

# Zonering en paragenese in ertsen

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

## I. Inleiding

Het begrip „erts” is niet een geologisch, maar een economisch begrip: een erts is een mineraal of een associatie van mineralen die met winst geëxploiteerd kan worden om er een of meer metalen uit te winnen. Zit de winst er niet in dan spreekt men van een mineralisatie of een mineraalvoorkomen.

Een erts moet dus naast de gesteentevormende mineralen een bepaald (van zeer veel factoren afhankelijk) percentage mineralen bevatten waaruit het betreffende metaal gewonnen kan worden. Dit percentage kan zeer laag zijn: bv. 0.5 % voor bepaalde koper-ertsen, wat tevens inhoudt dat 99.5% van het erts bestaat uit gesteentevormende mineralen.

Omdat ertsen natuurlijk voorkomende aggregaten zijn van kristallen van diverse mineralen zijn ertsen geologisch gezien dus niet meer of niet minder dan gesteenten.

De principes die van toepassing zijn in de individuele kristalgroei (zie artikel van Prof. Hartman) en in de kristalgroei in gesteenten (zie artikel van Dr. Majer) zijn dus evenzeer van kracht in ertsen. Als voorbeeld daarvoor nemen wij het belangrijkste ertsmineraal van tin, cassiteriet ( $\text{SnO}_2$ ):

- in tinvoerende granieten in Afrika is vastgesteld dat de morfologie en de habitus (de uitwendige kristalvorm) van cassiteriet-kristallen zich wijzigen met de afstand tot de graniet, en dus met verschillen in vormingsomstandigheden;
- afzonderlijke kristallen van cassiteriet kunnen een zonaire bouw vertonen die overeenstemt met verschillen in chemische samenstelling tijdens de groei.

Ersen kunnen dus bestudeerd worden als „normale” gesteenten, zij het dat men dan tevens rekening moet houden met de stabiliteitsgebieden en ontstaanswijzen van de aanwezige ertsmineralen. In het algemeen houdt dit ook in

dat bepaalde ertsen samen voorkomen met bepaalde gesteente-types omdat de stabiliteitsgebieden en/of de noodzakelijke vormingsomstandigheden van gesteente- en ertsmineralen dezelfde zijn.

## II. Zonering in het algemeen

Reeds vanaf het begin van de meer uitgebreide mijnbouw (vanaf 15e – 16e eeuw) stelde men vast dat bepaalde mineralen in bepaalde ertsen voorkwamen, en dat de samenstelling van bv. ertsgangen zich zowel in de diepte als lateraal wijzigde.

Omdat gedurende lange tijd (tot ver in deze eeuw) de voornaamste rijke ertsen gangertsen waren die in een of ander verband stonden met intrusieve gesteenten (de zogenoemde pneumatolytisch-hydrothermale ertsen, zie *Gea*, Vol. 6, p. 68) heeft de ertskunde zich tot ver in deze eeuw vooral met die gangertsen bezig gehouden.

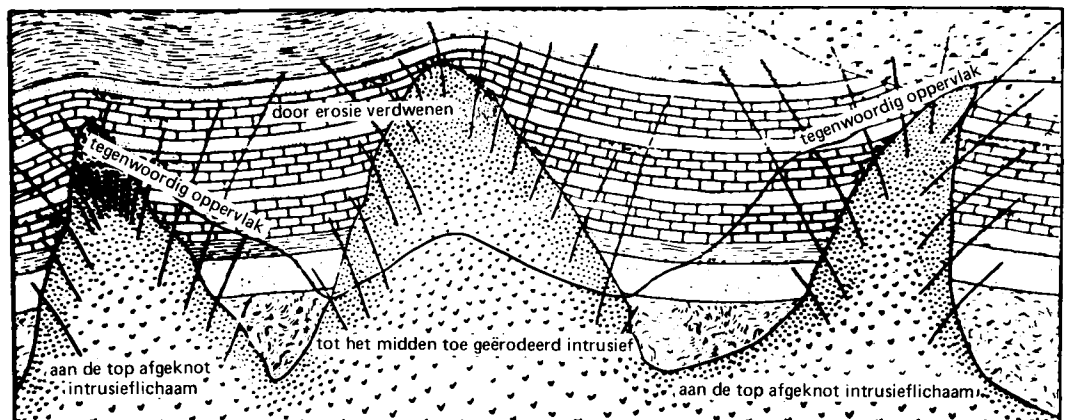
Men stelde vast dat er zich wat betreft mineralogische en chemische samenstelling systematische veranderingen voordeden, zowel binnen een individuele gang, als binnen een geografische groep van gangen rond bv. een graniet. Deze veranderingen noemde men **zonering**, ze werden geacht typisch te zijn voor deze gangertsen.

Men ging zelfs zover om ertsen die een zonering vertoonden, maar geen aanwijsbaar verband hadden met een graniet, telethermaal te noemen (vb. Maubach en Mechernich in de Eifel): immers, als er zonering aanwezig was, moesten die ertsen wel hydrothermaal zijn! Zelfs in recente handboeken wordt de term nog gebruikt.

Met de uitputting van vele gangertsen moesten er nieuwe methodes van mijnbouw ontwikkeld worden, en werden meer dan voorheen andere, meer massieve ertstypes geëxploiteerd en ook bestudeerd.

Min of meer verrassend kwam daarbij langzaam aan het licht dat er in feite weinig ertsafzettingen zijn van welke

Fig. 1: Ideale sectie door een intrusieflichaam, met plaatsen waar anders worden gevormd, waar delen van anders zijn verdwenen en waar delen van anders zijn overgebleven nadat de erosie tot de huidige oppervlakte is voortgeschreden. Bestanddelen van geërodeerde anders kunnen placer-afzettingen vormen.



(Naar B.S. Butler,  
A.I.M.E.)

aard dan ook waarin zich niet een of andere zonering voor-  
doet, bijvoorbeeld:

- gelaagde chromiet-afzettingen in ultrabasische gesteenten, vb. Bushveld, Z.-Afrika;
- sedimentaire Fe- en Mn-afzettingen vertonen een goed ontwikkelde zonering die voortkomt uit facieswisselingen (met daarbijbehorende zuurgraad en reductie-oxydatiepotentiaal), vb. Lake Superior, USA;
- gelaagde sulfidische ertsen vertonen onveranderlijk systematische verschillen in mineralogie en metaalverhoudingen, vb. Copperbelt, Zambia;
- Pb-Zn-afzettingen in kalksteen vertonen zonaire patronen die in verband staan met kalksteenbanken en -riffen tijdens de vorming;
- sommige U- en Au-afzettingen die gebonden zijn aan gelaagde gesteenten komen voor als groepen die zonair gerelateerd zijn aan oude kustlijnen en delta's;
- supergene zonaliteit kan ontstaan door meteoritische verwerking (inwerking van oppervlaktewater).

Kortom: er is in tegenstelling tot wat men vroeger dacht niets ongewoons aan de ontwikkeling van zonaire patronen in ertsen; een of andere vorm van zonering is praktisch altijd aanwezig in ertsen van gelijk welk type, zij het dat de oorzaken en de wijze van zonering zeer verschillend kunnen zijn. Het ontbreken van zonering is tegenwoordig een meer opvallend verschijnsel dan de aanwezigheid ervan.

### III. Zonering in pneumatolytisch-hydrothermale gangertsen

Omdat het een van de meest bestudeerde en beschreven verschijnselen in de ertsgeologie is, en omdat de zonering die er aan verbonden is zo typisch is, wordt nu verder ingegaan op de pneumatolytisch-hydrothermale gangertsen die genetisch verbonden zijn aan intrusieve granieten.

Als een granitisch magma geleidelijk aan stolt worden er een restmagma en gasvormige en waterige oplossingen gevormd omdat een aantal elementen die in het magma aanwezig zijn niet kunnen plaatsnemen in de gesteentevormende mineralen (kwarts, veldspaten, glimmers) van de graniet. Uiteindelijk vormen deze rest-oplossingen gangen met de metaalhoudende mineralen in en rondom de granitische intrusie. (Fig. 1).

Geologisch mogen zij dan een van de meest bestudeerde verschijnselen zijn, deze gangen zijn tevens een van de meest moeilijk te ontcijferen fenomenen omdat er zoveel factoren een rol spelen in hun ontstaan: oorsprong en wijze van transport van de oplossingen, stabiliteit van de vaak zeer veel samenstellende mineralen, kristalgroei-processen, ontwikkeling van structuren tijdens afkoeling en latere vervorming.

Een hydrothermale ertsvoerende oplossing verandert geleidelijk naarmate hij zich van zijn bron (in dit geval een granitisch magma) verwijderd. De oplossing reageert met het omringende nevgesteente, verandert van chemische samenstelling en zuurgraad naarmate er mineralen gevormd en afgezet worden, komt terecht in gebieden waar een lagere druk heerst, verliest warmte aan de koelere nevgesteenten.

Kortom: terwijl al deze fysische en chemische veranderingen zich voordoen bereiken de diverse gang- en ertsmineralen stuk voor stuk hun respectievelijke stabiliteitsgebieden, en worden zij dus in een bepaalde opeenvolging met elkaar en na elkaar gevormd en afgezet uit de hydrothermale oplossing.

De opeenvolging in tijd van de vorming van de diverse mineralen noemt men de PARAGENESE van een ertsafzetting; de verdeling in de ruimte van de mineralen noemt men de ZONERING van een ertsafzetting.

De bepaling van de opeenvolging in tijd van de mineralen wordt meestal vastgesteld op grond van de mikroskopische texturele kenmerken tussen de mineralen onderling.

De verdeling van de mineralen in de ruimte kan men vaststellen uit mineralogische verschillen in zowel horizontale als verticale doorsneden in een ertsgebied.

De zonering kan zich op zeer verschillende wijzen uiten: verschillen in de aanwezige mineralen (vb. cassiteriet op grote diepte in een mijn, chalcopyriet in hogere lagen); verschillen in metaal- of zwavelgehaltes (de Au/Ag verhouding varieert met de diepte in Au-mijnen); of zelfs subtiele verschillen in de verhouding tussen bepaalde hoofd- of sporenelementen (het Fe-gehalte van sfaleriet kan wisselen met de vormingstemperatuur).

Welk kenmerk ook gebruikt wordt om een zonering aan te duiden, het is duidelijk dat zonering en paragenese tegelijkertijd ontstaan: het zijn slechts twee aspecten van een zelfde gebeuren.

**Paragenese:** wordt dus vastgesteld op grond van mikroskopische structuren en texturen (vergroeiingen, omzettingen, ontmengingen, enz.) die beslissen welk mineraal eerder gevormd werd t.o.v. een ander. Door op deze basis alle mineralen van een mijn of een mijn-district tegenover elkaar te plaatsen kan men de relatieve opeenvolging in tijd van het ontstaan van de mineralen in hun geheel bepalen; op grond van deze waarnemingen kan men de volgende gegeneraliseerde uitspraken doen:

- de oxiden worden eerst gevormd;
- sulfiden en arseniden van Fe, Ni, Co, Sn, en Mo zijn in het algemeen gelijktijdig met of iets later dan de oxiden;
- Zn-, Pb-, Ag- en Cu-Fe-sulfiden zijn intermediair in de paragenese, en zijn gemengd met, of iets ouder dan Cu-, Pb- en Ag-sulfozouten;
- gedegen metalen en Te worden typisch laat gevormd;
- Sb- en Hg-sulfiden zijn de laatst gevormde mineralen.

**Zonering:** de paragenese van de mineraalvorming in bewegende ertsoplossingen veroorzaakt veranderingen in erts- en gangmineralogie tijdens het verloop van de afzetting. In het ideale geval van een „uitstralende“ hydrothermale oplossing vanaf een graniet resulteren de veranderingen in chemische samenstelling, temperatuur en druk langs spleten in de afzetting van verschillende mineralen in concentrische zones met toenemende afstand van de bron. (Fig. 2).

Veldwaarnemingen van mineraal-voorkomens van iedere schaal hebben aangetoond dat groepen van mineralen in een min of meer konstante opeenvolging worden gevormd vanaf de bron van de oplossing naar buiten toe.

In een ideale ertsgang krijgt men dan een opeenvolging van mineralen van onder naar boven zoals aangegeven in Gea, Vol. 6, p. 69, tabel 1.

Wat opvalt is dat de tabellen van paragenese en zonering in grote lijnen dezelfde zijn: de ene tabel is echter een weergave van de verdeling van de mineralen in de tijd, de andere een weergave van de verdeling van de mineralen in de ruimte; de verdelingen ontstaan natuurlijk tegelijkertijd: hoe groter de afstand vanaf de graniet, des te meer tijd is er over heen gegaan.

Echter: zoals te verwachten valt zijn er talrijke omstandigheden vast te stellen met verschillen tussen de bovenstaande theorie en de werkelijkheid: er kan overlapping en omkering van zonering voorkomen door bv. de aanwezigheid van twee magmatische centra, beweging van de centra tijdens de vorming, diverse periodes van mineralisatie na elkaar, enz. In die gevallen spreekt men van **telescoping**.

Zonering in ertsafzettingen wordt voor het gemak ingedeeld in drie klassen, gebaseerd op de uitgebreidheid van de zoneringsverschijnselen:

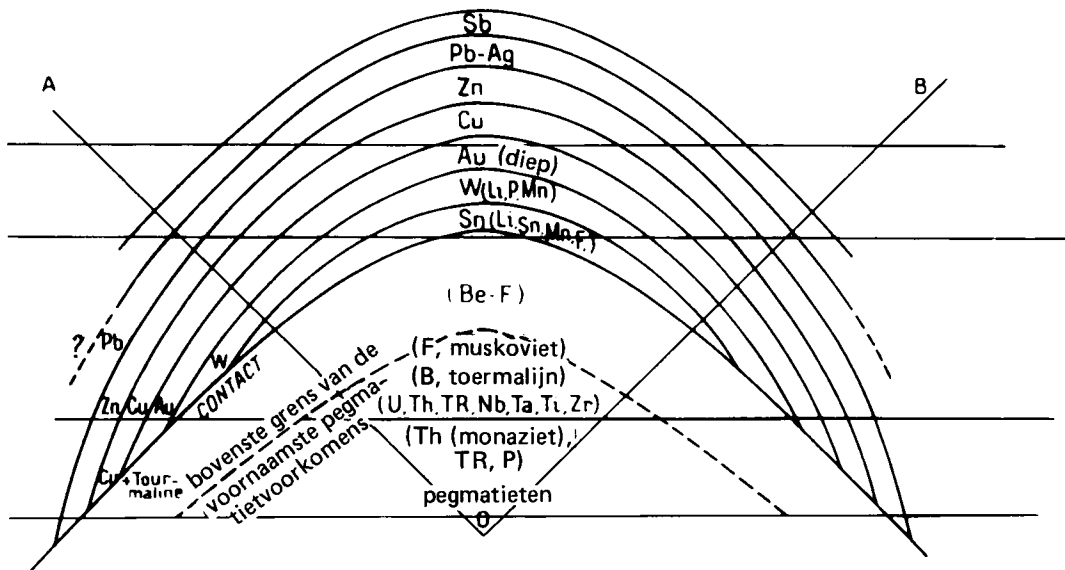


Fig. 2. Zonering van de „geochemische concentraties” om een granietplutoon: „normale” zonering (peri-plutonisch). (Naar Fersman, Géochimie, 1934, en Varlamoff, 1947, e.a.)

Uit deze samenvatting is kwik weggelaten, dat niet altijd aan granietplutonen gebonden is. De zones worden alleen maar gekenmerkt door de **overheersing** van een metaal; zij overlappen elkaar onderling.

De doorsnee AOB geeft het onderscheid tussen geochemische concentraties aan de top en aan de zijanten. Merk op hoe de zones de begrenzing van het plutoon snijden. Binnenin het plutoon, tussen haakjes aangegeven, staan de meest in het oog lopende kenmerken van de zonering in pegmatieten.

Dit schema is een samenvatting, zelfs van het bovenste deel kan niet verwacht worden, dat alle zones aanwezig zijn.

- regionale zonering op grote schaal, bv. de Southern Piedmont Province langs de Amerikaanse oostkust van Maryland tot Alabama;
- districtszonering van een groep mijnen, bv. Cornwall in Engeland, Butte in Montana (USA), en de Unterharz in W-Duitsland;
- zonering binnen een enkel ertslichaam, of binnen een enkele ertsgang.

Tenslotte: in de praktijk is het herkennen of ontdekken van een zonair patroon in een ertslichaam zeer belangrijk: op grond van het zonaire patroon kan men binnen een mijn veranderingen in samenstelling van het erts voorspellen naarmate de exploitatie van een afzetting vordert.

Voorbeeld: de verhouding hübneriet/ferberiet ( $MnWO_4/FeWO_4$ ) in wolframiet is hoger naarmate de vormingstemperatuur hoger is; deze h/f verhouding wisselt vaak in een zonair patroon. Binnen een mijn in het Erzgebirge werden de gevonden h/f waarden in kaart gebracht, en op het punt waar deze het hoogst waren werd de mijn verder uitgediept: 300 meter lager kwam men terecht in een tinhoudende greisen, die zoals bekend bij nog hogere temperaturen gevormd wordt, en dus dieper in de mijn moest zitten.

#### IV. Een voorbeeld van districtszonering: Cornwall

Het tin- en kopermijndistrict van Cornwall en Devon is al sinds lange tijd een klassiek voorbeeld van districtszonering.

De bron en de regionale verspreiding van de mineralisaties worden toegeschreven aan de intrusie van een groot granitisch lichaam van Hercynische ouderdom (Karboon-Perm,  $\pm 270$  miljoen jaar). Door de latere erosie dagzomen nu de toppen van dit lichaam in vijf grote massieven: Dartmoor, Bodmin Moor, St. Austell, Carnmenellis, en Land's End, met daarnaast nog tientallen veel kleinere massieven.

De intrusie van de graniet in het nevangesteente (devoon- en karboonsedimenten) veroorzaakte een uitgebreide kontaktmetamorfose met als resultaat de *killa's*: glimmerschisten en hoornrotsen met andalusiet en cordieriet. Door de intrusie werden de reeds eerder aanwezige splijtrichtingen (door eerdere gebergtevorming) van het nevangesteente verder opgebroken. In deze breuken werden de eindproducten van het granitisch magma afgezet: eerst kwartsporfieren („elvan's”), pegmatieten en aplieten, daarna de hydrothermale aders („lodes”) met het grootste gedeelte van de ertsmineralen.

Tijdens de nafase van de intrusie gebeurde er ook uitgebreide omzetting van de eerder gevormde graniet: greisen-vorming, toermalinisatie, chloritisatie, silicificatie, en kaolinisatie.

In Cornwall komen zowel de erts- als de gangmineralen voor in een serie van concentrische zones rond de voornaamste granietmassieven (fig. 3). Deze mineraalzones kunnen zowel lateraal als vertikaal in verband gebracht worden met de thermische gradient die bestond tussen het hete magma en het koude oppervlak. Omdat de diverse mineralen kristalliseren onder bepaalde omstandigheden van druk en temperatuur kunnen hun boven- en ondergrens van voorkomen beschouwd worden als vlakken van zelfde temperatuur die heerste in het nevangesteente tijdens hun afzetting.

Opeenvolgend werden dan gevormd Sn-W-, Cu-, Pb-Zn-, en Fe-Mn-mineralisaties (fig. 4): Sn-W-ertsen (die het eerst gevormd werden) bevinden zich vooral in de graniet zelf en komen buiten de *killa's* niet voor; de latere Cu-ertsen bevinden zich vooral in de *killa's*, terwijl de nog jongere Pb-Zn-ertsen ook buiten de *killa's* voorkomen; nog verder van de graniet verwijderd komen de laatst gevormde Fe-Mn-Sb-ertsen voor.

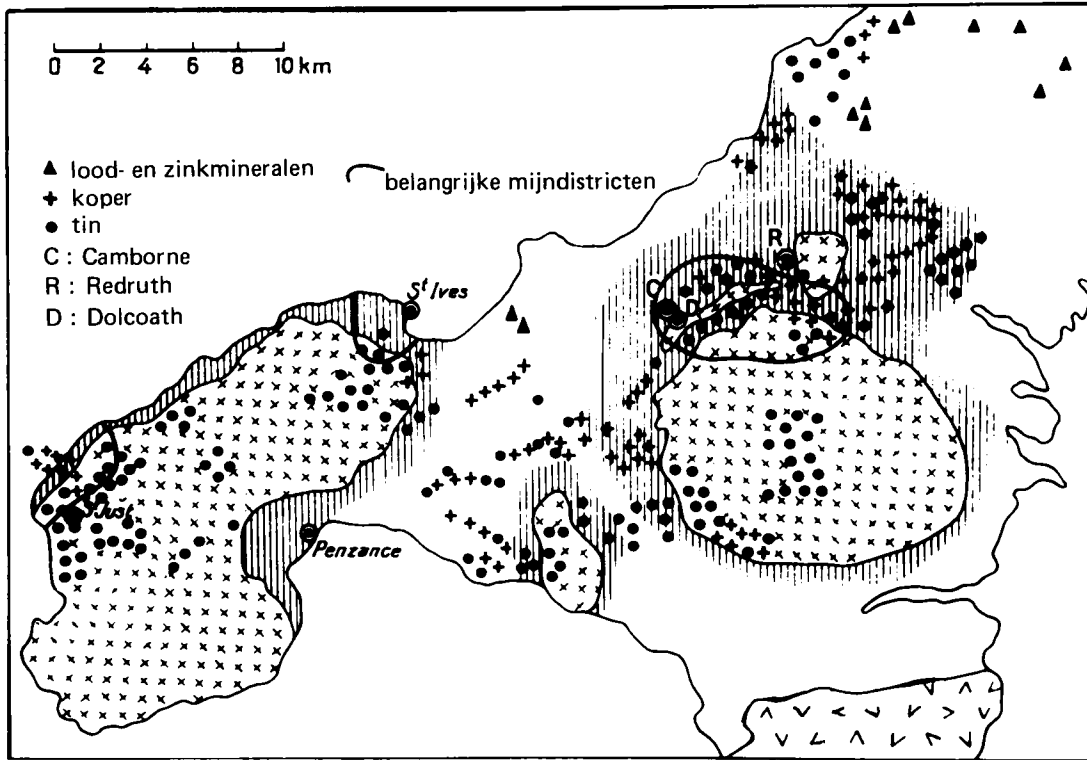


Fig. 3. Ertsvoorkomens in W-Cornwall, met tin-, koper-, lood- en zinkzones.

(Naar Schneiderhöhn, met aanvullingen van Hosking, 1952)

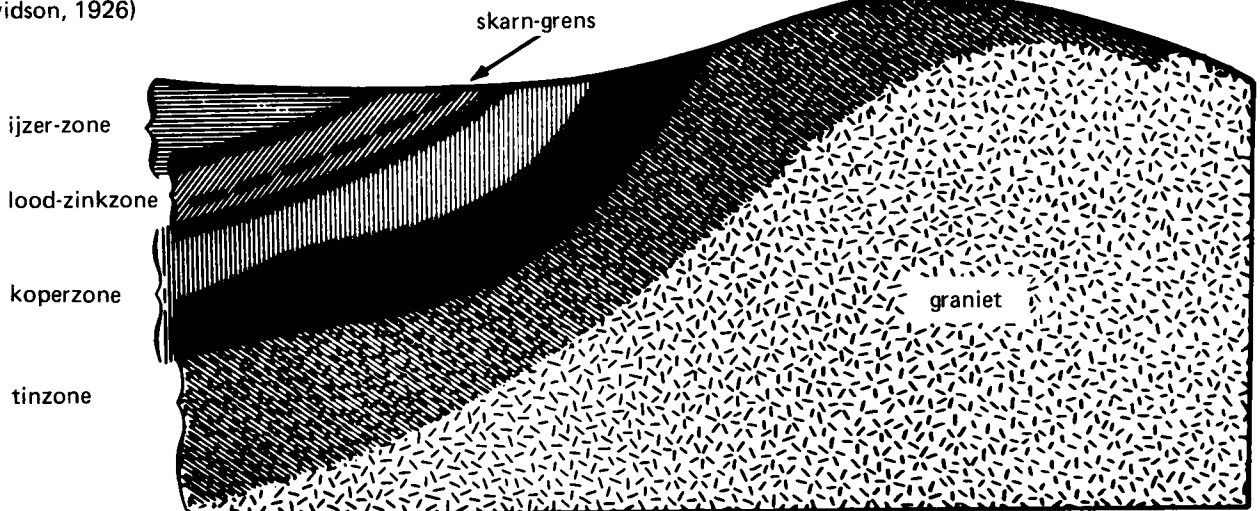
Het geheel van de gebeurtenissen rondom de intrusie van de graniet in Cornwall kan men samenvatten in een generaliseerde paragenetische tabel waarin de verdeling van de mineralen in tijd en ruimte wordt weergegeven: gangmineralen, ertsmineralen en omzetting van graniet en nevengeesteente door diverse processen (fig. 5).

Het eind-resultaat is een paragenese en zonering van mineralen waaruit men de vormingsomstandigheden kan afleiden.

Samenvattend: Als een magma intrudeert in het nevengeesteente bereiken diverse mineralen op verschillende tijd en plaats de stabiliteitsgebieden waarin zij gaan kristalliseren. Welke mineralen uiteindelijk gevormd worden is afhankelijk van een aantal factoren: samenstelling van het oorspronkelijke magma, mate van uitwisseling met het nevengeesteente, verloop van temperatuur en druk, enz.

Echter: wat hierboven in het kort over Cornwall is gesteld is een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Er zijn namelijk talrijke complicaties: er bestaan in Cornwall omgekeerde zoneringen en ook voorbeelden van telescoping; het staat nu wel vast dat er in Cornwall meerdere fasen van mineralisatie geweest zijn. Het is een proces dat begonnen is in het Karboon-Perm en dat pas in het Tertiair (Eoceen) geëindigd is; ook nu worden er nog warme minerale bronnen in mijnen aangetroffen.

Fig. 4. Schets van mineraalzones in Cornwall. (Naar Davidson, 1926)



Schematisch voorgestelde verticale relaties tussen de gangmineralen, de zones van de ertsmineralen en de omzetting van de nevengesteenten in ZW-Engeland.		onderverdelingen van de hydrothermale ertsafzettingen		voornaamste ertsmineralen	soorten en verbreiding van economisch belangrijke elementen	omzetting nevengesteente						
		zone (Hosking)	subklasse (Lindgren)									
	gegeneraliseerde porogene van gangmineralen	dikte (bij benadering) in m (Dewey, 1925)	temp. (bij benadering) van formatie in °C	7	subklasse (Lindgren)	geen ertsen (pyriet) hematiet, stibniet, jamesoniet tetrahedriet, bournoniet sideriet pyriet (markasiet)	Fe Ag Pb Zn U Ni Co	Gegreiseniseerde graniet Kwarts-sericiet-vlekleien Getoermaliniseerde graniet Toermalijn-vlekleien Gechloritiseerde lei Gehematitiseerde graniet Gehematitiseerde lei Gesilicifiseerde graniet Gesilicifiseerde lei Skarnachtige gesteenten afkomstig van groensteen en kalksed.				
				6					mesothermale en epithermale lodes o.h.a. loodrecht op graniet-ruggen	argeniet, galeniet, sfaleriet pekblende, nikkelien skutterudiet, cobaltien		
				5b	hypothermale lodes o.h.a. evenwijdig aan granietruggen en dykes						chalcopyriet sfaleriet wolframiet (scheeliet) arsenopyriet pyriet	Cu W As
				5a					wolfram (scheeliet) arsenopyriet cassiteriet			
				3						cassiteriet wolfram (scheeliet) arsenopyriet cassiteriet		
				2								
				1	anders, vaak in graniet				arsenopyriet, stanniet wolframiet, cassiteriet molybdeniet			
grei- sen	arsenopyriet, wolframiet molybdeniet											
pegma- tieten		arsenopyriet, wolframiet cassiteriet molybdeniet										

In 1969 was nog slechts één mijn in bedrijf in Cornwall: South Crofty. Door allerlei wijzigingen in de metaalmarkt zijn er nu weer vijf of zes in werking en een aantal nieuwe concessies zijn uitgegeven. In 1973 werd er 3.500 ton tin geproduceerd, het hoogste cijfer in 55 jaar; in 1974 was de produktie weer gedaald tot iets boven 3.000 ton.

#### Literatuur

Algemeen over zonerings- en paragenese in ertsen: Park, C.F. and MacDiarmid, R.A. (1970): *Ore Deposits*, 2nd. Edition. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 522 pp.  
Routhier, P. (1963): *Les gisements métallifères*. Masson et Cie., Paris, 1282 pp.  
Stanton, R.L. (1972): *Ore Petrology*. McGraw-Hill, New York, 713 pp.  
Symposium on Problems of Postmagmatic Ore Deposition, Prague 1963: Geological Survey of Czechoslovakia; Vol. I

edited by J. Kutina (1963), 588 + 219 pp., Vol. II edited by M. Štemprok (1965), 595 pp.

In deze boeken zijn korte samenvattingen van de ertsen uit Cornwall opgenomen.

Over Cornwall:

Brons, J.-H. (1973): *Ertsen. Gea*, Vol. 6, pp. 67-70.  
Edmonds, E.A., McKeown, M.C., and Williams, M. (1969): *British Regional Geology, South-West England*, 3rd. edition. Her Majesty's Stationery Office, London, 130 pp.  
Hurlbut, C.S. (1973): *Mineralen voor de mens*, Hoofdstuk 18: De mijnen en mineralen van Cornwall. Uitgeverij Contact, Amsterdam, pp. 272-280.

Voor diegenen die willen verzamelen in Cornwall:

Cedric Rogers (1968): *A collector's guide to minerals, rocks and gemstones in Cornwall and Devon*, 49 pp. + aantal kaarten. Te verkrijgen bij D. Bradford Barton Ltd., 18 Frances Street, Truro, Cornwall.

---

## Groei en kristalgroei in de organische natuur

door Dr. H.E. Coomans  
Zoölogisch Museum Amsterdam

De kristalgroei in de organische natuur is slechts een onderdeel van de groei van de levende wezens in het algemeen. Het verschil tussen de levende en de levenloze natuur wordt duidelijk gedemonstreerd in de groeiprocessen. In vroeger eeuwen werd de natuur verdeeld in drie natuurrijken: plantenrijk, dierenrijk en het rijk der mineralen. Tegenwoordig spreken we liever over de levende en de niet-levende natuur. Het gebruik van de term "dode natuur" is onjuist, want de levenloze natuur is niet dood. De dood behoort bij het leven, want al wat leeft zal eens sterven. Maar wat levenloos is komt nimmer tot leven, en heeft derhalve ook geen bemoëienis met de dood.

Tussen de organische natuur, zo genoemd omdat de levende wezens zijn opgebouwd uit organen, en de anorganische natuur bestaan een aantal opmerkelijke verschillen en overeenkomsten.

Allereerst valt op dat het aantal verschillende mineralen zeer gering is vergeleken met het aantal plante- en diersoorten. De mineralogie kent ongeveer 2000 soorten mineralen, en dat getal neemt jaarlijks toe met enkele nieuwe soorten. Maar het aantal recente, dus nú levende plante- en diersoorten, overtreft verre de één miljoen, en dagelijks worden er nieuwe soorten aan deze lijst toegevoegd. De levende natuur is derhalve honderden malen rijker aan soorten dan het mineralenrijk, en daarbij hebben we de fossielen nog niet eens meegeteld.

Chemisch gezien zijn de mineralen betrekkelijk eenvoudige verbindingen, ondanks dat ze de beschikking hebben

over het gehele scala van honderd elementen. In de levende natuur treffen we zeer ingewikkelde verbindingen aan, hoofdzakelijk koolstofverbindingen, en naast koolstof (C) worden nog slechts een tiental andere elementen gebruikt, zoals zuurstof (O), waterstof (H), stikstof (N), calcium (Ca), kalium (K), natrium (Na), ijzer (Fe), magnesium (Mg), fosfor (P), mangaan (Mn) en zwavel (S).

De groei bij de mineralen is onzichtbaar omdat ze zo langzaam verloopt. We kunnen de kristalgroei wel waarnemen bij het uitkristalliseren in een oplossing, maar bij de mineralen in de natuur kunt u echt niet wachten op de groei van een kristal. Zelfs het betrekkelijk snel groeien van stalactieten en stalagmieten van  $\text{CaCO}_3$  in een druipsteengrot is langzaam te noemen in vergelijking tot de groei van planten en dieren. (Misschien wordt daarom gesproken over een "levende" grot, waarin de druipsteenvorming nog steeds plaats vindt, in tegenstelling tot een "dode" grot waarin dit proces is opgehouden). Nu kunt u tegenwerpen dat de groei bij levende wezens ook niet zichtbaar is, maar wanneer we een jong kind enkele maanden niet gezien hebben dan is onze eerste uitroep "wat ben jij groot geworden". Ook de plantengroei in het voorjaar is onvoorstelbaar snel, hetgeen bezitters van een tuin wekelijks merken bij het gras maaien en onkruid wieden.

Het groeiproces bij de mineralen verloopt min of meer constant, wanneer de omstandigheden zich niet wijzigen; maar bij de levende wezens is er een snelle groei tijdens de jeugd, daarna neemt de groeisnelheid af en ze stopt met het bereiken van de volwassenheid. Kristallen kunnen steeds doorgroeien, theoretisch is er geen grootte-limiet. Maar elk organisme bereikt een zekere grootte, en dan komt de groei tot stilstand.