

EKLOGIET: een stem uit de diepte

door Kees Maijer

Eklogieten zijn aantrekkelijke gesteenten, zowel voor de wetenschapper als voor de amateur, en wel om drie redenen:

1. Ze zijn mooi, met hun frisgroene en roodbruin gekleurde mineralen;
2. Ze zijn relatief zeldzaam. In de ons omringende landen zoals Duitsland, Frankrijk en Groot-Brittannië zijn hooguit enkele vindplaatsen bekend.
3. Het zijn uitzonderlijke metamorfe gesteenten gevormd bij uitgesproken hoge druk (HP – High Pressure) tot zeer hoge druk (UHP – Ultra High Pressure), op grote tot zeer grote diepte (> 35 km, niet zelden > 100 km).

Eklogieten komen vooral voor als lenzen en banden in metamorfe complexen gerelateerd aan subductiezones, van verschillende graden van metamorfose (granuliet-, amfiboliet- of glaucofaanschist-faciës). Soms komen eklogieten ook voor als banden in ultramafische peridotietlichamen en als insluitel in bazalt of kimberliet. Hoe zeldzaam eklogieten zijn, wordt duidelijk als we ons realiseren hoeveel meer voorkomens er zijn van amfiboliet en groenschisten, gesteenten die globaal dezelfde chemische samenstelling bezitten, maar gevormd zijn bij lagere temperatuur en druk in een omgeving met voldoende water.

Eklogieten kunnen de goede verstaander – zeker als hij toegang heeft tot geavanceerde analyseapparatuur – veel vertellen over de temperatuur- en drukomstandigheden op grote diepten; niet zelden geven zij ook informatie over de omstandigheden tijdens hun reis naar het aardoppervlak. Het (U)HP-karakter van eklogiet blijkt al direct uit de hoge dichtheid: ~ 3.5 g/cm³ vergeleken met ~ 3.0 g/cm³ voor een gabbro van dezelfde chemische samenstelling.

Mineralogie van eklogieten

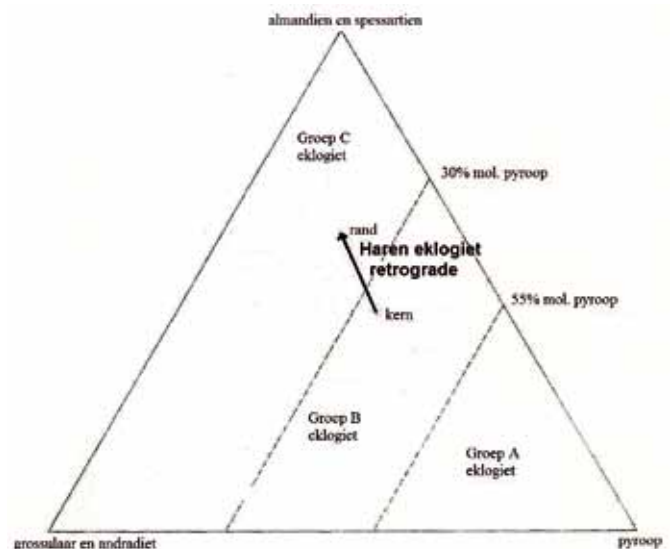
Eklogieten hebben dezelfde chemische samenstelling als gewone basische gesteenten, zoals bazalt en gabbro, maar hun mineralogie is bijzonder. Eklogieten bestaan gewoonlijk slechts uit twee hoofdmineralen: roodbruine granaat en grasgroene clinopyroxeen (afb. 1). Nu zijn nagenoeg alle granaten en clinopyroxenen mengkristallen, maar beide mineralen hebben in eklogiet een ongewone samenstelling. Granaat bevat een aanzienlijk gehalte aan de HP-component pyroop en in de clinopyroxeen zit een hoog gehalte aan de HP-component jadeïet. De granaat is vooral een mengkristal van de eindleden almandien (Fe-Al), pyroop (Mg-Al) en grossulaar (Ca-Al), met minder spessartien (Mn-Al) en andradiet (Ca-Fe³⁺) (afb. 2). De clinopyroxeen is vooral een mengkristal van de eindleden diopsied/hedenbergiet en jadeïet, met minder aegirien. Een dergelijke jadeïet-rijke clinopyroxeen wordt omfaciet genoemd. Beide gehalten hangen af van de vormingscondities en zijn een belangrijk gegeven voor geothermometrie en geobarometrie. In eklogiet kunnen naast granaat en clinopyroxeen ondergeschikte hoeveelheden voorkomen van kwarts, kyaniet, hoornblende, orthopyroxeen, zoïesiet, glaucofaan en phengiet (een kleurloze glimmer, maar Mg/Fe-houdend, Si-rijker en Al-arter dan gewone muscoviet. Accessorisch komen rutiel, apatiet, zirkoon en zeer zelden ook diamant voor.

Er zit geen plagioklaas in. De Na-component van plagioklaas gaat naar de jadeïet-component van de clinopyroxeen, de Ca- en Al-component van plagioklaas verdelen zich over granaat en clinopyroxeen. Het ongewoon hoge jadeïetgehalte van de clinopyroxeen, het hoge pyroopgehalte van de granaat en het phengietgehalte van de kleurloze glimmer zijn helaas niet duidelijk zichtbaar in een handstuk of in gewone slijpplaatjes onder een polarisatiemicroscop, maar blijken pas na chemische analyse.



Afb. 1. Deze karakteristieke eklogiet, met roodbruine granaat en grasgroene omfaciet, is afkomstig uit Saalbach, Fichtelgebirge, Beieren. Breedte 6 cm. Collectie Instituut voor Aardwetenschappen Universiteit Utrecht, catalogus nummer 1880-930. Foto Jan Langendoen.

Het pyroopgehalte van granaat en het jadeïetgehalte van clinopyroxeen verschillen aanzienlijk van eklogiet tot eklogiet. Het pyroopgehalte wordt gebruikt voor een driedeling van de eklogieten (Coleman et al., 1965).



Afb. 2. Diagram met de driedeling van granaatsamenstellingen in eklogieten (Coleman, 1965).

A. Uit ultramafische complexen en als insluitels in bazalt en kimberliet;

B. Uit gneis- en migmatietcomplexen;

C. Uit glaucofaanschisten.

Het verloop van de samenstelling van de kern naar de rand van de granaat van de eklogiet-zwerfsteen van Haren is aangegeven (zie Langendoen & Van Roermund).

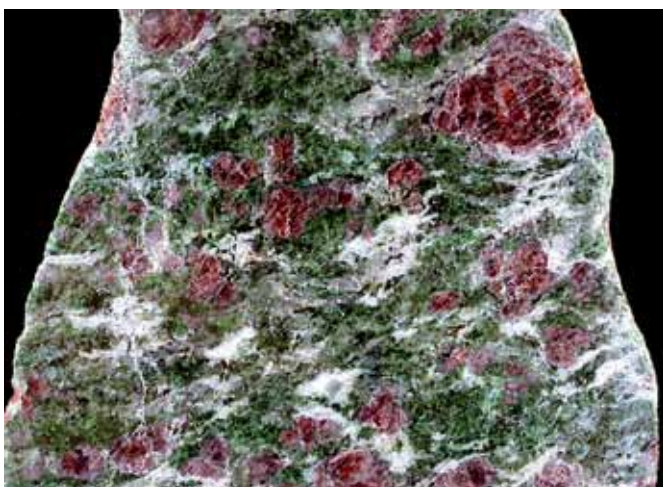
Groep A. Eklogieten met een pyroopgehalte van >55%. Zij komen voor in peridotiet-complexen en als insluitsels in bazalt en kimberliet;

Groep B. Eklogieten met een pyroopgehalte tussen 30 en 55%, en vaak met primaire hoornblende en zoisiet. Deze komen voor in gneiss- en migmatietcomplexen, omgeven door amfiboliet; en **Groep C.** Eklogieten met een pyroopgehalte van <30% en soms met primaire glaucofaan. Zij komen voor als banden en lenzen in alpiene orogene zones en als blokken in glaucofaanschisten.

De reis van eklogieten

Eklogieten zijn dus op grote diepte gevormd en hebben een lange weg afgelegd voordat ze het aardoppervlak hebben bereikt, hetzij doordat zij daadwerkelijk omhoog gekomen zijn in de korst, hetzij door erosie van het bovenliggende gesteente. Tijdens deze miljoenen jaren durende 'reis' zijn de druk- en temperatuurcondities langzaam veranderd. Al of niet geholpen door deformatie en de aanwezigheid van water, zal de primaire mineralogie van de eklogieten zich tijdens deze reis in meer of mindere mate aangepast hebben aan de gewijzigde omstandigheden. Indien er nog relictten van de oorspronkelijke mineralogie herkenbaar zijn, spreken we van retrograde eklogiet, retro-eklogiet of meta-eklogiet. De meeste eklogieten vertonen een dergelijke aanpassing aan lagere druk en temperatuurcondities in meer of minder sterke mate. Wanneer de reis naar het aardoppervlak zeer lang – vele tientallen miljoenen jaren – heeft geduurd, kan de aanpassing aan de nieuwe omstandigheden compleet zijn, en is in het geheel niet meer te achterhalen dat het gesteente oorspronkelijk een eklogiet geweest is. In eklogietinsluitsels in bazalt of kimberliet daarentegen is de primaire mineraalsamenstelling vaak nog goed bewaard gebleven. Hun reistijd van grote diepte naar het aardoppervlak was zo extreem kort dat gelegenheid voor aanpassing aan lagere druk- en temperatuurcondities ontbrak.

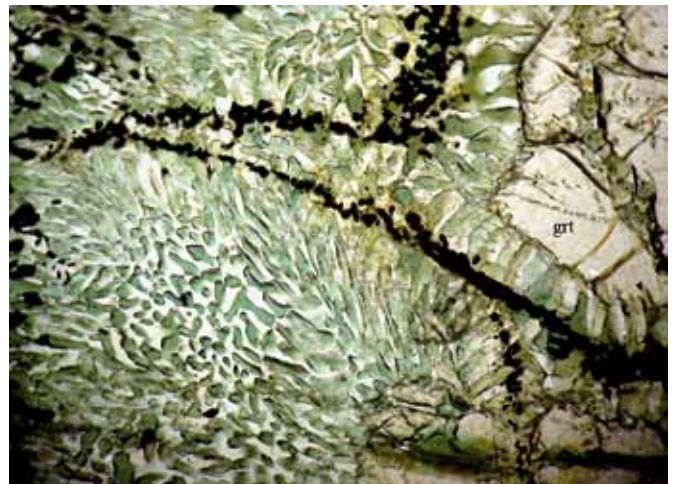
Retrograde aanpassing van eklogiet aan lagere P-T-condities en hogere watergehaltes kan vaak al in het veld worden waargenomen, vooral als de typische groene clinopyroxeen en roodbruine granaat – gedeeltelijk – zijn vervangen door mineralen met andere kleuren, als donkere, groenzwarte hoornblende en witte plagioklaas (afb. 3). De mate van aanpassing kan sterk variëren, zelfs binnen één eklogietlens. Relictten van pyrooprijke granaat en omfaciet vinden we vooral in de kern van de eklogietlens; de omzetting is vaak het sterkst aan de buitenzijde met de vorming van plagioklaas en hoornblende, tot uiteindelijk een amfiboliet van gewone chemische samenstelling.



Afb. 3. Eklogiet van Almenningen, West-Noorwegen, met de bekende roodbruine granaat en groene clinopyroxeen. De witte vegen van plagioklaas wijzen op enige retrograde aanpassing aan lagere P-T-omstandigheden. Breedte 10 cm. Verzameling en foto Jan Langendoen, legaat E. Kleis.

Als de retrograde aanpassing niet gepaard gaat met deformatie, toont de oorspronkelijke granaat vaak een kelyfytische rand: een fijnkorrelige reactierand die vaak bestaat uit radiaalstralige vergroeiingen van vooral amfibool en plagioklaas, soms met erts en meestal met magnetiet (afb. 4). De resterende granaat is vaak zonair geworden met in de kern nog zijn oorspronkelijke (HP) pyrooprijke samenstelling, terwijl de randen zich hebben aangepast aan de lagere druk- en temperatuurcondities). Onder dergelijke omstandigheden wordt ook omfaciet instabiel en kan uiteenvallen in symplectieten: zeer fijnkorrelige onregelmatige vergroeiingen van (natriumarme) clinopyroxeen (diopsied/hedenbergiet) en (natriumrijke) plagioklaas (zie afb. 5b in het artikel van Langendoen & Van Roermund in deze Gea).

Ook binnen één monster zijn lang niet altijd alle HP-mineralen in dezelfde mate aangepast aan de omstandigheden van lage druk. Zo kunnen de in granaat ingesloten omfacietkorrels, de zogenaamde gepantserde relictten (*armoured relicts* in het Engels) hun oorspronkelijke jadeiet-rijke samenstelling bewaren, terwijl omfacietkorrels buiten de granaat zijn aangepast aan lagere drukomstandigheden. Gedegen textureel en analytisch onderzoek kan zo soms meerdere stadia van de (primaire en retrograde) ontwikkeling van HP-gesteenten vastleggen in termen van druk- en temperatuurcondities die doorlopen zijn.



Afb. 4. Microfoto van een symplectitische vergroeiing van plagioklaas (kleurloos) en amfibool (lichtgroen) in een kelyfytische rand om en ontstaan uit een oorspronkelijke granaat. Rechtsboven en rechtsonder zijn nog relictten zichtbaar. De sporen van kleine opake korreltjes geven mogelijk de oorspronkelijke begrenzing van de granaten aan. Gepolariseerd licht, evenwijdige nicols, beeldbreedte 1 mm. Foto Jan Langendoen.

Geothermometrie en geobarometrie

Met geothermometrie en geobarometrie wordt verstaan het onderzoek om de temperatuur en druk te bepalen waaronder specifieke metamorfe mineralen - of in evenwicht gevormde mineraalparen - zijn gevormd. Dit gebeurt door in het laboratorium gecontroleerde experimenten met mineralen uit te voeren onder verschillende temperatuur- en drukomstandigheden. Zo kan de verdeling van Fe en Mg tussen ortho- en clinopyroxeen, en tussen biotiet en granaat, of de verdeling van Fe en Ti tussen magnetiet en ilmeniet gekoppeld worden aan specifieke druk- en temperatuuromstandigheden. Regelmatig komen er nieuwe technieken beschikbaar en worden bestaande (analyse-)methoden verbeterd of aangepast.