

ERTSEN

door: Jan-Hessel Brons



Een ertsafzetting is een gesteente-afzetting, waaruit nuttige mineralen met winst te exploiteren zijn. Daar ligt de basis voor een belangrijke toepassing van de geologie, ingeklemd in een economisch keurslijf. Dat delfstoffen een enorme betekenis hebben in onze maatschappij is voor een ieder duidelijk. Wat behoort tot de ertsen? Metalen en metaalhoudende mineralen en enkele andere, zoals zwavel en fluoriet, noemen we erts. Er behoort niet toe: steen, klei, zout, olie e.a. We moeten wel bedenken, dat 'waarde' een relatief begrip is ten opzichte van deze tijd en dat vanuit het oogpunt van de natuur al die ganggesteenten, die nu op de storthopen van een mijn terechtkomen en alle andere gesteentevormende mineralen even belangrijk zijn als het door de mens zo vurig gewenste koper- of zilvermineraal. In elk gesteente vindt men de meeste elementen terug en kijken we naar de metalen, dan zien we gemiddelde waarden van ppm's (parts per million). Het is niet mogelijk deze er op redelijke wijze uit te halen, zowel technisch als economisch niet. Alleen waar de natuur in volle gulheid een duizendvoudige aanrijking heeft gepleegd, liggen nu de mijnen. Dit eerste gemiddelde heet 'Clarkse waarde' van een element. De grens waarboven exploitatie van een ertshoudend gesteente mogelijk is heet de afbouwgrens (cut off grade). Het zoeken naar deze ideale plaatsen geschiedt door exploratie-geologen aan de hand van ervaringen en wijze lessen van reeds bekende vindplaatsen.

De eerste groep van ertsen zijn epigenetisch ontstaan. Dat betekent, dat het erts op één of andere manier duidelijk later aan een gesteente is toegevoegd (dus later dan het gesteente ontstaan is). De andere groep, waarbij erts gelijktijdig met het gesteente ontstaan is, heet syngenetisch. Van de epigenetische ertsen weten we, dat de metaalconcentraties als vloeibare of gasvormige massa door spleten in vast gesteente van hogere ouderdom gedrongen zijn en door niet altijd even duidelijke processen ergens zijn neergeslagen. Maar het resultaat is een voormalige spleet, die geheel of gedeeltelijk gevuld is met erts: een ertsader. De oorsprong van deze waterige oplossingen ligt in een stollende magmahaard. Dit genetisch verband tussen stollingsgesteenten en erts werd o.a. onderkend, omdat nikkel, chroom en platina steeds gevonden werden in associatie met donkere, ultrabasische gesteenten zoals noriet (soort gabbro) en peridodiet (olivijngesteente). Tin daarentegen altijd met granieten, zoals in Cornwall (Zuid-Engeland) en koper-spikkelertsen met porfiergesteenten. Van een magma dat in de aardkorst omhoogstijgt, blijft gedurende het stollen een steeds kleiner deel over: de restfractie. Het afkoelen gaat volgens twee wegen: de randen worden steeds dikker door het contact met het omringende koudere gesteente en gelijktijdig zinken kristalletjes, eerst van basische samenstelling (olivijn, pyroxenen, amfibolen en plagioklaas) naar beneden.

Nog iets over die grenzen: voor elk element is de vraag en de prijs ongeveer bekend volgens het marktprincipe van vraag en aanbod. De rijkste vindplaatsen raken langzamerhand uitgeput of men komt in zones met lagere gehalten in een mijn. Daarentegen is het technisch kunnen enorm toegenomen hetgeen kostenbesparend heeft gewerkt, terwijl over het algemeen de prijzen wel gestegen zijn. Was het nog ondenkbaar om driekwart eeuw geleden kopererts te winnen beneden een gehalte van tien procent en dan alleen uit oxydische verbindingen zonder moeilijke vergroeiingen, nu voldoen sulfidische ertsen van één procent Cu de vraag op de wereldmarkt. De belangrijkste voorwaarde daarbij is het kunnen aanvoeren en verwerken van zeer grote hoeveelheden erts, tot honderdduizend ton per dag. Ook al is zo'n afzetting niet erg rijk in de zin van een hoog gehalte, de inhoud van dergelijke ertslichamen is gigantisch. Zoals in Chili, waar de kopermijn Chuquicamata de genoemde dagproductie haalt, maar waar desondanks nog genoeg voor ver in de volgende eeuw is.

De omlaaggezakte kristallen vormen een dik pakket donkere gesteenten, die de basis uitmaken van de rest van de stollingsgesteenten uit hetzelfde magma. Doordat de basische elementen (calcium, ijzer, titaan, magnesium, chroom e.a.) dus sterker verbruikt worden in dit eerste deel van de stolling, vindt er een differentiatie (scheiding) plaats. Dat houdt ook andere gesteentesoorten in. Want daarna ontstaan uit hetzelfde, nu zuurdere en relatief aan natrium, kalium en aluminium aangerijkte magma de zure stollingsgesteenten als graniet en syeniet. Daartussen ligt nog een overgangsfase met vorming van gesteenten met intermediaire samenstelling, zoals grandioriet en monzoniet.

Het is de bedoeling van deze artikelenreeks over ertsen om naast het belangrijkste uit de systematiek de nadruk te leggen op de paragenese, het samen voorkomen van mineralen, op enkele mogelijkheden van zonering en oxydatie (secundaire mineralen) in afzettingen. Volledigheid over de vaak toch discutabele chemische processen van ontstaan werkt verwarrend en wordt daarom niet nagestreefd.

De eerste erts-onderafdeling, die door omlaagzinken ontstaat uit een nog vloeibaar magma heet **liquidmagmatisch**: het zijn de chromiet-ilmeniet-ertsen met nikkel in basische gesteenten. Ook ertsen met gedegen platina uit de Oeral en magnetiet-apatiet-ertsen van Kiruna (Noord-Zweden) behoren hiertoe. De tweede groep ertsen ontstaat als een aureool om het magma, doordat gassen of vloeistoffen vanuit het magma in het nevangesteente binnendringen. Zo is de reactie van carbonaatgesteenten, kalk en mergels met deze gassen uit het magma de oorzaak van rijke, maar smalle randen van **skarnen**, bestaande uit magnetiet en hematiet, om de stollingsgesteenten. **Kontakt-metasomatische** afzettingen is de verzamelnaam. **Metasomatose** wijst op het binnendringen van de gassen uit het magma en contact op de nabijheid van de magmahaard. Er komen zeer zeldzame mineralen uit deze afzettingen: bevatten de gassen beryl, dan ontstaan ludwigiet en kotoiet, maar geen toermalijn want daarvoor is de temperatuur niet geschikt. Ilvaïet en hoge-temperatuur sulfiden kunnen voorkomen: molybdeniet en pyriet.

Ondertussen wordt de ruimte voor het nog gesmolten deel van het magma steeds kleiner. Verder wordt de concentratie van die elementen, die nog niet ingebouwd werden in mineralen, steeds hoger. Dat is "relatief armer". Het oorspronkelijke magma bevatte 1-8 pct water en dat vinden we grotendeels in deze restsmelt terug: nu is wel 40 pct van het totaal overgeblevene water. Ook koolzuur is er nog met zwavel, chloor, fluor, fosfor, arseen. Een aantal metalen: koper, goud, lood en andere. Samen worden ze vluchtige bestanddelen of volatielen genoemd. De temperatuur bedraagt nu 500 graden C en de druk wordt steeds hoger in deze "cel" met gassen. Het is overigens niet duidelijk of er erg veel verschil in het gedrag van vloeistoffen en gassen is bij deze druk en temperatuur. Water boven de kritische temperatuur (374°C bij 225 atmosfeer druk) bevindt zich eigenlijk in de gasfase, maar is qua dichtheid weinig verschillend van een vloeistof. Hoewel de ene onderzoeker heel duidelijk verschil maakt (Schneiderhöhn) tussen pneumatolytisch (wijzende op die gasfase) en hydrothermaal (uit vloeistof, dus alleen beneden 374 graden C mogelijk) merken andere onderzoekers niet het verschil op bij ertsen die ontstaan zijn rond deze temperatuur en verwaarlozen op die praktische gronden het theoretische verschil tussen gasfase en vloeibare fase. Alles wat uit een waterige oplossing ontstaat is bij een temperatuur boven ongeveer 80 graden C heet hydrothermaal. Maar vooreerst is er nog gesmolten gesteente onder gasdruk. Wanneer de druk te hoog wordt, gaat de magmarest (de "cel") gebruik maken van zwaktezones, waar aanleg is voor breuken en scheuren. Deze ontstonden al bij het omhoogkomen van het magma in het bovenliggende nevangesteente. De cel kan ook tektonisch (dus door een invloed van buiten af) afgetapt worden. Dan dringt de smelt met volatielen in en door het pasontstane kristallijne gesteente met krimpscheuren, dat de wand vormde van de voormalige cel. Vaak dringt het door deze wanden tot in het nevangesteente. De druk is in de cel weggevallen en de smelt heeft het meeste water verloren: de smelt is nu "droog". Daardoor stolt dit restant erg snel met kleinere kristalletjes. Maar uit de smelt in de spleten, zeer reactief door de hoge concentratie volatielen, ontstaan de pegmatieten: grofkorrelige gesteenten met soms erg zeldzame mineralen. Natuurlijk alleen met mineralen die bij hoge temperatuur en druk kunnen ontstaan. De mineraalinhoud varieert: van dezelfde samenstelling als het stollingsgesteente, maar dan in "overdreven grote" kwartsen, veldspaat- en mika-kristallen, via topaas-beryl-pegmatieten naar pegmatieten met hoge temperatuur, ertsen: oxyden van wolfram en tin en sulfiden van molybdeen. Lithium-mineralen zoals lepidoliet (parse mika) en spodumeen komen

alleen uit pegmatieten. Ook toermalijn ontstaat bij hoge temperatuur in dergelijke afzettingen. Wordt bij de pegmatiet-vorming het restant van het magma opgebruikt te zamen met een deel van de volatielen, de grootste hoeveelheid van de waterige oplossing gaat verder naar boven via de spleten en kieren van het nevangesteente op zoek naar steeds lagere druk. Deze komt daarom in contact met koudere gesteenten. Afname van temperatuur en druk en reactie met sedimenten, waarbij het oorspronkelijke zure karakter steeds basischer wordt, heeft het neerslaan van de metalen in oxydische of sulfidische verbindingen tot gevolg. De hydrothermale ertsen vormen dan ook vanaf deze pegmatieten een continue reeks met alleen graduele overgangen. De scheidingen (bij de in tabel 2 gevolgde indelingen van hypo-meso-epi-telethermaal zijn dus arbitrair. Een scherpe overgang is nooit aan te wijzen over een afstand van zeg honderd meter in een mijn gang of schacht. Maar het karakter kan in zo'n grensgebied over die afstand bijvoorbeeld veranderd zijn van galeniet met een zilveragehalte plus ook wat sfaleriet naar sfaleriet-erts met nog vrij veel galeniet, nu zonder zilver. "Telescoping" is de term voor een ertsader, waarin de groepen van metalen elkaar over een ongebruikelijk korte afstand opvolgen. Daar is sprake geweest van snelle afkoeling. Of het gesteente was zo dicht (de spleten zo nauw) dat de ertsoplossingen niet konden "opschieten". De metalen sloegen dus over korte afstand neer, want de afkoeling ging door. De ideale hydrothermale afzetting, continu en compleet, zou er uitzien als in tabel 1 vermeld staat, met de diepste (hoogste temperatuur-zone) onderaan. De indeling van tabel 2 is vooral op druk en temperatuur gebaseerd. De groepen van tabel 1 met elk een kenmerkend metaal zijn (met overlap) te plaatsen binnen dit schema, zoals in de laatste kolom staat. Nu zal het in de natuur nooit zo ideaal gevonden worden. Verder is een mijn maximaal 2 km diep, men is dus nog niet zo een-twee-drie in een andere zone. Daarom is de stand van erosie beslissend voor wat er te delven valt. Hebben we te maken met verticale en diagonale aders, dan kan alleen tin en wolfram gemijnd worden in gebieden van Precambrië of Paleozoïsche ouderdom. Daar zijn die bovenste kilometers met al het erts van de groepen tot ca. 12 uit tabel 1 verwijderd door de erosie. Het is dus logisch in zulke gebieden dichtbij of zelfs in de randen van een granietmassief naar kassiteriet te zoeken. Daar kan het aangetroffen worden in paragenesemet wolframiet, scheeliet, topaas, toermalijn en fuchsiet (chrom-mika). In nog oudere gebieden treft men de basis van het ex-magma aan: de donkere, ultrabasische gesteenten. Maar waar opheffing een grote rol gespeeld heeft, zoals dat het geval is bij bergtegvorming, is dit verband tussen tijd en erts verstoord: daar vinden we ook in jongere gebieden de op grote diepte en bij hoge temperatuur afgezette ertsen.

In gebieden waar erosie nog niet zover is voortgeschreden komen de ertsafzettingen, gevormd onder mesothermale omstandigheden, binnen handbereik van de mijnbouwers: uitgebreide lood-zink-zilver-afzettingen van de Harz. Daar is het grote graniet-complex de mogelijke oorsprong van de erts-voorkomens. Een geweldig voorbeeld van duidelijke zones ligt rond een aantal granieten van Carbonische ouderdom, ingedrongen in schalies, in Cornwall en Devon, Zuid-Engeland. Eromheen liggen de aureolen in de vorm van skarnen in de schalies. Daardoor lopen de aders. Figuur 1. Verbinden we vergelijkbare punten in verschillende aders door lijnen, dan worden schematische zones verkregen. Dat is gebeurd in een profiel door graniet en schalie in figuur 2; de lijnen zijn doorgetrokken en vormen imaginaire zones in het vroegere, nu weggeërodeerde nevangesteente. Op de kaart liggen deze ertszones als cirkels in en rond de

dagzoom van de granieten. Tinmijnen in Cornwall en Devon zijn vanaf de Oudheid tot het begin van deze eeuw erg productief geweest. Allereerst voor kassiteriet (tin-oxyde). Hoewel de aders naar dieper toe steeds rijker werden, woog dat niet op tegen de kosten van mijnen op meer dan twee km diepte. Ook de concurrentie in deze eeuw van alluviale afzettingen in Nigeria en Maleisië en de met goedkope arbeidskrachten onderonvoorstelbaarbare omstandigheden gedolven tinertsen van Bolivia, is slopend gebleken. In de tinzone in Cornwall heeft de oplossing ook gereageerd met de graniet en deze hydrothermaal omgezet in "greizen" (een gesteente vankwarts en mika) of in toermalijn-kwarts-gesteente. Zwarte schorl komt naast blauwe naaldjes van toermalijn voor. Kassiteriet gaat vergezeld van wolframiet en verder naar buiten, van de graniet af, ook van arseen- en uraan-ertsen. Daar naderen we de zone van koperertsen: eens vormden deze koperertsen 3/4 van de wereldproductie. Ook hier werden de schachten steeds dieper. Men kwam van de schalie in de graniet. Een enkele keer vond zo'n koperader een vervolg in een kassiteriet-ader. Veel vaker raakte de ader uitgeput en verliet men de mijn.

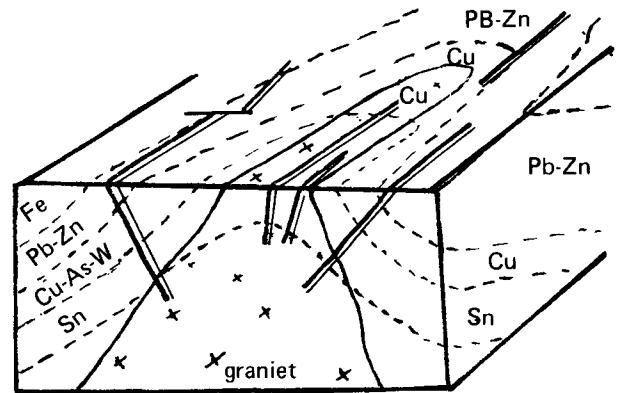
tabel 1

1. leeg - geen erts : chalcedoon, kwarts, fluoriet, amethyst.
2. kwik : cinnaber met chalcedoon en markasiet; bariet - fluoriet.
3. antimoon : stibniet met naar beneden overgang naar galeniet.
4. goud-zilver : 'Bonanza-afzettingen'. Argentiet met arseen en antimoon; telluriden en seleniden. Adulaar, calciet, rhodochrosiet.
5. leeg - geen erts : kwarts, carbonaten, pyriet, chalkopyriet, sfaleriet en galeniet. Onderste van de meeste Tertiaire afzettingen.
6. zilver : argentiet-aders, stibniet, arsenopyriet; kwarts, sideriet.
7. lood : galeniet-aders met een beetje zilver, ook met sfaleriet en chalkopyriet. Ganggesteenten zijn kwarts en carbonaten.
8. zink : sfaleriet-aders; galeniet met chalkopyriet meestal aanwezig; kwarts; carbonaten van calcium, ijzer of mangaan.
9. koper : tetraëdriet met zilveragehalte; chalkopyriet, enargiet-aders met tetraëdriet in zgn. 'porphyry coppers'.
10. koper : chalkopyriet-aders met pyriet en pyrrhotien, kwarts en orthoklaas. Edele metalen. Uraniniet, pekblende.
11. goud : afzettingen met pyriet, arsenopyriet, kwarts en carbonaten.
12. arseen : arsenopyriet met chalkopyriet.
13. bismut : bismutien, gedegen bismut, kwarts en pyriet.
14. wolfram : wolframiet, scheeliet, arsenopyriet, pyrrhotien, pyriet, chalkopyriet.
15. tin : kassiteriet met kwarts, toermalijn, topaas en veldspaat.
16. leeg : kwarts, veldspaat, pyriet, carbonaten e.a.

Blokdiagram met ertszonering in Cornwall

figuur 1

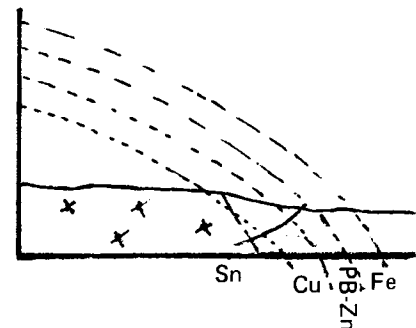
Aangezien een ader eigenlijk een plaat is, kan naast zonering in de diepte ook laterale zonering voorkomen



— ader

figuur 2

Ader begint met Pb-Zn aan de oppervlakte, can Cu en tenslotte Sn.



tabel 2

	temperatuur in °C:	diepte:	pl. min. groepen tabel 1
hypothermaal	500 - 300	10 - 4 km	15 - 9
mesothermaal	300 - 200	4 - 1,5 km	9 - 6
epithermaal	200 - 50	1,5 - 0,3 km	4 - 2
telethermaal	<90°	<300 meter	

Pas later, na meer inzicht in de zonering verkregen te hebben, groef men door, langs de ertsloze ader van kwarts en carbonaat (ganggesteenten) en kwam bij de kassiteriet. Kaolien is graniet, door de hydrothermale oplossingen grondig omgezet. Dat was te winnen als grondstof voor porselein (china clay). De zones, volgende op koper, waren niet erg rijk aan lood, zink en zilver. In dit mijndistrikt (het gebied, waarbinnen ertsen door dezelfde gebeurtenis ontstaan, liggen) zijn verder nog de zone van sideriet (ijzercarbonaat) bekend en gangen met bariet, fluoriet en rhodochrosiet (mangaanhoudende carbonaat). Uit de tabel blijkt dat dicht aan het oppervlak kwik en antimoon kunnen neerslaan. Deze metalen zijn dus het langste in de oplossing gebleven. Veronderstellen we, dat ze ook in oplossing vervoerd zijn als sulfiden zoals ze zijn afgezet, dan is dat onvoorstelbaar. De oplosbaarheid van beide sulfiden is zo gering dat hoeveelheden water nodig geweest zouden zijn van de orde van grootte van de Amazone-rivier.

En dat door wat spleten! Het vervoer zal dus wel in andere vorm hebben plaatsgevonden : kolloïdaal of als complexe verbindingen met chloor. Dan ontstaat er op een voor elk metaal verschillende plaats (afhankelijk van temperatuur) het sulfide en gaat chloor verder met het water naar boven. In vulkanische gebieden komt dan ook met het water chloor in grote hoeveelheden uit warme bronnen. Ook nog zwavel, dus dat is in overmaat in de oplossingen aanwezig geweest. Fluor wordt onderweg gebruikt voor fluoriet, barium voor bariet, silicium voor kwarts en koolzuur voor carbonaten: calciet en rhodochrosiet; alle vijf zijn ganggesteenten. Zo kunnen we uit de mineraalinhoud van de ader plus wat er als warme bron met gassen aan de oppervlakte uitkomt, opmaken wat er in het oorspronkelijke magma als volatielen aanwezig geweest is. Na deze samenhang tussen de ertsen van hoge temperatuur zal in een volgend artikel een samenvatting volgen van de meso- en telethermale afzettingen en verdere ertsgroepen.

