

# Voorkomen, kenmerken en ontstaan van pegmatieten

door drs. E.A.J. Burke  
Instituut voor Aardwetenschappen  
Vrije Universiteit, Amsterdam

## Naamgeving en definitie

De term "pegmatiet" is afgeleid van het Griekse "to pigma" wat "het samengevoegde" betekent; de term werd in 1801 ingevoerd door Haüy voor de typische vergroeiingen van lamellaire veldspaat en kwarts, die voor die tijd "schriftgraniet" genoemd werden (zie kleurenfoto 1). In de tweede helft van de 19e eeuw werd het begrip pegmatiet uitgebreid tot alle grofkristallijne gesteenten van granitische samenstelling. Tegenwoordig wordt de term gebruikt voor grofkristallijne gesteenten van iedere samenstelling, dus ook voor nefelien-syeniet en gabbro, al heeft de overgrote meerderheid van de pegmatieten een granitische samenstelling. Het opstellen van een definitie van pegmatieten is niet eenvoudig door de extreme variatie in samenstelling en textuur, en door een verregaande onenigheid onder geologen over het ontstaan van deze gesteenten. Er is een tendens om niet de absolute korrelgrootte een criterium te laten zijn, maar eerder de onregelmatigheid ervan. Termen als "intrusief" of "granitisch" mogen niet gebruikt worden omdat pegmatieten ook door metamorfose kunnen ontstaan, en omdat zij vaak geen granitische samenstelling hebben. De bekende Amerikaanse pegmatiet-onderzoeker Richard Jahns heeft in 1955 daarom een op alle gebieden neutrale definitie voorgesteld: **pegmatieten zijn holokristallijne gesteenten, die tenminste gedeeltelijk zeer grofkorrelig zijn, die mineralen bevatten die typisch in magmatische gesteenten voorkomen, en waarin extreme texturale variaties, vooral in korrelgrootte, karakteristiek zijn.**

## Vorm en afmetingen

Pegmatieten zijn zeer onregelmatig en gevarieerd van vorm: buisvormig, gangen, lenzen, pijpen, elliptisch, plaatvormig, en totaal vormloos.

De vorm van pegmatiet-lichamen wordt mede bepaald door het gesteente waarin zij voorkomen; in granieten zijn pegmatieten vaak onregelmatig van vorm, terwijl ze in geïsoleerde metamorfe gesteenten lensvormig zijn, zie afb. 1. Zeer veel pegmatieten zijn gangvormig met evenwijdige kontakten die dwars door de structuur van de omringende gesteenten lopen.

In het algemeen zijn pegmatieten klein; de meeste hebben een maximale afmeting van een paar honderd meter. Tot de extreem grote lichamen behoren de lithium-tantaal-pegmatiet van Bernic Lake (Tanco) in Manitoba (Canada) met 1200 x 450 x 90 meter, en de tin-pegmatiet van Manono (Zaire) die 14 km lang, 250 m breed en tot 100 m diep is. De pegmatiet van Hagendorf-Süd (Beieren), bekend om zijn fosfaat-mineralen, heeft een diameter van 100-150 meter, en is meer dan 100 meter diep. De beroemde lithium-pegmatiet van Varuträsk (Noord-Zweden) is ook maar een paar honderd meter lang en slechts tot 30 m dik. Door hun geringe afmetingen is het niet altijd even makkelijk om pegmatieten terug te vinden in het veld. Wil men in een bepaalde pegmatiet mineralen gaan zoeken, dan moet men zich vooraf goed op de hoogte proberen te stel-

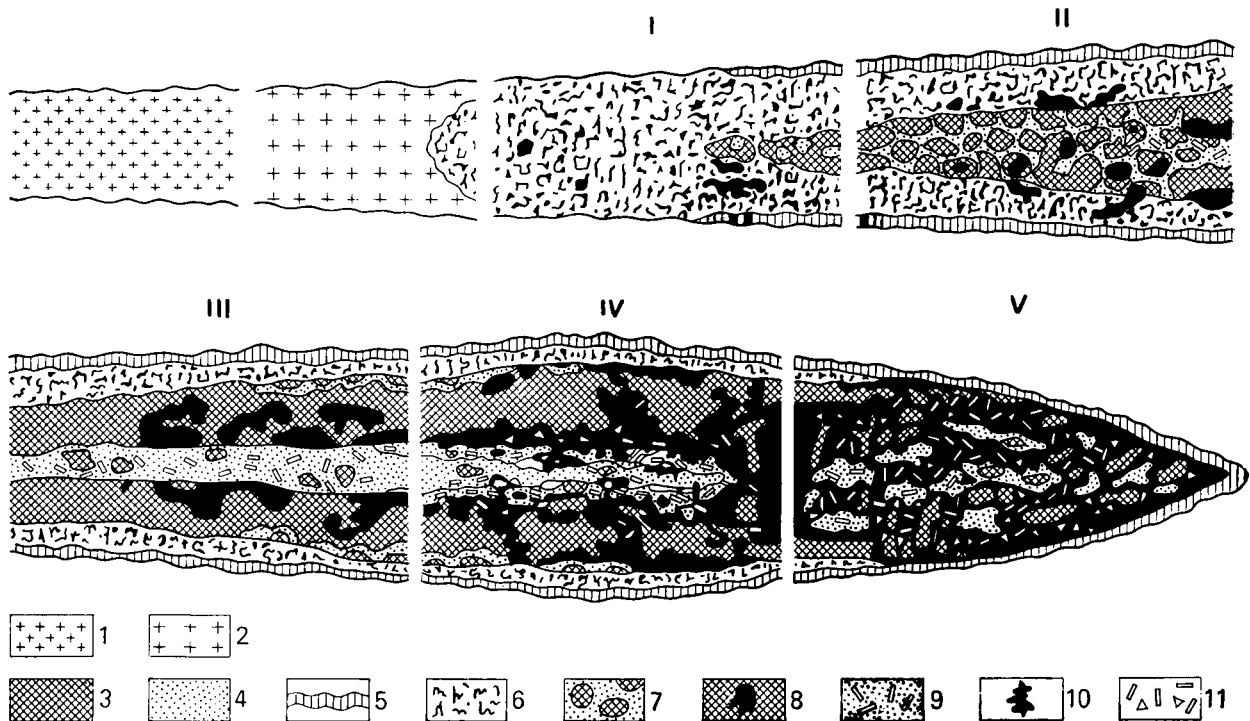
len van zijn precieze ligging omdat het anders wel eens zou kunnen gaan lijken op het bekende zoeken van een speld in een hooiberg.

## Eenvoudige en complexe pegmatieten

Overigens kan men in lang niet alle pegmatieten op zoek gaan naar interessante mineralen. De overgrote meerderheid van de pegmatieten is eenvoudig: zij bevatten enkel de mineralen die ook voorkomen in het stollingsgesteente waarmee zij in verband staan. Zo vertonen eenvoudige granitische pegmatieten een mineralogische samenstelling die dezelfde is als van een graniet: veldspaten, kwarts en biotiet. Grotere lichamen van deze eenvoudige pegmatieten worden geëxploiteerd voor de zuivere veldspaat en kwarts, vooral ten behoeve van de keramische industrie. Complexe pegmatieten, ook wel samengestelde of gemineraliseerde pegmatieten genoemd, hebben een meer gevarieerde mineralogische samenstelling. Een aantal geologen

*Afb. 1. Granietpegmatiet in schisteeus gesteente. Omgeving voormalige Barrage de Malpasset bij Fréjus, Z-Frankrijk.*





Afb. 2. Ontwikkelingsschema bij de vorming van granitische pegmatieten met toenemende mate van mineralisatie (I t/m V: stadia, zie tekst).

Verklaring van symbolen: 1 – graniet, 2 – grofkorrelige graniet, 3 – mikroklien, 4 – kwarts, 5 – kontaktzone, 6 – schriftgraniet, 7 – zeer grofkorrelige zone, 8 – monominerale veldspaatzone, 9 – kwarts-spodumeen zone, 10 – vervangingslichamen met zeldzame mineralen, 11 – spodumeen. Naar Vlasov uit Smirnov, *Geology of Ore Deposits*.

waaronder de Russen Fersman en Vlasov, en de Zweed Brotzen (1959) beschouwen de diverse mineralisaties in pegmatieten als verschillende stadia van ontwikkeling tijdens hun vorming.

In dit ontwikkelingschema bij de vorming van granitische pegmatieten hebben Vlasov en Brotzen vijf stadia onderscheiden, ieder met eigen typische mineralisaties (zie afb. 2). Het eerste stadium omvat de eenvoudige pegmatieten zonder aparte kwartslichamen; zij bestaan enkel uit grofkorrelige graniet en schriftgraniet. In het tweede stadium ontwikkelen zich afzonderlijke kwartslichamen binnen de pegmatiet. Als bijzondere mineralen treden op magnetiet, ilmeniet, titaniet, en verbindingen van de zeldzame aarden als monaziet, allaniet, euxeniet, gadoliniet. De bekende pegmatiet van Ytterby (Midden-Zweden) is een voorbeeld van dit stadium. Het derde stadium wordt gekenmerkt door het optreden van muscoviet. In dit stadium bevatten pegmatieten ook toermalijn, apatiet, beryl, en niobium-tantaal-mineralen; veel pegmatieten in Zuid-Noorwegen behoren tot deze groep. Het vierde stadium treedt in bij het verschijnen van jongere albit (natriumveldspaat) in de pegmatiet in de vorm van suikerkorrelige massa's of als plaatvormige cleavelandiet. Amazoniet (kleurenfoto 2) en diverse fosfaten zijn hier de typische mineralen; Hagendorf-Süd is een goed voorbeeld van deze groep. Het vijfde stadium is de meest extreme vorm van differentiatie: het zijn de lithium-natrium-pegmatieten. Zij worden gekenmerkt door het optreden van lepidoliet (kleurenfoto 5), spodumeen, amblygoniet, petaliet, veel-

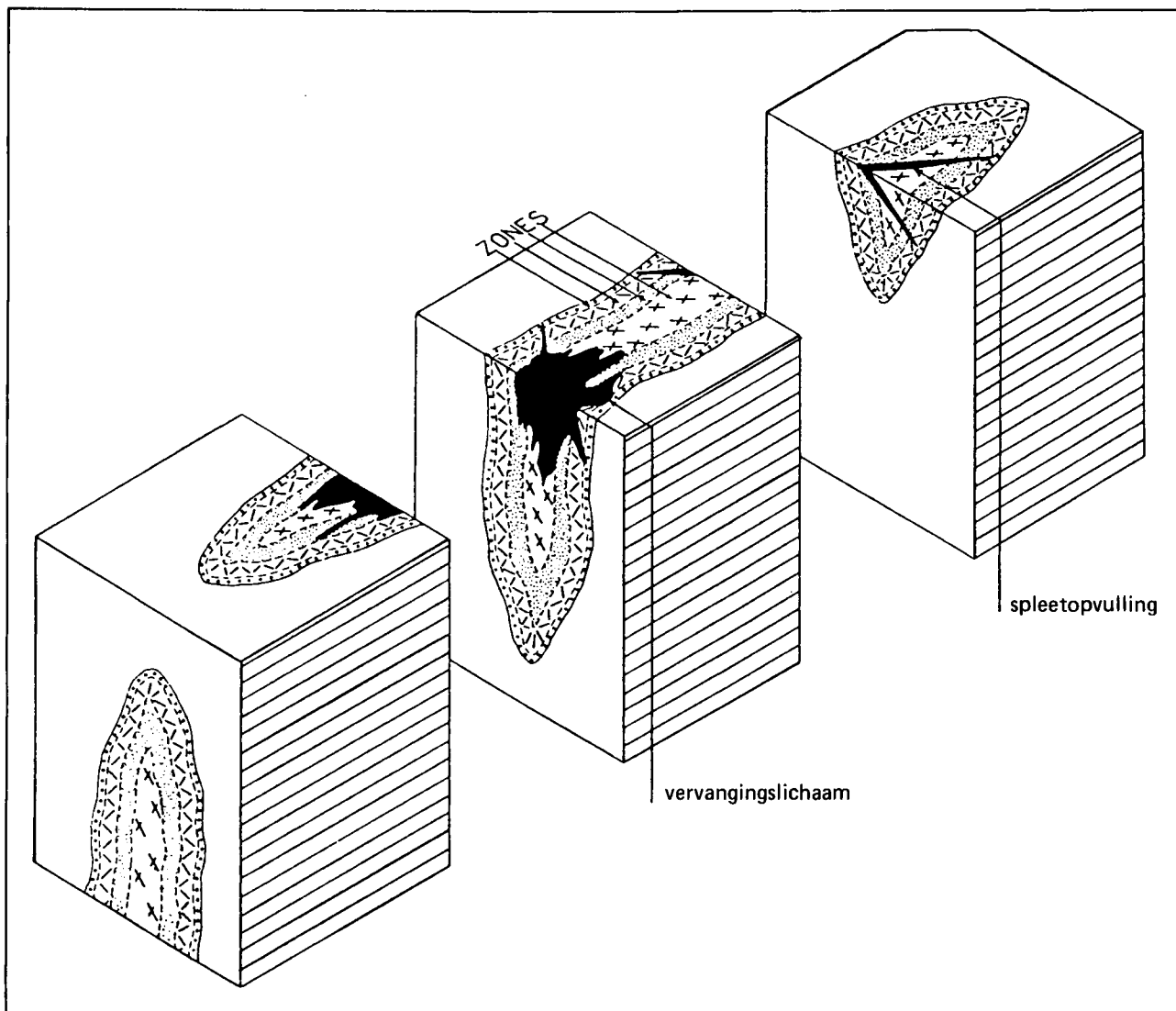
kleurige toermalijn, beryl. De tin-pegmatieten (met cassiteriet) behoren ook tot deze groep, waarvan Varuträsk als voorbeeld moge dienen.

Pegmatieten worden dus mineralogisch interessanter en complexer van het eerste stadium naar het vijfde. Het aantal pegmatieten binnen ieder stadium is daarmee omgekeerd evenredig. Pegmatieten van het eerste stadium zijn er zeer veel, terwijl pegmatieten van het vijfde stadium relatief zeldzaam zijn. Binnen een gebied kunnen pegmatieten van alle stadia aanwezig zijn.

## Interne bouw van pegmatieten

Zowel mineralogisch eenvoudige als complexe pegmatieten zijn samengesteld uit meerdere van elkaar verschillende eenheden. Deze eenheden vertonen verschillen in mineralogische samenstelling en in korrelgrootte. De grenzen ertussen zijn relatief scherp en verlopen min of meer evenwijdig aan de grenzen van de pegmatiet; deze concentrische eenheden worden zones genoemd. Daarnaast zijn er andere, diskordante, eenheden aanwezig: de vervangingslichamen en de spleetopvullingen.

Pegmatieten zijn opgebouwd uit vier concentrische zones, van buiten naar binnen: kontaktzone, grenszone, intermediaire zone, en kern (afb. 3 en 4). De dikte van de zones varieert zeer sterk binnen een pegmatiet en hun verdeling kan zeer asymmetrisch zijn. Of alle zones zichtbaar zijn hangt ook af van de aansnijdingsdiepte. De korrelgrootte neemt toe van buiten naar binnen, en de kristallen groeien vaak loodrecht op de grenzen van de zones (afb. 5 en kleurenfoto 3). De mineralogische samenstelling van de verschillende zones is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium waartoe de pegmatiet behoort. In eenvoudige granitische pegmatieten is de samenstelling als volgt: de buitenste zone van een pegmatiet is de kontaktzone; deze is meestal slechts een paar centimeter dik, fijnkorrelig, en heeft een granitische samenstelling. De volgende zone, de grenszone, is de plaats waar schriftgraniet met iets biotiet voorkomt. De afscheiding tussen deze zone en de volgende is zeer scherp: het voorkomen van



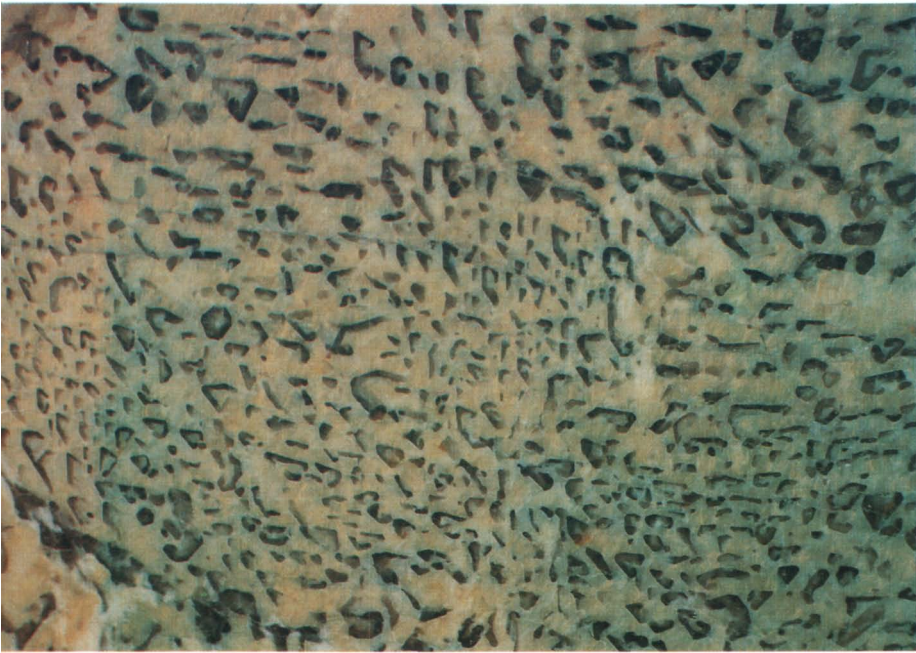
Afb. 3. De verschillende eenheden in een pegmatiet: de concentrische zones, vervangingslichaam en spleetopvulling. Naar Cameron et al., 1949.

kwarts stopt plotseling. De intermediaire zone bestaat hoofdzakelijk uit zeer grove blokvormige veldspaat. De kern die zich meestal in het midden van een pegmatietlichaam bevindt bestaat doorgaans uit massieve kwarts; deze zone kan een continu geheel vormen, maar kan ook bestaan uit verschillende kwartslichamen (kleurenfoto 4). In de meer complexe pegmatieten bevatten de concentrische zones ook meer zeldzame mineralen. In de grenszone komen dan toermalijn, beryl, apatiet en andere fosfaten, en niobium-tantaal-mineralen voor. De intermediaire zone is in de latere stadia van pegmatietontwikkeling verreweg het meest interessant. In lithium-rijke pegmatieten van het vijfde stadium komen dan vaak grote kristallen van amblygoniet, spodumeen en lepidoliet voor. De kwartskern bevat dan soms goed ontwikkelde idiomorphe kristallen van toermalijn, beryl of spodumeen. De diskordante eenheden in pegmatieten, de spleetopvullingen en vervangingslichamen, zijn later gevormd dan de concentrische zones. Zij komen alleen voor in de meer complexe pegmatieten van het 4e en 5e stadium, en bestaan vooral uit albiet (cleavelandiet) en zeldzame mineralen van tin, lithium, beryllium, boor, enz. Het is eigenlijk onmogelijk om een korte algemene samenvatting van de

bij de kleurenfoto's:

1. **Schriftgraniet**, georiënteerde vergroeiing van kwarts (grijs) en veldspaat (crème). Vindplaats: Ilmen-gebergte, Midden-Oeral, USSR. Afmeting: 60x90 mm. Collectie: drs. E.A.J. Burke.
2. **Amazoniet**, helder blauwgroene variëteit van mikroklien. De oplichtende vlakken zijn (001)-vlakken, hierop is parkettering te zien. Vindplaats: Labrador. Afmeting van de kristalgroep: 35x50 mm. Collectie: Inst. v. Aardwetensch. der VU, Amsterdam.
3. **Zonaire pegmatiet**, handstuk. Donker (rechts): nevengesteente. Voor de beschrijving van de zones zie afb. 5 op pag. 8. Herkomst: Gammelmorskärr-pegmatiet, Kemiö, ZW-Finland. Afm. 60x130 mm. Collectie: Inst. v. Aardwetenschappen der VU, Amsterdam.
4. **Kolsva-pegmatiet** (Midden-Zweden). Diverse kwartslichamen (wit) vormen de kern van de pegmatiet. Rondom de kwartslichamen bevindt zich grofkorrelige veldspaat foto: E.A.J. Burke.
5. **Lepidoliet**, lithium-glimmer (rose), met albiet (wit). Herkomst: Harding, New Mexico, USA, afm. 20x30 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.





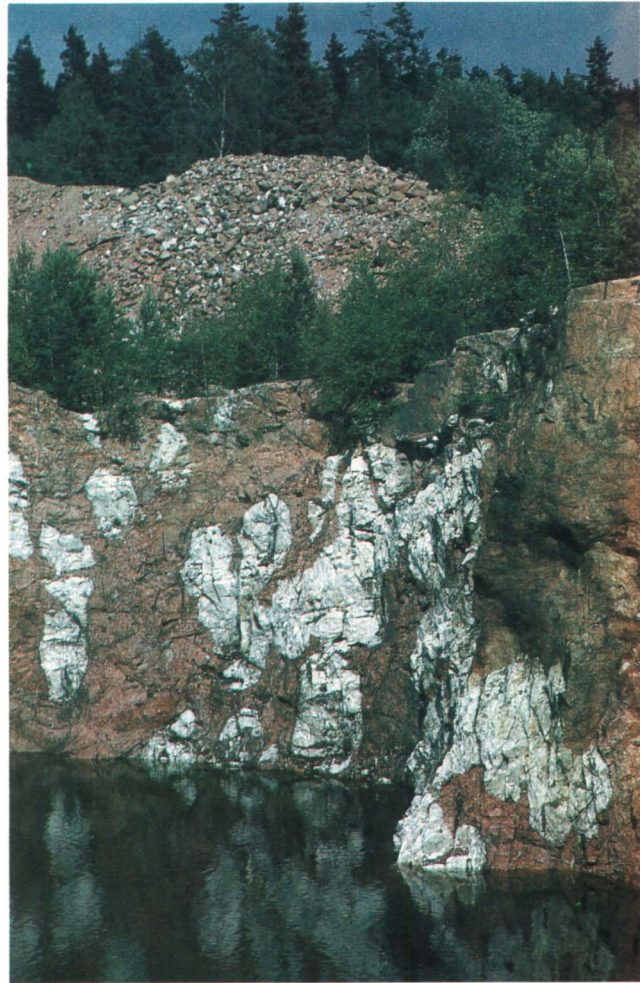
1



2



3



4

5







6



9



7



8



10



mineralogische samenstelling binnen de verschillende eenheden van pegmatieten te geven omdat er geen twee pegmatieten bestaan die identiek zijn. Bovendien zijn niet in iedere pegmatiet alle eenheden aanwezig, en is de samenstelling ervan sterk afhankelijk van het bereikte ontwikkelingsstadium. Meer nog dan voor andere vindplaatsen geldt voor het zoeken naar mineralen in pegmatieten dat het succes daarbij sterk bevorderd wordt door een goede literatuurstudie vooraf!

## Reuzenkristallen

Pegmatieten zijn bekend om de zeer grote afmetingen die kristallen in deze gesteenten kunnen bereiken; het is een typisch kenmerk van pegmatieten. Veldspaat-kristallen tot 10 m lang zijn in Noorwegen gevonden; kwarts-kristallen van een paar ton gewicht zijn geen uitzondering, en ooit is in Canada een phlogopiet-kristal gevonden van 11 m lang met een diameter van 4,7 m en een gewicht van 90 ton. Jahns (1953) geeft een overzicht van de vindplaatsen van de recordhouders onder de kristallen, en noemt voorbeelden van beryl, kali-veldspaat, kwarts, spodumeen, biotiet, muscoviet, phlogopiet, allaniet, amblygoniet, apatiet, fluoriet, columbiet-tantaliet, hoornblende, hyperstheen, monaziet, petaliet, plagioklaas, topaas, toermalijn, triphyliet-lithiophylit en tripliet. Wie toch in Noorwegen is om mineralen te gaan zoeken in de talrijke Zuidnoorse pegmatieten moet eens een kijkje nemen in het mineralogische museum van Oslo waar in de trappenhal een paar frappante voorbeelden van dergelijke reuzenkristallen staan opgesteld: een kwartskristal van 86 cm hoog, een mikroklien-kristal van 40 cm, en twee beryl-kristallen van 97 en 67 cm hoog (afb. 6).

Het meest spectaculaire voorbeeld van reuzenkristallen in Europa is te zien in de pegmatiet van Kaatiala in Midden-Finland (afb. 7). Daar is een wand van ongeveer 10 m hoog en enkele tientallen meters lang letterlijk bezaaid met enorme kristallen van zwarte toermalijn (schörl), tot 3 m lang met een diameter van 20 cm! Een onvergetelijk schouwspel dat helaas steeds meer verwoest wordt door onhandige mensen die denken dat ze een kristal van een paar honderd kilo wel even in het autootje kunnen tillen.

bij de kleurenfoto's:

6. **Spessartien, mangaanrijke granaat.** De trapezoëdevorm is duidelijk te zien. Vindplaats: omgeving Frikstad, Evje-Iveland, Z-Noorwegen, afmeting van het kristal 15x15 mm, collectie mevr. H. Waagmeester, Santpoort.

7. **Stilbiet, een mineraal uit de zeoliet-groep, meestal kleurloos of wit, hier lichtgeel, op witte kwarts.** Vrij algemeen holtemineraal.

Vindplaats: groeve Landsverk, Evje, Z-Noorw., afm. 7x11 mm, coll. J.J. Graaff, Amersfoort.

8. **Fluoriet, paarse kristalletjes, met rose mikroklien en glanzende, schubbige chloriet op witte albiet.** Vindpl.: Landsverk, Evje, afm.: 5x7 mm, coll.: J.J. Graaff.

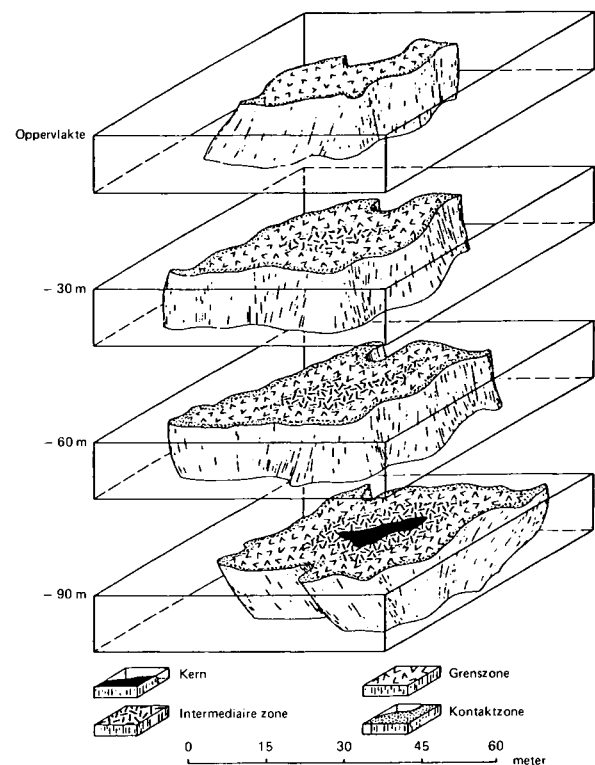
9. **Epidoot (groen) en rose mikroklien.** Tussen de epidootlaagjes zitten witte albietlamellen. Links wat grijzige kwarts. Vindpl.: groeve Landsverk bij Evje, afm.: 38x52 mm, coll.: G. en C. Smit, Haarlem.

10. **Euxeniet (polykraas) op plagioklaas (wit).** Euxeniet-polykraas is een mengkristal met yttrium, Z.A. en niobium-tantaal met titaniet. Polykraas is het titaanrijke eindlid. De kleur is bruinzwart tot zwart, de breuk schelpachtig, de glans iets metaalachtig. Vindpl.: Tuftane, bij Frikstad, Iveland, afm.: 7x11 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.

Omdat reuzenkristallen in alle pegmatieten voorkomen moet een verklaring voor dit algemene verschijnsel blijkbaar gezocht worden in de specifieke omstandigheden die heersen tijdens de groei van pegmatieten. Twee factoren spelen hier een belangrijke rol bij: de extreem lage viscositeit (of de grote vloeibaarheid) van de pegmatiet-smelt en het geringe aantal kristalkiemen dat in een dergelijke smelt gevormd wordt. Voor de vorming van kristalkiemen is energie nodig; omdat pegmatieten slechts een gering warmteverval hebben t.o.v. hun omgeving worden slechts weinig kiemen geproduceerd. Door de grote vloeibaarheid is anderzijds de groeisnelheid zeer hoog. Het aantal kristalkiemen is het grootst in het begin (kontakt- en grenszone) en neemt af naar binnen toe, zodat daar de weinige kiemen tot grote kristallen kunnen uitgroeien. De reuzenkristallen komen dan ook voor in de intermediaire zone en in de kern.

## Schriftgraniet

Naast de reuzenkristallen is het voorkomen van schriftgraniet een typisch kenmerk voor pegmatieten. Schriftgraniet (ook grafische graniet of runiet genoemd) is een georiënteerde vergroeiing van kwarts en veldspaat (kleurenfoto 1). De verhouding van beide mineralen daarin is ongeveer konstant: 75% veldspaat en 25% kwarts. Zoals bij meerdere fenomenen van pegmatieten bestaat er geen overeenstemming over schriftgraniet, niet over de ontstaanswijze, en zelfs niet over de oriëntatie van de vergroeiing. Wat dat laatste betreft: het is nu wel duidelijk



Afb. 4. De concentrische zones van een pegmatiet op verschillende aansnijdingsniveaus. Naar Cameron et al., 1949.

dat er verschillende oriëntaties zijn waarlangs kwarts en veldspaat met elkaar vergroeid kunnen zijn; de meest voorkomende oriëntatie is die waarbij de c-as van kwarts een hoek van  $42^{\circ}16'$  maakt met de c-as van de veldspaat: deze vergroeiing is door de Rus Fersman de "trapezoëder-wet" genoemd omdat de trapezoëder-zone van kwarts daarin samenvalt met de prisma-zone van veldspaat. Dezelfde vergroeiing komt ook voor bij reuzenkristallen van veldspaat waarop zich georiënteerde kwarts-kristallen bevinden (zie bv. Abb. 123) in het platenboek "Kristalle" van V. de Michele). Over de ontstaanswijze van schriftgraniet is men het er thans over eens dat deze vergroeiing op verschillende manieren kan ontstaan: zowel door gelijktijdige kristallisatie, al dan niet in een eutektische verhouding, als door latere vervanging of omzetting.

## Genese van pegmatieten

Het ontstaan van pegmatieten is onder geologen altijd een zeer controversieel onderwerp geweest. Dat kan ook niet anders gezien de vele vragen die beantwoord moeten worden, en gezien het feit dat zeer verschillende geologische processen tot een identiek resultaat kunnen leiden. Een paar voorbeelden van de vragen die opgelost moeten worden: 1) waarom komen pegmatieten altijd geïsoleerd voor; nergens is een verbinding te zien met andere gesteentelichamen; 2) waarom hebben pegmatieten concentrische zones, en zijn deze van buiten naar binnen of andersom gegroeid; 3) hoe moet de pure kwarts-kern verklaard worden; 4) waarom worden de kristallen zo groot naar het midden toe; 5) hoe ontstaan de schriftgranitische vergroeiingen; 6) wat is de bron van de zeldzame elementen; 7) waarom zijn er zo sterke mineralogische verschillen van de ene pegmatiet naar de andere, zelfs binnen een klein gebied?

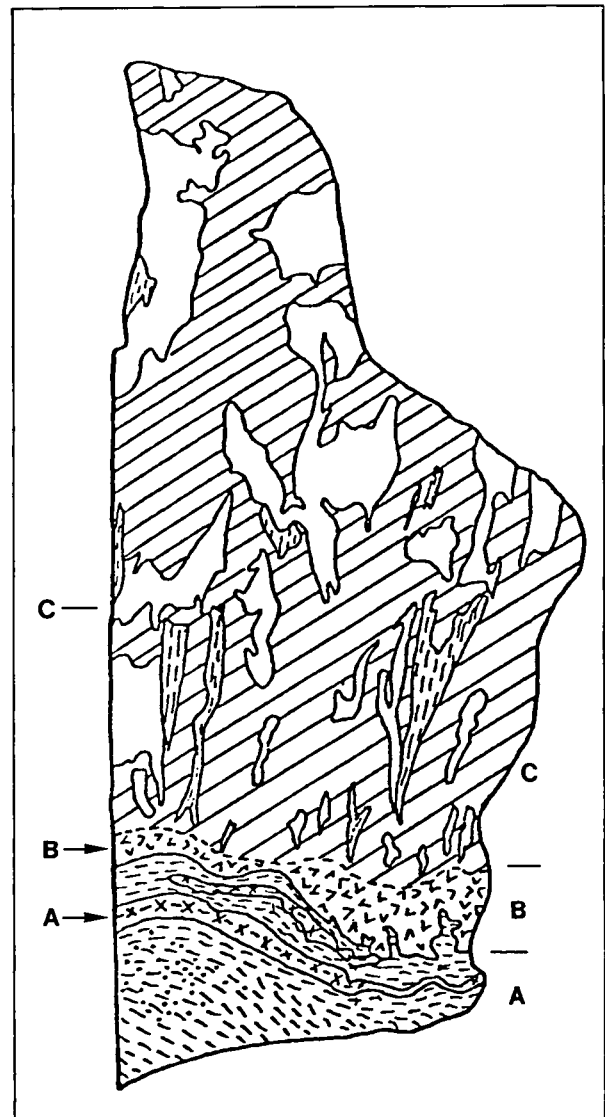
Het zou in dit verband veel te ver voeren om een overzicht van alle geopperde theorieën te geven; Jahns (1955) en Schneiderhöhn (1961) kunnen geraadpleegd worden door hen die daar belangstelling voor hebben. Černý (1975) heeft onlangs een bondig overzicht gegeven van de tegenwoordige stand van zaken in het onderzoek van granitische pegmatieten. Men heeft kunnen bewijzen dat een klein aantal van deze pegmatieten een metamorfe oorsprong heeft. Het overgrote deel van de granitische pegmatieten heeft echter een magmatische oorsprong.

Tachtig jaar lang zijn voor deze laatste ontstaanswijze zeer verschillende mogelijkheden naar voren gebracht uit diverse standpunten en wisselende invalshoeken: het open of gesloten zijn van het pegmatiet-systeem tijdens de vorming, de relatieve rol van druk en temperatuur, de relatieve belangrijkheid van smelten, pneumatolytische-hydrothermale oplossingen en latere metasomatische verdringingen. Jahns en Burnham (1969) zijn er in geslaagd om alle mogelijke mineralogische en structurele studies en experimenteel petrologisch laboratoriumonderzoek samen te vatten in een aanvaardbaar model voor pegmatiet-genese.

Ze hebben dat model bewust zeer algemeen gehouden, zonder in te gaan op de zeer divers samengestelde mineraal-assemblages in de verschillende pegmatieten. Hier volgt een korte samenvatting van hun theorie. In het model van Jahns en Burnham worden pegmatieten gevormd door de afkoeling en kristallisatie van een restmagma. Dit restmagma kan afkomstig zijn van 1) een intrusief granitisch lichaam, of 2) van een magma dat ontstaat door anatexis, het plaatselijk opsmelten van gesteenten tijdens metamorfose. Het restmagma bevat bepaalde hoeveelheden van opgeloste vluchtige bestanddelen, vooral water. Door dalen van de temperatuur treedt kris-

tallisatie op, eerst van watervrije mineralen in een normale korrelgrootte. Daardoor neemt het watergehalte in de resterende smelt relatief toe. Op een gegeven ogenblik is een restmagma aanwezig dat door de verdergaande kristallisatie of door drukvermindering verzadigd is met vluchtige bestanddelen. Dan treedt een "tweede kookpunt" op: een waterige oplossing gaat zich afscheiden van het silikaatrijke restmagma. Deze oplossing is een "fluïde fase", omdat zij zich onder superkritische omstandigheden van druk en temperatuur bevindt waar geen onderscheid te maken is tussen gas of vloeistof. Jahns en Burnham brengen het verschijnen van deze tweede fluid in verband met het optreden van reuzenkristallen en met de ontwikkeling van de diverse zones. Verdere kristallisatie produceert gelijktijdig fijnkorrelige mineralen uit het restmagma en grofkorrelige mineralen uit de waterige oplossing. De verdeling van elementen over de twee vloeistoffen en de snelle diffusie ervan in de waterige oplossing leidt tot de opvallende ruimtelijke scheiding van

Afb. 5. Gepolijst handstuk van de Gammelmorskärr-pegmatiet, Kemiö, Zuidwest-Finland; A — nevengesteente (amfiboliet), B — smalle kontaktzone (fijnkorrelige kwarts en veldspaat), C — deel van de grenszone: biotiet-kristallen loodrecht op het kontakt gegroeid in een aggregaat van kwarts en veldspaat. Zie kleurenfoto 3.



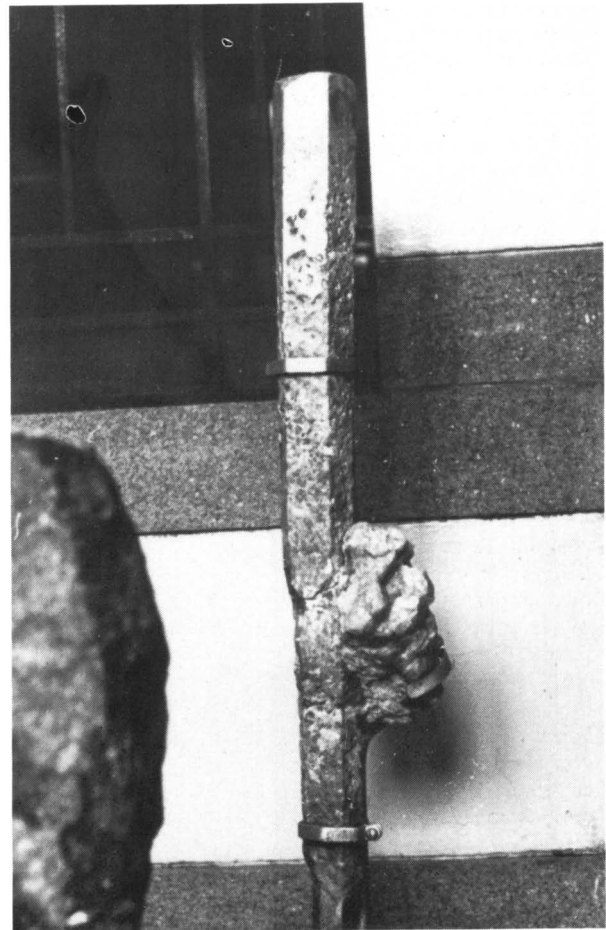
de vaste stoffen in het pegmatietstelsel. Uiteindelijk zal het silikaat-rijke magma volledig gekristalliseerd zijn en treden geleidelijk processen op die zich afspelen bij lagere temperaturen: het hydrothermale stadium en de hydrothermale omzettingen van eerder gevormde mineralen. In dit stadium worden de diskordante eenheden gevormd: de vervangingslichamen en de spleetopvullingen. Het voorkomen van de vele relatief heldere kristallen van edelsteen-kwaliteit (zowel in primair gevormde holtes als in spleten die gevormd werden door corrosie van eerder gevormde mineralen) wordt ook toegeschreven aan kristallisatie uit een waterige oplossing of gas, en niet uit een silikaat-smelt.

Twee zaken moeten nog wat nader toegelicht worden bij de genese van pegmatieten: zij zijn vaak vergezeld van aplieten, en zij bevinden zich meestal in de buurt van grotere graniet-lichamen. Aplieten zijn gangvormige lichamen van fijnkorrelige holokristallijne gesteenten met een granitische samenstelling; bovendien bevatten zij vaak precies dezelfde zeldzame mineralen (maar dan fijnkorrelig) als de pegmatieten waarbij ze voorkomen. Jahns en Burnham hebben een eenvoudige verklaring: als het granitische restmagma door welke reden dan ook zijn vluchtige bestanddelen verliest treedt een enorme drukvermindering op binnen het pegmatiet-systeem (de ketel blaast als het ware stoom af). Indien dit zeer snel gebeurt, bijvoorbeeld door breuken in het nevengeesteente, zal onmiddellijke kristallisatie van de smelt optreden met als resultaat de fijnkorrelige apliet in plaats van een grofkorrelige pegmatiet. Dat pegmatieten zich in de buurt van graniet-lichamen bevinden is te verklaren uit het feit dat zij gevormd worden uit een water-rijk restmagma van een granitisch magma (afb. 8). Het moge eenvoudig lijken om dit voorkomen van pegmatieten waar te nemen, veel moeilijker is het om te bewijzen dat een bepaalde pegmatiet in verband staat met een bepaalde granietintrusie! Dit doet men op grond van bepaalde overeenkomsten in mineralogie en chemische samenstelling tussen graniet en pegmatiet; in de laatste jaren is men er steeds meer in geslaagd om dergelijke oorzakelijke verbanden te leggen tussen granieten en pegmatieten.

Wellicht ten overvloede moet er nogmaals op gewezen worden dat het bovenstaande enkel geldt voor granitische pegmatieten die een magmatische oorsprong hebben. Granitische pegmatieten kunnen ook door metamorfose ontstaan en dan luidt het verhaal totaal anders!

## Mineralogie

Pegmatieten kunnen zeer rijk zijn aan mineralen; wellicht vormen pegmatieten de mineraalrijkste associatie die er is (met als uitzondering de roemruchte vindplaatsen Långban, Sterling Hill en Franklin, en Broken Hill). Schneiderhöhn (1961) heeft al 25 pagina's nodig voor een summier opsomming van de ongeveer 500 mineralen die in pegmatieten kunnen voorkomen. Sinds die tijd zijn er nog een aantal bij gevonden. Bekende mineraalgroepen uit pegmatieten zijn de lithium-mineralen, de beryl- en toermalijn-families, niobium-tantaal-mineralen, uraan-mineralen, verbindingen van de zeldzame aarden, en de fosfaten. Het is onmogelijk om in dit verband ook maar kort in te gaan op de mineralogie van pegmatieten. De uitgebreidheid van het gebied kan iets worden toegelicht aan de hand van de fosfaten. Uit pegmatieten zijn tot op heden tegen de 100 (!) verschillende fosfaat-mineralen beschreven. In Europa zijn bekende pegmatieten waarin veel fosfaten voorkomen: Hagendorf-Süd in Beieren, Viitaniemi in Finland, Varuträsk in Zweden en diverse pegmatieten rond Mangualde in Portugal. Het valt op zijn zachtst gezegd niet



Afb. 6. Beryl-kristal (97 cm hoog) uit de pegmatiet van Karlshus, Ostgöll, Noorwegen, in het mineralogische museum van Oslo.

meer om mineralen uit deze groep van elkaar te onderscheiden. Moore (1973) heeft voor amateurs en professionals een schitterende samenvatting geschreven over het voorkomen van fosfaten in pegmatieten, waarin hij na vele studies een eenvoudige verklaring kan geven voor de omstandigheden van hun genese en van de kristallisatievolgorde van de verschillende fosfaat-assemblages. Belangrijk is vooral dat hij aantoont dat het determineren van mineralen sterk vereenvoudigd wordt door een goede kennis van de paragenese, de volgorde van vorming van mineralen in een systeem.

Het is al veel vaker gezegd, maar hier volgt het nog een keer: koop en gebruik een goed mineralogieboek en probeer voor de diverse vindplaatsen de bijbehorende literatuur te vinden!

## Economische betekenis

Van oudsher zijn pegmatieten de enige bron geweest voor een aantal zeldzame elementen: zirkonium, hafnium, niobium, tantaal, lithium, beryllium, cesium, rubidium en de zeldzame aarden. Daarvan worden er een paar (bv. lithium) tegenwoordig uit andere gesteenten gewonnen. Voor Cs, Rb, en Be blijven pegmatieten de enige bron. Zo wordt cesium bv. in de westelijke wereld eigenlijk maar in drie landen geproduceerd: Canada (Bernic Lake pegmatiet), Zimbabwe (Kamativi pegmatiet) en Namibië (diverse pegmatieten). Al een paar honderd jaar, en ook nu nog, worden uit pegmatieten kwarts en veldspaten geëxploi-



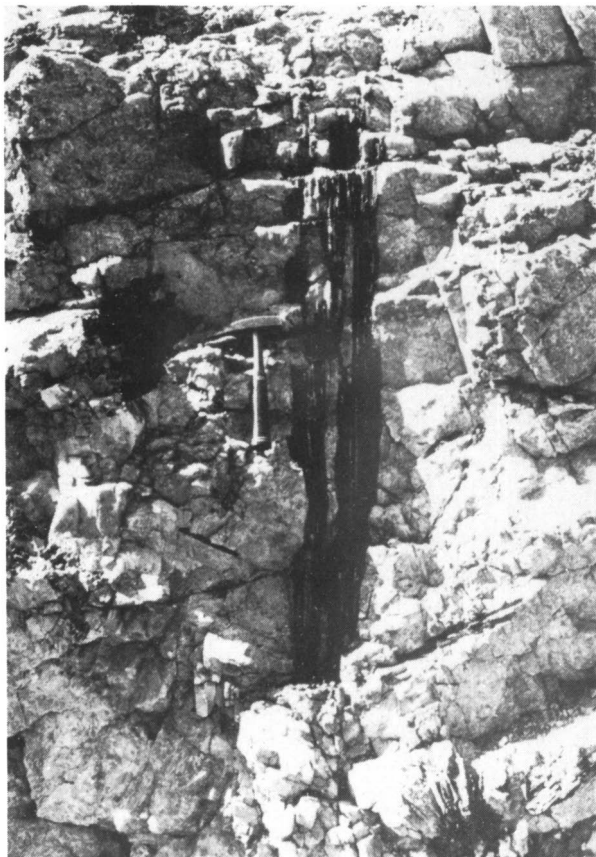
teerd ten behoeve van de keramische industrie; piëzo-elektrische kwarts wordt o.a. gebruikt in de elektronische industrie, waar ook grote hoeveelheden glimmer (biotiet en muscoviet) verwerkt worden.

Van alle gesteentetypes bevatten pegmatieten de grootste variatie van mineralen met edelsteen-kwaliteit. Op diamant na worden praktisch alle edelstenen in pegmatieten gevonden: anataas, apatiet, axiniet, smaragd en andere variëteiten van beryl (aquamarijn, morganiet, gosheniet), chrysoberyl (alexandriet), cordieriet, danburiet, diopsied, fluoriet, granaten, kornerupien, kwarts in alle mogelijke kleuren, kyaniet, lazuliet, phenakiet, rutiel, saffier en robijn, skapoliet, titaniet, spinel, spodumeen (kunziet en hiddeniet), topaas, toermalijn, veldspaten (bv. zonnesteen), zirkoon, en vele andere soorten die zelden of niet voorkomen in andere gesteenten.

## Vindplaatsgegevens

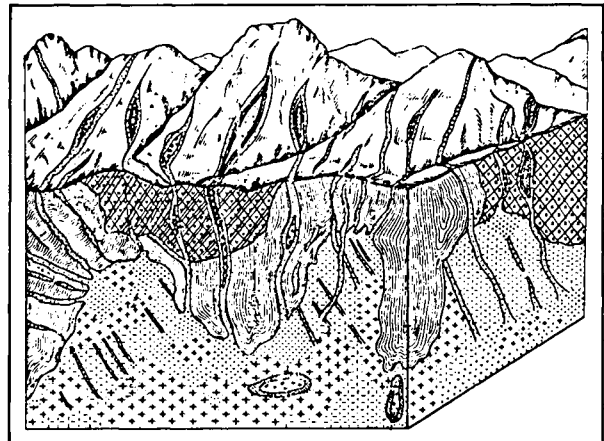
Gelukkig voor de verzamelaar verschijnen steeds meer gidsen en publicaties waarin pegmatieten beschreven staan: de series "Mineral-Fundstellen" en "Inventaire minéralogique de la France" zijn daarvan de beste voorbeelden.

Het meest uitgebreide pegmatietgebied van Europa is Skandinavië; veel voorbeelden zijn opgenomen in Band 4 van Mineral-Fundstellen. Het deel over Noorwegen daarin bevat bijna uitsluitend pegmatieten, met name die van de zuidkust. In Zweden zijn bekend Åskagen, Kolsva en Varuträsk, ook alle in Band 4 opgenomen; de bekende pegmatiet van Ytterby waar 6 chemische elementen werden ontdekt is beschreven in The Mineralogical Record,



Afb. 7. Toermalijn-kristal (zwart) in kwarts-veldspaatmassa (wit) van de Kaatiala-pegmatiet (Midden-Finland); let op de hamer als vergelijkings!

vol. 2, p. 136. In Finland zijn 5 grote pegmatiet-gebieden, die alle in Mineral-Fundstellen zijn opgenomen: Kemiö, Alavus-Kaatiala, Viitaniemi, Kangasala, en Tammela-Somero. De pegmatieten van de Alpen (Zwitserland, Oostenrijk, Italië) en hun mineralen zijn zeer goed beschreven in Gramaccioli's "Die Mineralien der Alpen". In Beieren komen een aantal bekende pegmatieten voor (Hagdendorf, Hühnerkobel, Pleystein); zij staan beschreven in Band 2 van Mineral-Fundstellen. Oostenrijkse pegmatieten worden vermeld in Band 5 en in Band 8 van dezelfde serie.



Afb. 8. Pegmatieten en aplieten in relatie tot een granitische intrusie. Naar Vlasov, uit Schneiderhöhn, 1961.

bij de kleurenfoto's:

11. links boven: **Schriftgraniet**, vergroeiing van grijze kwarts en rose mikrokliën, gepolijst oppervlak. De kwartsen zijn nagenoeg loodrecht op het basisvlak aangezaagd, wat blijkt uit de vele zeskantige doorsneden. Beeldvlak: 30x30 mm, vindplaats: Frikstad, Iveland, coll.: J.J. Graaff, Amersfoort.

12. links midden: **Mikrokliën met rasterstructuur en perthiet**. De rasterstructuur (cross hatching) is hier met het blote oog net zichtbaar. Deze structuur wordt veroorzaakt door albiet- en periklienvertweeling. De lichte aders zijn perthitische vergroeiingen van albiet (zie de tekst). Beeldvlak: ± 3x3 mm, vindpl.: Rossaas, Iveland, coll.: P. en J. Stemvers, Weesp.

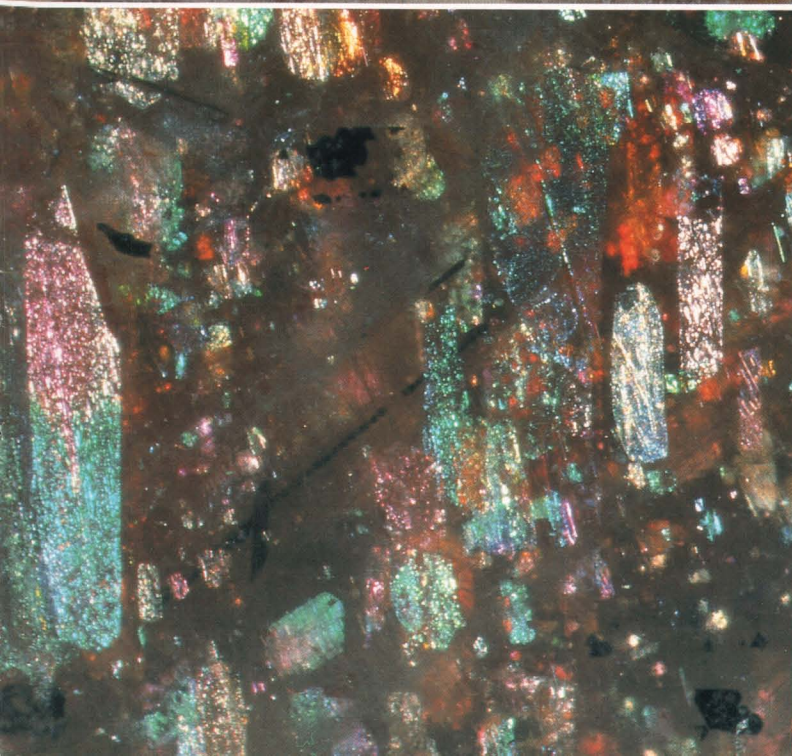
13. links onder: **Zonnesteen** (witte oligoklaas met bruine hematiet-lamelletjes). De hematiet geeft aan het mineraal een oranjebruine kleur. De lamelletjes zijn in een richting georiënteerd. Bij een bepaalde belichting lichten ze op in allerlei tinten. Zie ook kleurenfoto 16. Herkomst: Zuid-Noorwegen. In het Bamble-district liggen enkele vooromens. Afm.: ± 3x3 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.

14. rechts boven: **Fluoriet**, als fijnkristallijne overkorsting op lichtgekleurde plagioklaas. Vindpl.: omgeving Evje, afm.: 45x45 mm, coll.: G. en C. Smit, Haarlem.

15. rechts midden: **Cleavelandiet**, lamellaire albiet. Vindpl.: Landsverk, bij Evje, afm.: 18x18 mm, coll.: G. en C. Smit.

16. rechts onder: **Oligoklaas (plagioklaas) met lamellaire albiet-vertweeling**. Deze is met het blote oog of met een loep zichtbaar door ongelijke lichtreflecties. Ook dit handstuk bevat hematietblaadjes, hoewel minder dan dat van kl. foto 13. Vindpl.: Z-Noorwegen; afm.: ± 7x7 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.









17

19



18



20



21





bij de kleurenfoto's:

17. **Schörl** (zwarte toermalijn) met kwarts (grijswit) en mikrokliën (rosewit), in flinke, radiaalstralige kristallen. Vindpl.: Valle (parkeerplaats bij haventje), kust Bamble, Z-Noorw., afm.: 40x60 mm, coll.: P. en J. Stenvers, Weesp.
18. **Beryl**, lange zeshoekige, geelgroene kristallen, met muscoviet (glimmend, onderaan) in kwarts en veldspaat. Vindpl.: W-Kemiö, ZW-Finland, afm.: 40x60 mm, coll.: H. Kaper, Amsterdam.
19. **Molybdeniet**, weliswaar hexagonaal, maar meestal zonder eigen kristalbegrenzingsen, hier in duidelijk zeskan-tige vorm. Is licht loodgrijs en gemakkelijk met de nagel te krassen. Vindpl.: Kemiö, ZW-Finland, afm.: 24x28 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.
20. **Chrysoberyl**, groeniggeel, heeft veelal platte of dikke, plaatvormige kristallen; de hardheid is groot: 8½. De afb. toont de basissnede. Vindpl.: Kemiö, ZW-Finland, afm.: ± 5x7 mm, coll.: Inst. v. Aardw. VU, Amsterdam.
21. **Lithium-houdende muscoviet**, met groene toermalijn en witte veldspaat. Vindpl.: Viitaniemi, Finland; afm.: 7x11 mm, coll.: H. Kaper.

---

In Frankrijk komen pegmatieten vooral voor in Bretagne en in het Massif Central; van beide gebieden bestaan geologische en mineralogische gidsen. In Spanje zijn er pegmatieten in Galicië, en in Portugal bij Mangualde. Tenslotte kunnen vermeld worden de pegmatieten van het eiland Elba, waar vroeger prachtige veelkleurige toermalijnen gevonden werden.

## Literatuur

De enige literatuur over pegmatieten die naar mijn weten in het Nederlands is verschenen is Hoofdstuk 5 van Hurlbut's "Mineralen voor de mens" (pag. 71-91); het is een zeer goede samenvatting van de geologie en mineralogie van pegmatieten. Voor afzonderlijke vindplaatsen is men aangewezen op de eerder genoemde series en op beschrijvingen in de diverse jaargangen van tijdschriften als "Der Aufschluss", "Lapis", "Mineralien-Magazin", en "The Mineralogical Record". De onderstaande lijst is grotendeels vakliteratuur.

- Brotzen, O. (1959): Outline of mineralization in zoned granitic pegmatites. A qualitative and comparative study. — Geol. Fören. Stockholm Förhandl., vol. 81, p. 1-98.
- Cameron, E.N., Jahns, R.H., McNair, A.H. and Page, L.R. (1949): Internal structure of granitic pegmatites. — Economic Geology, Monograph 2, 115 p.
- Černý, P. (1975): Granitic pegmatites and their minerals: selected examples of recent progress. — Fortschr. Mineral., vol. 52, Spec. Issue: IMA-Papers, p. 225-250.
- Jahns, R.H. (1953): The genesis of pegmatites. I. Occurrence and origin of giant crystals. — The Amer. Mineral., vol. 38, p. 563-598.
- Jahns, R.H. (1955): The study of pegmatites. — Economic Geology, 50th Anniv. vol., p. 1025-1130.
- Jahns, R.H. and Burnham, C.W. (1969): Experimental studies of pegmatite genesis. I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. — Economic Geology, vol. 64, p. 843-864.
- Moore, P.B. (1973): Pegmatite phosphates: descriptive mineralogy and crystal chemistry. — The Mineral. Record, vol. 4, p. 103-130.
- Schneiderhöhn, H. (1961): Die Erzlagerstätten der Erde, Band II: Die Pegmatite. — Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 720 pp.

---

## ZUID-NOORWEGEN: schoolvoorbeeld van pegmatieten

door J. Stenvers-van Bommel

In West-Europa zal het fenomeen pegmatiet misschien wel nergens zo duidelijk geïllustreerd worden als in Zuid-Noorwegen. Afb. 1.

Honderden pegmatietgangen komen er in de Precambri-sche gesteentemassa's voor. Zij zijn granitisch van samenstelling. Niet-granitische pegmatieten zijn te vinden in het Oslo-gebied. Deze hangen samen met Permische intrusies en zullen in een apart hoofdstuk behandeld worden. Al bestrijkt Zuid-Noorwegen een groot gebied en zijn de pegmatieten er op veel plaatsen qua mineraalinhoud zeer interessant, toch lijkt de aandacht voor pegmatieten van velen zich toe te splitsen op één gebied: het Setesdal, ongeveer 50 km ten N van Kristiansand, met Evje en Iveland als welhaast magnetische aantrekkingspunten. De pegmatieten zijn daar dan ook wel heel bijzonder. De kristallen van de gesteentevormende mineralen zijn er uit-

zonderlijk groot, er komen vele bijzondere en zeldzame mineralen voor en de landstreek heeft veel wat een natuurminnende toerist kan bekoren. Op de zeldzame mineralen is al jaren een ware jacht gaande, wat door de bezitters van de groeven nu niet direkt als een voorrecht wordt beschouwd. Natuurlijk zijn deze zeldzame mineralen interessant (voor zover men ze tenminste kan herkennen!), maar waarom zouden we nu juist naar deze zaken zoeken, terwijl de hoofdmineralen er zo fantastisch groot en duidelijk voor het oprapen zijn. In de literatuur over pegmatieten krijgen de zeldzame mineralen steeds veel aandacht, hier zullen vooral de hoofdmineralen worden bekeken. Deze hoofdmineralen: mikrokliënperthiet (alkali-veldspaat), kwarts, muscoviet, biotiet, bereikten er enorme afmetingen, evenals trouwens sommige minder algemene. Zo is er een veldspaatkristal van 200 ton gevonden, zijn er