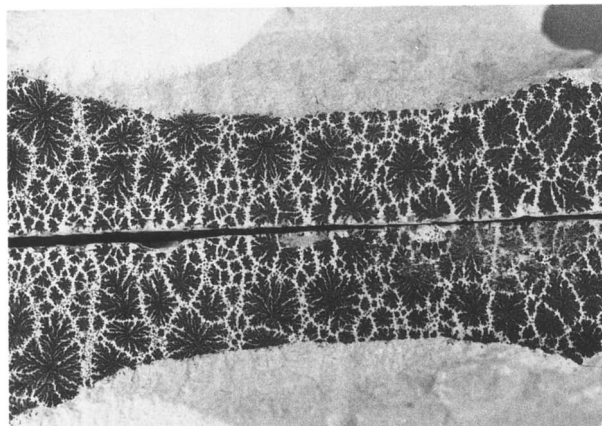
Andere secundaire verplaatsingen van dendrietenmateriaal

Er is al even op gewezen dat op laagvlakken langs diaklazen niet zelden een smalle witte strook wordt aangetroffen, waar niet alleen het normale pigment van de Solnhofen-kalksteen is verdwenen, maar ook de beginstukken ("onderstukken") van de dendrieten. Waar zowel Fe- als Mn-dendrieten gevormd waren, zijn het vaak alleen de Fe-dendrieten die zo'n basale afknotting hebben ondergaan. Soms zijn daar echter ook de Mn-dendrieten geheel of gedeeltelijk verdwenen. Blijkbaar



Afb. 14. Ijzerdendrieten waarin door latere herverdeling het ijzeroxyde in de buitenste delen van de takjes terecht is gekomen en de middengedeelten geheel ijzervrij zijn geworden. N van Eichstätt. 39x29 mm.

Afb. 13. Positief en negatief van mozaïek met uitgegroeide Mn-sterdendrieten. Veelvuldig herhaalde Mn-afzetting op de takjes heeft de dendrietsterren bijna geheel opgevuld. Z van Pfalzpaint. 47x35 mm.



heeft langs zulke diaklazen secundaire oplossing plaats gevonden.

In veel gevallen wordt zo'n oplossingsstrook aan de binnenzijde (gesteente-inwaarts) begrensd door een zone waar de dendriettakken extra breed en grof zijn geworden, of extra dicht zijn vertakt. Het lijkt erop of het in de oplossingsstrook verdwenen materiaal hier terecht is gekomen, of het dus als het ware een eindje naar binnen is geschoven (zie afb. 6).

Na zo'n "opschuivingsfase" kan in de oplossingsstrook langs de diaklaas opnieuw uitscheiding van mangaan of ijzer plaats hebben. Is het oplossen van de eerstgevormde dendrieten niet geheel volledig geweest, en zijn er kleine restantjes van overgebleven, dan kunnen die bij de hernieuwde precipitatie als kiemen fungeren, en zijn sterdendrietjes het resultaat.

Het aan de rand opgeloste mangaan of ijzer wordt niet altijd in een overal even brede strook evenwijdig met de oplossingsstrook afgezet: veelal verplaatst het zich een eind, volgens de vertakkingen van de dendrieten, in de oorspronkelijke groeirichting. In deze richting is dan vaak een geleidelijke toeneming te zien van de hoeveelheid afgezet materiaal, tot op een bepaalde afstand. Daarvoor lijkt de oorspronkelijke situatie min of meer gehandhaafd (afb.6).

Dergelijke secundaire verplaatsingen van de uitgescheiden stof treden ook meer binnenwaarts (spleetinwaarts) op, vooral bij ijzerdendrieten, maar af en toe ook bij mangaandendrieten. Daarbij ontstaan zones met een geleidelijke overgang, in de groeirichting, van zeer licht gekleurde, soms zelfs geheel verdwenen dendrietgedeelten naar zeer donkere, aan het eind scherp begrensde gedeelten. Deze laatste lijken soms als boomkruinen uit een soort nevel omhoog te steken (zie de omslagfoto). Niet zelden worden dendrieten aangetroffen met verscheidene (soms zelfs tot 7) van zulke zones achter elkaar.

Combinaties van Fe- en Mn-dendrieten

Zeer vaak zijn langs de diaklaasranden op laagvlakken zowel Mn- als Fe-dendrieten ontwikkeld. Het is daarbij opmerkelijk hoe vaak de beide soorten bij hun groei van elkaar weinig of geen hinder lijken te hebben ondervonden: ze zijn daar eenvoudig dwars door of over elkaar heen gegroeid. Blijkbaar zijn in die gevallen de poriën door de precipitatie van de mangaan- resp. ijzerverbindingen nog zo onvolledig gevuld geweest dat de opgeloste stoffen zich erdoorheen konden bewegen. In dit verband moet trouwens gewezen worden op het feit, dat het ijzerhydroxyde van dendrieten, van de laagvlakken uit, meestal iets verder het gesteente in reikt

dan het mangaanoxyde. Het zou dus kunnen zijn dat de ijzeroplossingen bij het passeren van een tak van een mangaandendriet relatief weinig gehinderd worden, doordat ze er als het ware achterlangs kunnen bewegen. Toch zijn er voorbeelden van dendrietten die elkaar wel duidelijk beïnvloed hebben. In sommige gevallen waren de Fe-dendrietten er het eerst: ze vertonen een normale ontwikkeling, terwijl de latere Mn-dendrietten beperkt zijn tot de relatief smalle opengebleven ruimten ertussenin. Daarbij kunnen (op laagvlakken) sommige kleinere Mn-dendrietten met hun "hoofdas" min of meer de hoek halveren tussen de diaklaasrand en een naburige Fe-dendriet, zodat ze dus geheel scheef staan op de diaklaasrand in plaats van loodrecht daarop. Ook vindt men Mn-dendrietten die bij het naderen van een Fe-dendriet plotseling veranderen van groeirichting en opzij uitwijken. Blijkbaar waren in deze gevallen de poriën door de ijzerprecipitatie wél verstopt. Op andere plaatsen zijn de Mn-dendrietten het eerst gevormd. Daar passen de Fe-dendrietten zich aan aan de ruimte, overgelaten door de Mn-dendrietten. Vaak ziet men echter ook dat van aanpassingen of afbuigingen geen sprake is, maar dat de in de weg staande takken van de Mn-dendrietten eenvoudig zijn opgelost: in het kruisingstraject zijn de Mn-takjes onderbroken en vindt men alleen Fe-hydroxyde (afb. 15 B).

Gemengde dendrietten *

Waar ijzerdendrietten als eersten aanwezig waren, en zij een sterke "centrifugale" herverdeling van het ijzermateriaal ondergingen, zodat de binnengedeelten van de takjes niet alleen ijzerarm (of ijzerloos) werden, maar ook door kalkoplossing een grotere porositeit kregen, kunnen latere mangaandendrietten nauwkeurig deze binnengedeelten volgen. Er ontstaan dan dus mangaandendrietten met een ijzerdendrietische omhulling.

Een enkele maal vindt men laagvlakdendrietten waar dit verschijnsel gecombineerd is met een (secundaire?) concentratie van het mangaan in de groeirichting van de dendrietten, zodanig dat het ijzer in de buitenste takken ervan, of zelfs wel in de gehele "bovenhelft", praktisch volledig door het mangaan bedekt wordt. Met name in deze laatste gevallen kan men spreken van mengdendrietten. Vermoedelijk is de menging hier dan echter niet zozeer het gevolg van een bepaalde affiniteit van het mangaanoxyde voor het ijzerhydroxyde, als wel van een gemakkelijke doordringbaarheid van het gesteente ter plaatse van de ijzerdendrietten.

Mogelijke oorzaken van dendrietprecipitatie

Factoren die in het algemeen tot neerslag van Mn- en Fe-(hydr)oxyden kunnen leiden zijn: verandering van de zuurgraad van de (waterige) oplossing, verandering in het oxyderend, resp. reducerend vermogen van het milieu (de zgn. redox-potentiaal), ontleding van de organische verbindingen waarin het Mn en het Fe zijn opgenomen. Deze ontleding kan zelf ook het gevolg zijn van veranderingen in zuurgraad of redox-potentiaal. Daar het opvalt dat beide soorten dendrietten het meest verbreid zijn in kalkige en dolomietische gesteenten, lijkt het niet onmogelijk dat de neerslag daarin bevorderd wordt door neutralisering van licht-zure oplossingen, afkomstig uit humus aan de aardoppervlakte, tengevolge van reactie met de carbonaatgesteenten.

Waar Mn-dendrietten in andere gesteenten worden aangetroffen blijken deze toch ook vaak weer relatief carbonaatrijk te zijn, zoals vele zandstenen met, behalve kwartskorrels, ook korrels en eventueel cement van calciet of dolomiet. Ook in kalkrijke gedeelten van Pleistocene grind- en zandlagen in onze omgeving zijn vaak (kleine) Mn-dendrietjes te vinden, en wel op en in de buitenzijde van de daarin aanwezige stenen, zo bijvoorbeeld in de bekende groeve in de Grebbeberg bij Rhenen. Vooral vuurstenen zijn rijk aan zulke dendrietvormingen. Vuursteen bestaat uit een zeer fijn-

kristallijn aggregaat van chalcedoon en eventueel andere SiO₂-mineralen, en is uiterst fijn-poreus. Vermoedelijk zijn aan de buitenzijde van vuurstenen die verwerking hebben ondergaan de porositeit en de permeabiliteit meest nog iets groter dan binnenin.

Ook op de door verwerking micro-poreus geworden buitenzijde van veldspaatkristallen (bv. in graniet-zwerfstenen) vindt men wel (zeer kleine) dendrietjes. Een enkele maal zijn zelfs dendrietten aan te treffen op de buitenzijde van gangkwarts-rolstenen. Deze blijken dan het produkt te zijn van uitscheiding op het grensvlak van zulke stenen met kalkrijke leem.

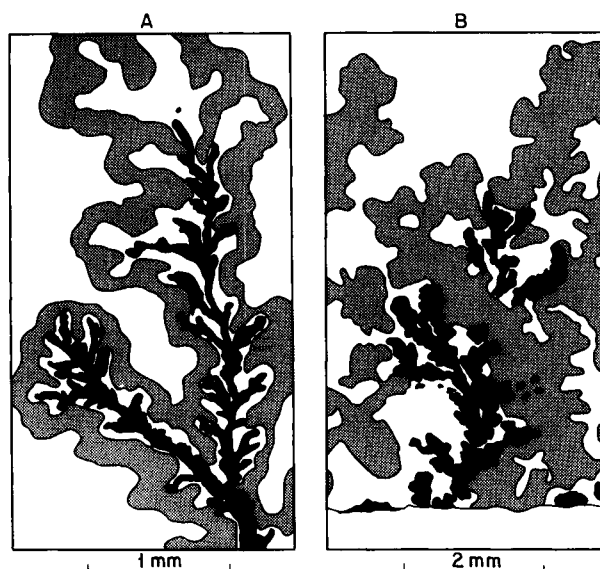
Een laatste voorbeeld van de vorming van Mn-dendrietten in kalkig milieu zijn de micro-dendrietjes die plaatselijk aanwezig zijn in en op de buitenzijde van vuursteenknollen in de (bovenkant) van het Maastrichtse Krijt.

Bij de vorming van interne Mn-dendrietjes in de buitenzijde van vuurstenen rijst de vraag tot op welke afstand de mangaan-precipitatie buiten het neutraliserend kalkmilieu zich kan voortzetten (althans in die gevallen waar de vuursteen zelf geheel kalkloos is). Het gaat hier overigens nog niet om grote afstanden: gewoonlijk niet meer dan enkele mm. Anders is het bij de zgn. mosagaat, d.w.z. chalcedoon met interne Mn-dendrietten, die veelal verscheidene cm lang zijn. Mogelijk heeft de Mn-precipitatie hier in het geheel niets te maken met de aanwezigheid van carbonaten.

Uit het bovenstaande blijkt wel, dat van het chemisme van de vorming van deze dendrietten nog zo goed als niets met zekerheid bekend is, en dat voor een beter begrip nog veel onderzoek gedaan zal moeten worden.

Kristaldendrietten en hun vertakking

In tegenstelling tot de betrekkelijk geringe wetenschappelijke aandacht die tot nu toe aan aggregaatsdendrietten besteed is, is er over het ontstaan van kristaldendrietten al veel gepubliceerd (zie bv. in Buckley, 1951). Verschillende factoren kunnen bij de vertakking van kristallen een rol spelen. Bij uitscheiding uit een oplossing of uit een gas- en dampmengsel kan snelle kristallisatie ten gevolge van sterke oververzadiging een hoofdoorzaak zijn. Bij normale kristallen groeien de kristalvlakken laagje voor laagje aan. De afzonderlijke bouwstenen (bv. ionen) van deze lagen worden daarbij niet alle tegelijk afgezet, maar na elkaar, waarbij ze zich vastzetten in de inspringende hoeken tussen de oude oppervlakte (dus de



Afb. 15 A. Tekening van Mn-dendrietten, afgezet in de binnengedeelten van de takjes van Fe-dendrietten. B. Tekening van Mn-dendrietten, opgelost bij latere afzetting van Fe-dendrietten.

oppervlakte van het vorige laagje) en de zijkant van de nieuw gevormde laag. Deze laatste groeit daardoor zijwaarts uit over de oude oppervlakte. De voorkeur voor aanleg in de inspringende gedeelten hangt samen met de daarbij vrijkomende energie (warmte) die groter is dan bij "losse" afzetting ergens midden op een vlak.

Wanneer nu de oververzadiging groot is, en dus ook het aanbod van bouwstenen aan het kristaloppervlak, kan deze warmte (de "kristallisatiewarmte") niet snel worden weggevoerd, en loopt de temperatuur bij de kristallen op. Het kristallisatieproces wordt daardoor automatisch vertraagd. Op de randen, en nog meer op de snijpunten van de randen, d.w.z. de hoeken van de kristallen, kan deze kristallisatiewarmte gemakkelijker ontwijken. Onder zulke omstandigheden groeien de hoekgedeelten het snelst aan. Vermoedelijk is de stervormige gedaante van sneeuwkrystallen vooral aan dit effect te danken. Snelle kristallisatie bij sterke oververzadiging zou volgens sommigen ook de oorzaak zijn van de dendrietvormen van kristallen die ingebed liggen in bepaalde vulkanische glazen. De oververzadiging zou het gevolg zijn van de plotselinge afkoeling van de lava bij het uitsteden aan de aardoppervlakte. Door de snelle afkoeling neemt tegelijk de viscositeit (=taai-vloeibaarheid) van de lava sterk toe, waardoor het bij deze verspreide dendrietkristallen blijft en de rest niet meer tot kristallisatie komt, maar stolt tot glas.

Het is overigens niet zeker of in dergelijke gevallen van kristallisatie bij afkoeling de dendrietvormen uitsluitend het resultaat zijn van sterke oververzadiging, en of zij soms niet gedeeltelijk, en misschien zelfs vooral, toe te schrijven zijn aan de met snelle afkoeling gepaard gaande snelle verhoging van de viscositeit, die de diffusie van ionen naar de kristallen toe hindert. In het laatste geval zou de dendrietische groei dus een zelfde oorzaak hebben als die van de Mn- en Fe-uitscheidingen in sedimenten. Vertakte vormen die algemeen aan zulke gehinderde diffusie worden toegeschreven zijn de zgn. skeletkristallen van steenzout, die men aantreft in sommige kleiige of mergelige lagen van fossiele woestijnformaties (bv. in de Bontzandsteen). Een andere factor die tot dendrietgroei kan leiden is de aanwezigheid, in de oplossing, smelt of damp, van bijmengselen die niet in de kristallen kunnen worden opgenomen. Bij kristallisatie worden zulke bijmengselen dan vóór het aangroeiend kristaloppervlak geconcentreerd, en wel sterker voor de vlakken dan voor de hoekgedeelten. De laatste groeien daardoor gemakkelijker aan: ze vormen lange uitwassen, als het ware stralen, waarop weer zijstralen kunnen ontstaan enz. Het zou te ver voeren hier dieper in te gaan op dit onderwerp, dat bovendien grotendeels buiten het eigenlijke vakgebied van de schrijver ligt. Een uitvoeriger behandeling kan beter in een apart artikel gegeven worden, door een op dit gebied meer deskundige.

Wat betreft de betrekkelijke zeldzaamheid van kristaldendrieten in de gesteenten der aardkorst: deze hangt ten dele samen met het feit dat dergelijke vertakte kristallen, met hun grote oppervlakte, minder stabiel zijn dan meer compacte kristallen. Waar ionen of moleculen zich door het gesteente kunnen bewegen, via poriën tussen korrels en kristallen, of eventueel zelfs via "roosterfouten" in kristallen, zullen op de lange duur concentraties kunnen plaats vinden, en wel des te meer naarmate de beweeglijkheid dezer deeltjes groter is, d.w.z. naarmate de temperatuur hoger is. Het is dus geen wonder dat in metamorfe gesteenten en in dieptegesteenten, die na hun vorming nog lang aan hoge temperaturen zijn blootgesteld geweest, weinig of geen dendrietische vormen worden aangetroffen. Daarentegen zullen bij lage temperaturen en bij geringe verplaatsingsmogelijkheid van het poriënwater (zoals in kleiige sedimenten en in dichte vulkanische glazen) dendrietische structuren lang bewaard kunnen blijven.

Naschrift

De herkomst van het mangaan en het ijzer

In Aufschluss van juni 1982 verscheen een stukje van S. Koritnig over dendrieten, ook weer in het bijzonder met voorbeelden uit de Solnhofen-kalksteen. Daarin werd o.a. verondersteld dat de dendrietakjes elkaar nergens raken of kruisen ten gevolge van onderlinge elektrostatische afstoting van de "colloïdale deeltjes". Hiertegen is in te brengen dat het onwaarschijnlijk is, dat deze afstotende krachten groot genoeg zouden zijn om door de microporiën heen over afstanden van soms verscheidene mm (zie bv. afb. 9 en 12) andere deeltjes weg te houden. Verder zou, wanneer de dendrieten inderdaad ontstaan zijn uit oorspronkelijk elkaar afstotende colloïdale deeltjes (dus in een "sol"), hun neerslag het gevolg moeten zijn van opheffing van deze afstoting door "uitvloeking". Het is echter niet in te zien hoe er dan, tegelijk met het aaneensluiten van de deeltjes op de uiteinden van dendrietakken, afstotende krachten zouden kunnen bestaan tussen de deeltjes van naburige takken.

Een ander punt is dat Koritnig ervan uit gaat dat het Mn en het Fe van de dendrieten afkomstig is uit het gesteente zelf. Het zou zich in het (oorspronkelijk zuurstofloze) poriënwater in oplossing naar de barsten toe hebben bewogen, waar het in contact kwam met zuurstofhoudend water en, door oxydatie, precipiteerde. Ook de schrijver van de voorgaande bladzijden heeft bij zijn onderzoek deze mogelijkheid steeds voor ogen gehad. Tenslotte leek hem een herkomst van buiten de formatie waarschijnlijker, om verschillende redenen. De eerste is al genoemd: de uitgesproken armoede van de Solnhofen-kalksteen aan Fe, en nog meer aan Mn. Daarbij komt, dat hier en daar in diaklazen en laagvlakspelen soms wel zeer zware neerslagen worden aangetroffen. Als al dat metaal uit de aangrenzende kalksteen is toegevoerd, moet het verzameld zijn uit een opmerkelijk groot volume gesteente. In vele gevallen lijkt dit echter niet aannemelijk, n.l. waar de laagvlakstukken met zulke neerslagen maar klein zijn, en de diaklazen resp. karstholten die ze begrenzen, en waaruit de dendrieten naar binnen gegroeid zijn, dicht bij elkaar liggen. In zulke gevallen zou de metaaltoevoer voornamelijk in verticale richting moeten hebben plaats gehad, dwars door de lagen heen, en dus ook dwars op de richting van de relatief permeabele laagvlakspelen.

Ook waar Mn-dendrieten op en in losse stenen in Pleistocene afzettingen gevormd zijn, en vooral waar zware dendrietneerslagen aanwezig zijn op en in kleine stenen, lijkt het niet waarschijnlijk dat het Mn afkomstig is uit deze stenen zelf. Niettemin: strenge bewijzen zijn nog niet geleverd, en voorlopig dient met beide mogelijkheden: herkomst van binnenuit / en herkomst van buitenaf, rekening te worden gehouden.

Bacteriënwerking

Het is reeds lang bekend, dat bij sommige precipitaties van Mn- en Fe-(hydr)oxyden bacteriën betrokken zijn. De Rus Vologdin was de eerste die suggereerde dat bacteriën een rol spelen bij de vorming van Mn-dendrieten. In 1969 deelden Billy en Cailleux mee, dat zij in cultures van *Bacillus cereus* op een organische, vaste voedingsbodem, door toevoeging van opgelost Mn-carbonaat of Fe-citraat, vertakte neerslagen kregen van resp. MnO_2 en Fe-hydroxyde. Op grond daarvan veronderstelden zij dat Mn- en Fe-dendrieten in het algemeen bacteriële producten zijn.

De gelijkenis van hun neerslagen met natuurlijke dendrieten is echter zeer gering, en de vormingsomstandigheden zijn totaal verschillend. Ook zijn de diverse karakteristieke eigenschappen van natuurlijke dendrieten moeilijk te rijmen met een vorming door bacteriën. Dit sluit niet uit dat bacteriën, althans plaatselijk, de neerslag van de Mn- en Fe-verbindingen kunnen bevorderen. Wel valt het te betwijfelen of dit voor alle dendrietvormingen geldt. Zo zouden bijvoorbeeld in vuursteen en chalcedoon (mosagaat) de poriën zelfs voor bacteriën wel eens te klein kunnen zijn. Een oriënterend onderzoek naar de poriëngrootte leverde voor vuursteen 0.5 μm op, en voor chalcedoon 1/100 μm .

LITERATUUR

- Billy, C. en Cailleux, A. (1969): Dendrites de manganèse et bactéries; Science Progrès Découverte (Paris); 3414, pp. 381-385.
Buckley, H.E. (1951): Crystal growth; New York; Wiley, 571 pp.
Koritnig, S. (1982): Dendritic crystallization; New York, Consultants Bureau; 126 pp.
Straaten, L.M.J.U.van (1971): Origin of Solnhofen limestone; Geol. Mijnb. 50, pp. 3-8.
Straaten, L.M.J.U.van (1978): Dendrites; Journ. Geol. Soc. 135, pp. 137-151.

VOETNOTEN

¹⁾ Prof. Dr. L.M.J.U. van Straaten is emeritus-hoogleraar geologie van de Rijksuniversiteit van Groningen.

²⁾ De vrij zeldzame hematietdendrieten zullen hier niet besproken worden.

³⁾ De breedte van de takjes van Mn-dendrieten ligt meestal tussen 0.05 en 0.5 mm, die van Fe-dendrieten overwegend tussen 0.2 en 1 mm. De lengte der dendrieten varieert van < 1 mm tot verscheidene decimeters. Het algemeenst zijn lengten van enkele mm tot enkele cm.

⁴⁾ Doordat veel lagen bovendien niet dikker zijn dan circa 1 cm, en doordat de kalksteen zeer stevig is, lenen ze zich uitstekend voor het maken van vloer- en wandtegels. In tegelvorm hebben heel wat mensen, ook in Nederland, zonder er zelf naar gezocht te hebben, mooie Solnhofen-fossielen en -dendrieten in huis.

⁵⁾ Het is wel eens geopperd dat de lagen ontstaan zouden zijn door het neerregenen van skeletstukjes van ééncellige kalkalgen (*Coccolithophoridae*). Inderdaad zijn zulke resten in de Solnhofen-

kalksteen plaatselijk rijkelijk aanwezig. Nu blijkt echter uit sedimentologisch onderzoek, dat de lagen elk in zeer korte tijd zijn afgezet, en dat daartussenin langere perioden verliepen waarin slechts zeer weinig sedimenteerde. Berekeningen tonen aan, dat de produktie van coccolieten, ook bij periodieke planktonbloei, geheel ontoereikend is voor de vorming van de meeste kalksteenlagen (die een dikte hebben tot maximaal 30 cm). In verband daarmee, en in verband met andere eigenschappen van het gesteente, moet worden aangenomen dat het oorspronkelijke kalkslib (inclusief de coccolieten) periodiek uit een groot verzamelgebied is toegevoerd, en wel door zgn. troebelingsstromen. Vermoedelijk werden deze dan opgewekt door orkanen: naar het noorden gemigreeerde tropische cyclonen.

⁶⁾ In de Solnhofen-kalksteen werd een maximum lengte van 8 mm aangetroffen. In dezelfde laag zijn er ook vage interne Fe-dendrieten (die elders doorgaans ontbreken). Hun lengte is maximaal 1.5 cm.

⁷⁾ Ook het omgekeerde komt wel eens voor, n.l. dat laagvlakdendrieten zijtakjes afgeven in diaklazen.

⁸⁾ Aangenomen dat het Fe- en Mn-materiaal inderdaad van elders afkomstig is, en via de diaklazen in de Solnhofen-formatie is terecht gekomen.

⁹⁾ Het zij hier vermeld dat de twee dendriettypen bij chemische analyse meestal niet geheel zuiver blijken te zijn: de bruine Fe-dendrieten bevatten niet zelden enig Mn, en de zwarte Mn-dendrieten meestal enig Fe. In de Solnhofen-kalksteen werd in de onderzochte gevallen, op het geheel van Fe + Mn, resp. 0, 0, 1, 1, en 3% Mn aangetroffen in Fe-dendrieten, en 0, 4, 4, 5, 5, 9 en 11% Fe in Mn-dendrieten. Deze (beperkte) menging zou deels het gevolg kunnen zijn van vervanging van Fe³⁺ door Mn³⁺ in het kristalrooster van de ultra-kleine goethietkristalletjes in Fe-dendrieten, en deels van adsorptie. Ook kunnen ultra-kleine kristalletjes van de ene stof in dendrieten van de andere soort ingesloten zijn.

Stenen met sterren en ogen

door Boy Hendriks, FGA
Instituut voor Aardwetenschappen
Vrije Universiteit, Amsterdam

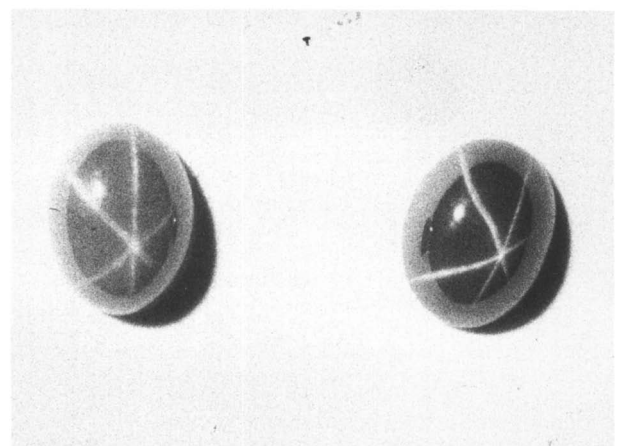
Inleiding

Cabochon-geslepen stenen met een ster- of katteooffect staan erg in de belangstelling bij verzamelaars en liefhebbers van edelstenen, maar roepen ook veel vragen op over oorzaak en oorsprong van die verschijnselen. De verscheidenheid aan edelstenen met een ster of een katteoog is groter dan algemeen verondersteld. Dit artikel probeert inzicht in oorzaak en verscheidenheid te geven. Ook is het interessant om te weten hoe men deze edelstenen in laboratoria kan behandelen, en hoe die laboratoria in toenemende mate steeds betere imitaties produceren.

Asterisme en Chatoyantie

Asterisme is het verschijnen van een oplichtende ster (Afb. 1) in een half-bolvormig geslepen edelsteen (cabochonslijpsel). De term asterisme is afkomstig van het Latijnse woord *astrum*, ster of sterrebeeld. Chatoyantie is het verschijnen in een cabochonsteen van een streepvormig lichteffect in de vorm van de pupil van een katteoog (Afb. 2). De term chatoyantie is afgeleid van de Franse woorden *chat* (kat) en *oeil* (oog). Beide optische effecten worden veroorzaakt door lichtreflecties vanaf ontelbare evenwijdig gerangschikte cilindrische holten of naald- en vezelvormige insluitels. Voorwaarde voor beide effecten is dat invallende

lichtstralen loodrecht op die inwendige structuur moeten staan. Het proces is het best te begrijpen als één van die talrijke naald- of vezelvormige insluitels voorgesteld wordt als een dunne cilinder (Afb. 3). Licht dat onder een hoek op de cilinder valt, wordt als een kegel verstrooid in



Afb. 1. Cabochons van synthetische korund met asterisme.