

Een bijdrage van de Werkgroep “Optische Petrologie 1”: Zirkoon pseudomorf naar baddeleyiet

door Kees Maijer en Laurent Delvoye, Joris Höfelt, Jan Langendoen, Jack Lanting, Bob van Lubeck, Floris den Ouden, Dolores Pi Pujol, Ans en Henk Scheerboom, Babet Schipper, Joke en Piet Stemvers

Het element zirkonium, Zr, komt in veel gesteenten voor als sporenelement. Het gehalte aan Zr in zure, granitische gesteenten is gemiddeld rond de 150 ppm, maar in basische gesteenten gewoonlijk lager. Door de eigen iongrootte en de 4-waardige valentie past Zr slecht in de kristalroosters van gewone, gangbare gesteentevormende mineralen als kwarts, veldspaten, glimmers, amfibolen, pyroxenen, etc., waardoor zirkonium – ondanks de lage gehalten – toch eigen Zr-mineralen vormt. Het meest gangbare Zr-mineraal is **zirkoon**, zirkoniumsilicaat ZrSiO_4 ; het komt in veel gesteenten voor als accessorisch bestanddeel. De kristallen zijn echter gewoonlijk zo klein dat zirkoon zelden macroscopisch is te onderkennen. In slijpplaatjes, daarentegen, is zirkoon vaak makkelijk te determineren vanwege zijn vrij opvallende eigenschappen (kristalvorm: vaak idiomorfe tetragonale zuiltjes in stollingsgesteenten, in (meta)sedimenten vaak afgerond; hoog relief: $n \sim 1,95$; hoge dubbelbreking: $\Delta \sim 0,06$; 1-assig positief). Een veel minder bekend Zr-mineraal is **baddeleyiet**, zirkoniumoxyde ZrO_2 , wat gezien zijn samenstelling vooral voorkomt in silica-ondverzadigde gesteenten.

Deze inleiding over Zr-mineralen is bedoeld om geïnteresseerde Gea-lezers te laten delen in een ervaring van de Werkgroep “Optische Petrologie 1”. Deze ervaring komt voort uit de klassikale behandeling en bestudering van metagabbro MA 877 uit Nissedal, centraal Telemark, Zuid-Noorwegen, uit de collectie van het Instituut voor Aardwetenschappen, Utrecht. Klassikaal omdat van dit jong-Pre-cambrijsche gesteente voldoende slijpplaatjes beschikbaar zijn om de hele groep hetzelfde gesteente te laten bestuderen. Hierbij bleek dat een hele groep meer ziet dan een enkele docent. Daardoor zijn meer en mooiere voorbeelden van een bepaald kenmerkend aspect boven tafel gekomen, in ons geval boven de microscooptafel. Enkele gebruikte gesteente- en mineraalnamen worden later toegelicht.

In slijpplaatjes van de metagabbro blijkt deze voor bijna 50 % te bestaan uit een netwerk van ongerichte, zonaire plagioklaaskristallen (An 55-35), met talrijke lamellaire tweelingen. Maar de oorspronkelijke mafische bestanddelen: pyroxeen en/of olivijn, zijn geheel vervangen door fijnkorrelige aggregaten van groene hoornblende, al of niet vergroeid met, of met een kern van, fijnkorrelige kleurloze cummingtoniet. De plagioklaas is langs korrelgrenzen, barsten en spijtvlakken ten dele vervangen door fijnkorrelige aggregaten en bandjes van heldere, kleurloze Na-rijke scapoliet. Als nevenbestanddelen komen relatief veel apatiet en opake mineralen voor (zie afb. 4); in opvallend licht blijken de opake mineralen door zowel magnetiet, ilmeniet als enige pyriet te zijn vertegenwoordigd. Vooral om en nabij de opake mineralen komt ook biotiet voor.

De metagabbro vertoont nog een duidelijk gabbroïde textuur, wat impliceert dat het gesteente niet is gedeformeerd. De latere metamorfose had een strikt statisch karakter.

Als accessorisch bestanddeel komt – naast enige sporadische kleine allaniet (ca. 10 korrels in 28 slijpplaatjes) – vooral zirkoon voor. Zirkoon komt echter niet voor als concrete korrels, maar steeds als heel fijnkorrelige, polykristallijne aggregaatjes; het fijnkorrelige karakter is vooral goed te zien met gekruiste polarisatoren. De zirkoonaggregaatjes hebben een variabele vorm (hoekig (afb. 1), ovaal, langgerekt (afb. 2, 3, 6, 7), met uitstulpingen, in kransjes etc.) en van grootte

(tot ~ 0,4 mm, een enkele tot 0,7 mm, afb. 7). Ze komen voor als insluitel in plagioklaas (afb. 2, 3, 7), hoornblende (afb. 1), biotiet (afb. 1, 5, 6) en scapoliet (afb. 4). Dat het vrijwel zeker toch om zirkoon gaat is gebaseerd op de hoge brekings-index, de sterke dubbelbreking, een enkel 1-assig positief

Afb. 1, MA 877-13. Onregelmatig, 0,25 x 0,20 mm groot aggregaat van fijnkorrelige zirkoon, pseudomorf naar vier bijeenliggende baddeleyietkorrels. Let op de pleochroïtische hoven (~ 20 µm breed) in bruine biotiet (rechts) en, vager, in groene hoornblende; rechts in het slijpplaatje een gat, bovenin kleurloze plagioklaas. De foto meet ~ 0,6 x 0,4 mm; gepolariseerd licht.

Afb. 2, MA 877-2. Twee fijnkorrelige zirkoonaggregaatjes van verschillende vorm, één langgerekt (~ 250 x 35 µm) en één ovaal (~ 165 x 100 µm), pseudomorf ontstaan uit twee baddeleyietkorrels; in plagioklaas en scapoliet. De foto meet ~ 0,6 x 0,4 mm, gepolariseerd licht; vergelijk afb. 3.

Afb. 3. Als afb. 2, maar met gekruiste polarisatoren. Let op het duidelijk fijnkorrelige karakter van de zirkoonaggregaatjes. Grijs is plagioklaas, al of niet met lamellaire tweelingen, wit is fijnerkorrelige scapoliet

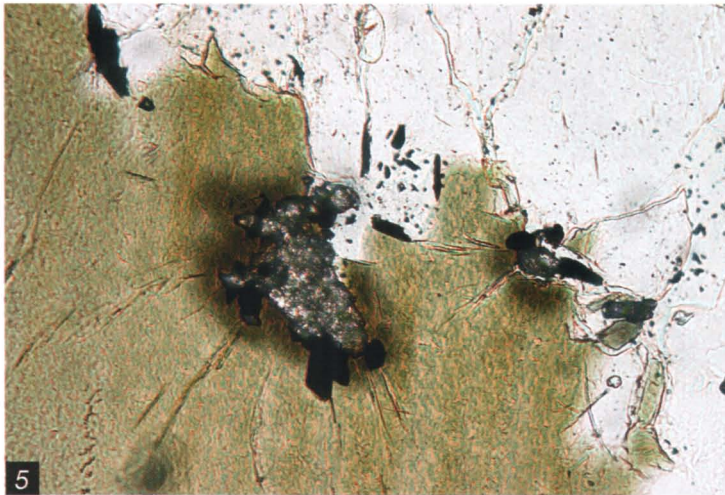
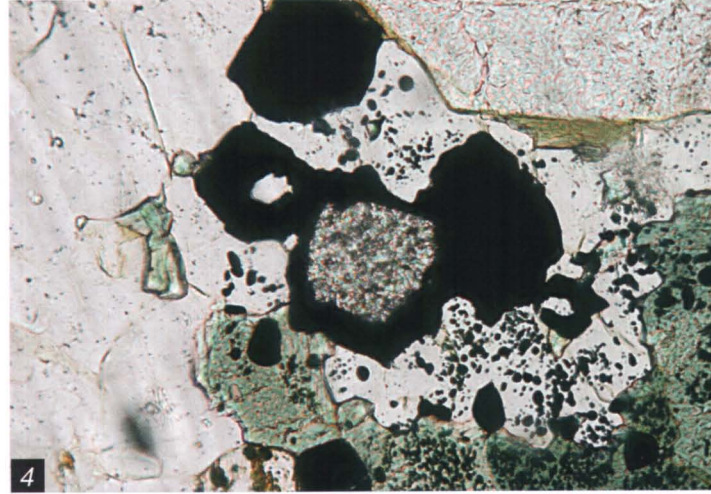
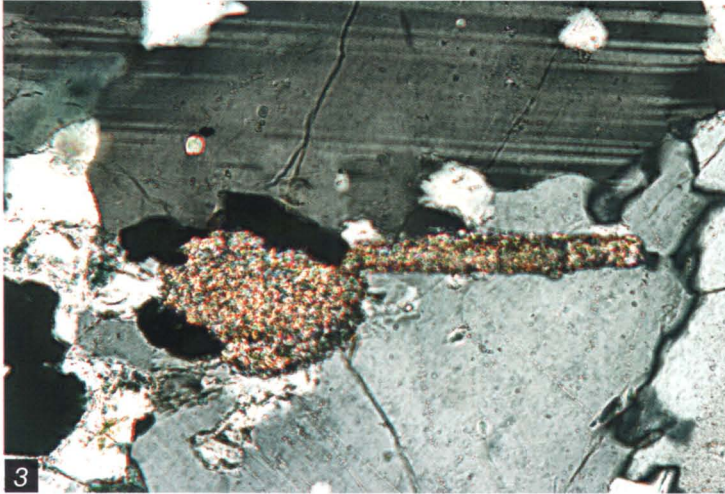
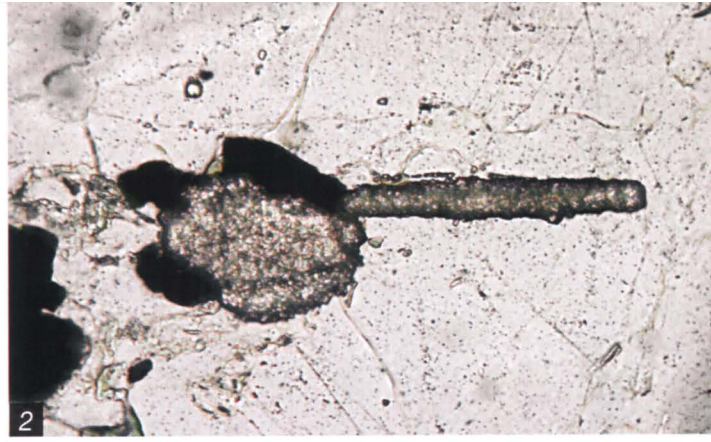
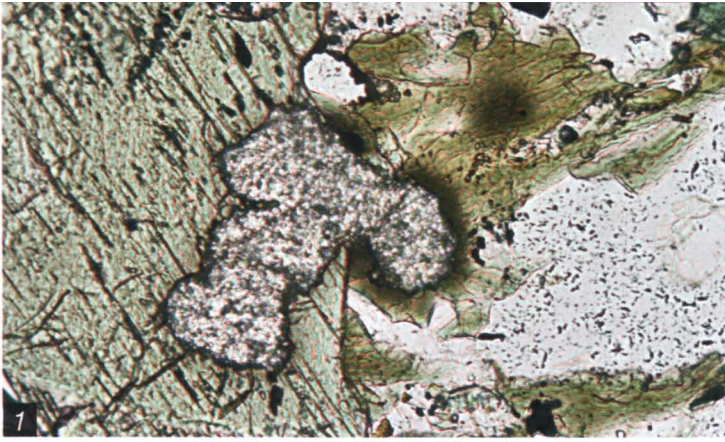
Afb. 4, MA 877-20. Fijnkorrelig zirkoonaggregaat (~ 100 x 90 µm) met een rand van een opaak mineraal. Groene hoornblende onder en rechts; apatiet rechtsboven; kleurloos is fijnkorrelige scapoliet met veel ingesloten opake mineralen van sterk verschillende grootte. De foto meet ~ 0,6 x 0,4 mm; gepolariseerd licht.

Afb. 5, MA 877-8. Een onregelmatig, ~ 140 x 60 µm groot (links) en een ~ 25 µm klein (rechts) zirkoonaggregaatje - pseudomorf naar baddeleyiet - in biotiet en omgeven door een pleochroïtisch hof met een breedte van ~ 20 µm. Let ook op de radiale barsten in de biotiet om het grotere zirkoonaggregaatje. De kleurloze mineralen boven en rechts zijn plagioklaas. De foto meet ~ 0,6 x 0,4 mm; gepolariseerd licht.

Afb. 6, MA 877-13. Een langgerekt (~ 200 x 30 µm groot) en enkele kleinere (~ 50 x 15 µm, links en midden) zirkoonaggregaatjes - pseudomorf naar baddeleyiet - in biotiet en omgeven door pleochroïtische hoven (~ 20 µm breed). Let ook op de twee ronde pleochroïtische hoven om minuscule korreltjes van maar enkele µm in doorsnede onder en boven het grotere zirkoonaggregaatje. Pleochroïtische groene hoornblende onder en rechts en als twee kleine insluiteltjes in biotiet. De foto meet ~ 0,6 x 0,4 mm; gepolariseerd licht.

Afb. 7, MA 877-20. Het langste (~ 720 x 80 µm) gevonden zirkoonaggregaat pseudomorf naar baddeleyiet; in plagioklaas (grijs) en enige fijnerkorrelige scapoliet (wit). Let op het heel fijnkorrelige karakter van het zirkoonaggregaat, al lijkt de zirkoon in de kern van het aggregaat iets minder fijnkorrelig dan de zirkoon aan de rand. De foto meet ~ 1,2 x 0,8 mm; gekruiste polarisatoren.

Afb. 8, P 33. Biotiet-sillimaniet-cordierietgneis uit Polen. Pleochroïtische hoven in biotiet om accessorische insluiteltjes met groottes van ~ 55 x 45 µm (links) en ~ 33 x 28 µm (rechts). Het rechter hof is ~ 40 µm breed en daarom waarschijnlijk veroorzaakt door een Th-houdend mineraal (monaziet?); het linker hof is ~ 24 µm breed en waarschijnlijk veroorzaakt door een U-houdend mineraal (zirkoon?). De foto meet ~ 0,21 x 0,18 mm; gepolariseerd licht.



assenbeeld en vooral de pleochroïtische hoven (zie kader), die het veroorzaakt heeft in omliggende biotiet en hoornblende. Men moet zich blijven realiseren dat deze zirkoonaggregaatjes toch vrij ongewoon zijn; ze zijn slechts in 17 van de 28 slijpplaatjes gevonden.

Het lijkt zeer onwaarschijnlijk dat deze fijne zirkoonaggregaatjes, in deze vorm, primair uit het gabbromagma zijn gekristalliseerd. Waarschijnlijker lijkt dat uit het (silica-onverzadigde) gabbromagma het aanwezige zirkonium primair is uitgekristalliseerd als baddeleyiet, ZrO_2 , en dat tijdens de latere metamorfose silica is vrijgekomen, waardoor de oorspronkelijke baddeleyiet instabiel werd en ging reageren met de vrijgekomen silica tot de zirkoonaggregaatjes, volgens: $ZrO_2 + SiO_2 = ZrSiO_4$, dus baddeleyiet + silica geeft zirkoon. Dit betekent dan dat in dit gesteente de aanwezige zirkoon een metamorf gevormd mineraal is en niet magmatisch. In geen van de 28 slijpplaatjes van deze metagabbro is echter ook nog maar een spoor van de oorspronkelijke baddeleyiet teruggevonden. Echter, de reactie van baddeleyiet naar zirkoon is wel al eerder waargenomen en beschreven. Davidson en van Breemen (1988) vermelden – metamorf gevormde – fijne, polykristallijne zirkoonrandjes om een kern van – magmatisch gevormde – baddeleyiet, beide met heel verschillende ouderdom, in een coronitische gabbro uit Canada. Ook in een enkel monster van een, eveneens coronitische, gabbro uit het Arendal-gebied in Zuid-Noorwegen, komen enige accessorische bruine kernen van (waarschijnlijk) baddeleyiet voor, omgeven door een mantel van fijne zirkoonkorreltjes.

Referenties

- A. Davidson & O. van Breemen (1988) Baddeleyite-zircon relationships in coronitic metagabbro, Grenville Province, Ontario: implications for geochronology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 100, 291-299.
- C. Majer (2002) Stenen. *Gea*, vol. 35 nr. 3, 1-33.
- A.J. Pannekoek & L.M.J.U. van Straaten (ed.) *Algemene Geologie*, 4^{de} druk. Wolters-Noordhoff, 598 p.
- L.J.G. Schermerhorn (1959) Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire-Sao Pedro do Sul-Satao region (northern Portugal). Proefschrift Universiteit van Amsterdam; tevens *Com. Serv. Geol. Portugal*, 37, pp. 5-617.

Toelichting bij enkele gebruikte gesteente- en mineraalnamen:

Een **sporenelement** is een in een gesteente voorkomend bestanddeel met een gehalte van minder dan 1000 ppm (parts per million), oftewel minder dan 0,1 gewichtsprocent.

Een gesteente wordt **metagabbro** genoemd – liever dan amfiboliet – als het nog duidelijk de kenmerken – bijvoorbeeld de textuur – van een oorspronkelijke gabbro laat zien, maar ook de zichtbare sporen van een latere, metamorfe rekristallisatie.

Een **coronitische gabbro** is ook een metagabbro, met een herkenbare gabbroïde textuur, maar met – als gevolg van veranderende omstandigheden – metamorfe reactieranden ('corona's') van orthopyroxeen ± clinopyroxeen ± hoornblende ± groene spinel ± biotiet, soms ook + granaat om de oorspronkelijke olivijn en opake bestanddelen waar deze in contact waren met plagioklaas.

In **zonaire mineralen** verandert de samenstelling van de kern naar de rand. Het is vooral duidelijk – want in slijpplaatjes goed zichtbaar – in mineralen uit de plagioklaasreeks, maar het komt ook in veel andere mineralen voor.

Gesteenten worden **silicaat-oververzadigd** genoemd als ze kwarts-houdend zijn.

In dezelfde trant worden gesteenten **silicaat-verzadigd** genoemd als ze kwarts- en foidvrij zijn.

Gesteenten zijn **silicaat-onderverzadigd** als ze foid- (en/of olivijn-)houdend zijn; foid staat voor veldspaatvervanger, zoals nefelien, leuciet, sodaliet.

(Zie ook Pannekoek en van Straaten (1984) of Majer (2002)).

Cummingtoniet is een monokliene, Ca-arme amfibool, kleurloos in het slijpplaatje.

Opake mineralen: bij doorgelicht licht niet-doorschijnende mineralen, de "ertsen".

Scapoliet vormt een mengreeks, die in samenstelling lijkt op de plagioklaasreeks, maar complexer is door de inbouw van zouten, vooral NaCl in de Na-rijke leden en vooral $CaCO_3$ in de Ca-rijke leden.

Allaniet wordt ook wel orthiet genoemd, maar de naam allaniet verdient de voorkeur.

PLEOCHROÏTISCHE HOVEN

Pleochroïtische hoven (Eng.: *pleochroic haloes*) zijn kleine (straal 20-40 μm of 0,02-0,04 mm) pleochroïtische (d.w.z. in kleur veranderend bij ronddraaien van de draaitafel van een polarisatiemicroscoop in gepolariseerd licht) aureooltjes om bepaalde accessorische insluitels (zie afb. 8). Ze zijn het gevolg van kristalroosterbeschadigingen, veroorzaakt door radioactieve straling (α -straling). De radioactieve elementen uranium, U, en thorium, Th, komen in de meeste gesteenten in nog veel geringere hoeveelheden voor dan Zr. In zure, granitische gesteenten is het gehalte aan U gemiddeld ~ 5 ppm, van Th gemiddeld ~ 20 ppm, maar in basische gesteenten is het gehalte van beide gewoonlijk lager. U en Th passen door hun eigen iongrootte en 4-waardige valentie ook slecht in gewone gesteentevormende mineralen als kwarts, veldspaten, glimmers, amfibolen, pyroxenen etc.; maar ze passen juist wel in Zr-houdende mineralen en ook in mineralen met veel zogenaamde 'zeldzame aarden' (Eng.: *rare earth elements*, REE). Een groot deel van de in een gesteente voorkomende radioactieve elementen U en Th is dan ook opgeslagen in accessorische mineralen als zirkoon ($ZrSiO_4$), monaziet (~ $CePO_4$), xenotiem (~ YPO_4) en allaniet (een epidoot-mineraal met relatief veel zeldzame aarden). Al deze mineralen met U en/of Th gehaltes van vaak 100-1000 ppm, soms zelfs > 1%, veroorzaken pleochroïtisch* hoven – donkere aureooltjes met versterkt pleochroïsme – in vooral gekleurde, pleochroïtische mineralen als biotiet, amfibool, chloriet, toermalijn en ook in een enkel kleurloos mineraal als cordieriet en fluoriet. Pleochroïtische hoven om Th-houdende mineralen zijn iets groter (breedte ~ 40 μm) dan de hoven om U-houdende mineralen (breedte ~ 20-33 μm) (Schermerhorn, 1959). Omgekeerd verraden de voorkomende pleochroïtische hoven de aanwezigheid van bepaalde accessoria, soms zelfs duidelijker dan het mineraal zelf en ook wanneer ze erg klein zijn (bv. ~ enkele μm) of soms zelfs als ze als mineraal helemaal niet meer in het slijpplaatje voorkomen, maar er oorspronkelijk vlak boven of onder hebben gezeten (zie afb. 1, 6). De radioactieve straling beschadigt niet alleen het directe omgevende mineraal, maar ook de genoemde accessoria zelf. Hierdoor neemt de kristalliniteit van deze mineralen af en hun eigenschappen veranderen, vooral als het proces lang duurt, dus vooral in oudere gesteenten. Dergelijke verminkte mineralen worden *metamict* genoemd. Metamictie zirkoon vertoont met de tijd toenemend lagere brekingsindices, lagere dubbelbreking en een lagere dichtheid. Een lagere dichtheid impliceert een toegenomen volume; een dergelijke 'uitzetting' van metamictie mineralen is vaak te zien als een ring van radiale barstjes in het omringende mineraal (zie afb. 5). Door de hogere gehaltes van U en/of Th zijn mineralen als zirkoon ook bij uitstek geschikt voor absolute ouderdomsbepalingen. Vooral door de sterk verbeterde microanalyse-technieken zijn nauwkeurige dateringen van één enkele zirkoonkorrel mogelijk, in zonare kristallen soms ook de afzonderlijke datering van de (bijv. magmatische) kern en een latere (bijv. metamorfe) aangroeizone.