

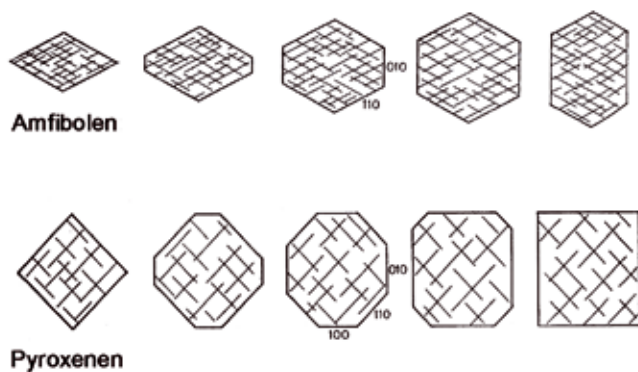
## Amfibool of pyroxeen?

# Met een polarisatiemicroscop eenvoudig vast te stellen

door Jan van den Koppel

### Inleiding

Amfibolen en pyroxenen zijn in het veld vaak moeilijk uit elkaar te houden. Beide mineraalgroepen komen als lange of gedrongen prismatische kristallen voor, vaak zwart, maar bruin, geel, groen en rood kan ook. Blader maar eens door oude nummers van Gea en u komt ze ongetwijfeld tegen, prachtige foto's van mineralen bijvoorbeeld uit de Eifel. Stel dat u weet dat het mineraal of een amfibool of een pyroxeen is, dan is het onderscheid alleen *dan* makkelijk te maken als er een doorsnede loodrecht op de lange as aanwezig is. Afb. 1.



naar P.F. Kerr, 1977

Afb. 1. Doorsneden loodrecht op de c-as van amfibolen en pyroxenen. Bij beide is er sprake van een perfecte (110) splijting. De hoeken die de splijtlijnen onderling maken zijn bij de amfibolen ongeveer  $56^\circ$  en  $124^\circ$ , bij de pyroxenen  $88^\circ$  en  $92^\circ$  (lit.1).



Afb. 2. De zwarte kristallen van Boutaresse. De oogst na een uur zoeken. Het grootste kristal heeft een lengte van 1,5 cm.

De splijtvlakken bij een pyroxeen maken namelijk hoeken van bijna  $90^\circ$ , terwijl het bij een amfibool hoeken zijn van ongeveer  $124^\circ$  en  $56^\circ$ . Maar meestal zijn deze splijtvlakken niet zichtbaar, zodat het een gok wordt. Toch is het mogelijk om met een eenvoudig optisch onderzoek vast te stellen of het een amfibool of een pyroxeen is. Welke amfibool of pyroxeen het is, vergt wat meer onderzoek. In het artikel op de GEA-website (lit. 2) is de determinatie door middel van brekingsindexbepaling uitgebreid behandeld. Dit artikel gaat in op enkele andere optische eigenschappen, die met de polarisatiemicroscop zijn vast te stellen en die zo tot determinatie kunnen leiden.



Afb. 3. Het grootste gevonden kristal (lengte 1,5 cm) toont duidelijk de amfiboolsplijting.

Om te beginnen de bepaling van de uitdovingshoek en de elongatie, eventueel aangevuld met pleochroïsme. Deze begrippen worden apart behandeld in de Toelichting. Een iets uitgebreidere versie van dit artikel is ook op de website [www.gea-geologie.nl/](http://www.gea-geologie.nl/) artikelen te vinden.

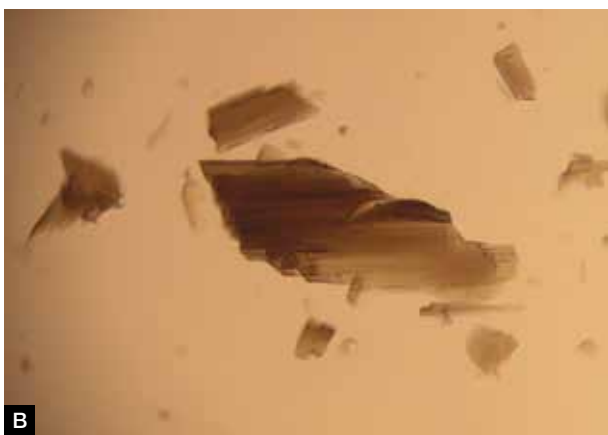
### De zwarte kristallen van Boutaresse

De Cézallier is een streek in de Auvergne die tussen de Monts Dore en de Cantal ligt. Het is een basaltisch plateau, 35 km lang en 15 km breed. Het hoogste punt is een oude stratovulkaan, de Signal du Luguet (1551 m). Door de gemiddelde hoogte (1300m) van het plateau valt de vulkaan nauwelijks op. Vlakbij deze vulkaan ligt het plaatsje Boutaresse. Op ongeveer een half uur lopen hiervan ligt een sterk verweerde basaltheuvel. Van de basalt is weinig meer te bekennen, maar de heuvel levert bij een nadere bestudering een verrassing op. Hij zit vol losse zwarte kristallen (afb. 2). Volgens de kenners zijn de korte, gedrongen exemplaren augieten (een pyroxeen), de wat langere hoornblendes (een amfibool). Enkele kristallen zijn duidelijk herkenbaar als amfibolen, de loodrechte doorsnede laat er geen twijfel over bestaan (afb. 3). De meeste tonen geen duidelijke splijtvlakken, zodat optisch onderzoek nodig is.

Hiervoor werden uit de verzamelde kristallen tien willekeurige exemplaren gekozen en vergruizeld. *Vergruizelen wordt gedaan door een stukje kristal tussen twee metalen platen te brengen en daar loodrecht op een kracht uit te oefenen. Probeer geen zijdelingse bewegingen uit te voeren (vermalen). Vergruizelen bevordert het splijten langs de splijtvlakken.* Het materiaal is daarna met een druppel olijfolie onder een dekglasje gelegd. Door de capillaire werking zuigt de olie zich onder het dekglas-



Afb. 4a. Vergruizelde Boutaresse kristalfragmenten in gepolariseerd licht. Alleen de polarisator is ingeschakeld. Indien ook de analysator wordt ingeschakeld ligt het centrale fragment (lengte 0,3 mm) in uitdovingspositie. De uitdovingshoek t.o.v. de lange as van het fragment is ongeveer 5°.



Bij draaiing over 90° is er vooral bij het centrale fragment zeer duidelijk pleochroïsme te zien. De kleur verandert van roodbruin naar bijna zwartbruin.

je. De olie wordt hier strikt gebruikt als medium waarin de kristalfragmenten opgesloten liggen. Er zijn geen brekingsindices bepaald.

De kleur van de fragmenten varieert van licht geelbruin via roodbruin tot donkerbruin. Dunne fragmenten zijn lichter van kleur, bij sommige is de kleurverdeling onregelmatig. Sommige stukken zijn sterk pleochroïtisch: de kleur verandert van roodbruin naar zwartbruin (afb. 4a en 4b). De fragmenten die deze sterke kleurverandering tonen hebben een uitdovingshoek (t.o.v. de lange as van het kristal) van 0 tot 5°. Andere fragmenten hebben een uitdovingshoek van 13°. Een grotere uitdovingshoek werd niet gevonden. Mineralen met een monokliene of trikliene structuur hebben een scheve uitdoving. De meeste amfibolen en pyroxenen behoren tot het monokliene kristalstelsel. Uit de waarnemingen kan geconcludeerd worden dat de onderzochte kristallen amfibolen zijn. Pyroxenen, en dan met name augiet en ook diopsied, hebben (maximale) uitdovingshoeken van 38 en 43°. Amfibolen hebben kleinere uitdovingshoeken.

Tabel I. Enkele uitdovingshoeken bij amfibolen ( $\gamma$  is de grootste brekingsindex)

uitdoving van  $\gamma$  t.o.v. c-as

Oxyhoornblende	0 - 12°
Kaersutiet	3 - 19°
Actinoliet	10 - 15°
Hastingsiet	14 - 20°

Tabel II. Enkele uitdovingshoeken bij pyroxenen

uitdoving van  $\gamma$  t.o.v. c-as

Diopsied	38 - 48°
Augiet	35 - 48°
Titaanaugiet	32 - 55°
Aegirinaugiet	55 - 85°

De bruine kleur van de fragmenten wijst op één van de bruine hoornblendes: oxyhoornblende, kaersutiet of katophoriet. Aan de kleur en het pleochroïsme is niet uit te maken welke van de drie het kan zijn. De bepaling van de elongatie kan één van de drie elimineren. Met de elongatie wordt gekeken welke trillingsrichting in de lengterichting (c-as) van het kristal ligt. (Zie *Toelichting*) Oxyhoornblende en kaersutiet hebben een positieve elongatie, de trillingsrichting waarbij de grootste brekingsindex ( $\gamma$ ) hoort, ligt dan in de lengterichting. Bij katophoriet ligt de trillingsrichting met de kleinste brekingsindex ( $\alpha$ ) langs de lengteas, de elongatie is negatief. Het gipsroodplaatje geeft uitsluitsel over de elongatie: het is geen katophoriet. Om oxyhoornblende van kaersutiet te onderscheiden kan op titaan getest worden. Kaersutiet bevat meer dan 5% titaan(oxide), oxyhoornblende niet. Een chemische spottest op titaan was positief (Zie een uitleg over de Spottest op Titaan op de website).

## Conclusie

De zwarte kristallen van Boutaresse zijn amfibolen die titaan bevatten, waarschijnlijk kaersutiet. Er zijn geen pyroxenen gevonden, wat natuurlijk niet betekent dat ze niet aanwezig kunnen zijn.<sup>1</sup>

## De groene naalden van de Nickenicher Wijnberg

In de Nickenicher Weinberg (Sattelberg, Eifel) komen vele mooie mineralen voor<sup>2</sup>, waaronder kleine groene mineralen voornamelijk in een naaldvormige habitus. Amfibolen zegt de een, pyroxenen zegt de ander. Beide mineralen komen in deze habitus voor en de kleur is hier geen beslissend kenmerk. Er komen in de Weinberg meer groene mineralen voor, olivijn en roedderiet bijvoorbeeld. Onderzoek zal aantonen dat deze twee mineralen uitgesloten kunnen worden. Door het vaststellen van de uitdoving: recht, scheef, of symmetrisch, en het meten van de brekingsindex kan meestal met volledige zekerheid een mineraal uitgesloten worden. Dit is ongetwijfeld een sterk punt van deze optische onderzoeksmethoden. Door systematische eliminatie sluit het net zich rond het onbekende mineraal. In afb. 5 liggen enkele losse groene naalden, afgebroken van het kleine micromounthandstuk. De naalden hebben een lengte van niet meer dan 1,0 mm. Het grote kristal lijkt opgebouwd te zijn uit deze naalden, tijdens het onderzoek wordt er een naald afgebroken. Een kenmerkende loodrechte doorsnede is niet te vinden, zodat andere middelen nodig zijn om te onderzoeken of hier nu een amfibool of een pyroxeen ligt. Een kwalitatieve

<sup>1</sup> Volgens Liotard J.M. et al. (lit.3) is er bij Boutaresse sprake van een basanitische lava die rijk is aan amfibool (15%), clinopyroxenen (1%) en Fe-Ti oxide (1%) fenokristen. De grondmassa bevat leuciet, apatiet en mica. Kaersutiet megakristen worden volgens Dautria, J.M. et al. (lit.4) vaak aangetroffen in alkalibasalten.  
<sup>2</sup> [http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Deutschland/Rheinland-Pfalz/Eifel/Nickenich/Nickenicher%20Weinberg%20\(Sattelberg\)](http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Deutschland/Rheinland-Pfalz/Eifel/Nickenich/Nickenicher%20Weinberg%20(Sattelberg))



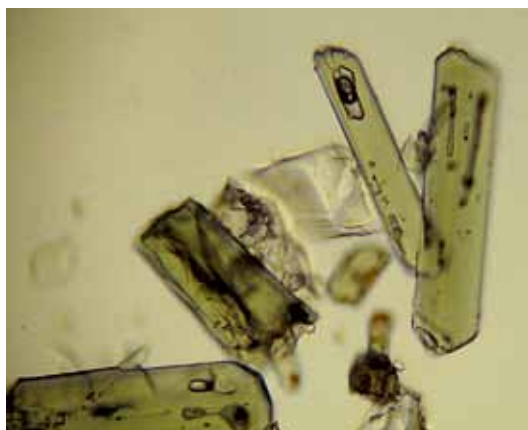
Afb. 5. Enkele groene naalden afkomstig van de Nickenicher Weinberg. Het grootste kristal is 0,6 mm lang. De naalden splijten van dit grote kristal. De polarisator is ingeschakeld.



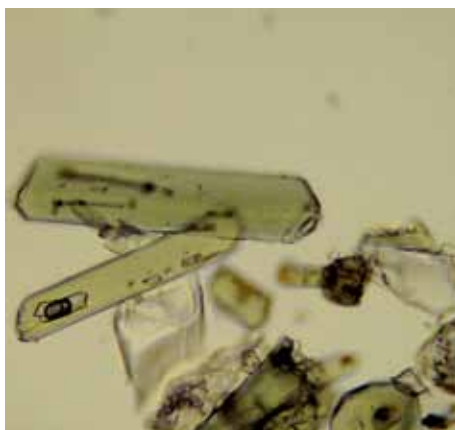
Afb. 6a. Eén van de groene fragmenten (lengte 0,3 mm) waarvan de brekingsindex bepaald werd. De kleinste brekingsindex is 1,69 ( $\alpha$  of  $\alpha'$ ) de grootste is 1,73. Deze waarden liggen binnen de grenzen van bijvoorbeeld augiet maar ook van CaNa-amfibolen als hoornblende. Groene hoornblende kan in vulkanieten af en toe voorkomen. De bepaling van de uitdovingshoek moet dan uitsluitend geven.

Afb. 6b. Zelfde fragment als in afb. 6a maar nu tussen gekruiste polarisatoren.

Hoge interferentiekleuren (3e orde rood) in combinatie met een specifiek interferentiefiguur (assenbeeld: stompe bissectrice, BXO) zijn een sterke aanwijzing dat er tegen het optisch vlak (010) aan wordt gekeken. De uitdoving is scheef, de uitdovingshoek is  $43^\circ$ .



Afb.7a. Enkele groene mineraalfragmenten. De polarisator is ingeschakeld. Beeldbreedte is 0,8 mm.



Afb.7b. Dezelfde fragmenten maar nu  $90^\circ$  gedraaid: geen waarneembaar pleochroïsme.

chemische spottestanalyse heeft niet veel zin, omdat er grote overeenkomst is in de samenstellende elementen van amfibolen en pyroxenen.

Terug naar het groene mineraal van de Nickenicher Weinberg. Van een aantal werden de grenzen van de brekingsindices gemeten. Deze liggen tussen 1,69 en 1,73 (afb. 6a). Dit sluit roedderiet uit, die een kleinere brekingsindex heeft (1,537 – 1,542). Het mineraal vertoont duidelijk scheve uitdoving ( $43^\circ$  bij het fragment in afb. 6b). Deze is te groot voor een amfibool en sluit orthorhombische mineralen zoals olivijn en orthopyroxeen uit. De brekingsindex 'past' bij een aantal pyroxenen (augiet, pigeoniet, diopsied). Afb. 7a en 7b laten zien dat er van een duidelijk waarneembaar pleochroïsme geen sprake is. Ook dat komt overeen met pyroxenen als augiet en pigeoniet, waar het pleochroïsme afwezig is of zwak tot matig. Het zou diopsied kunnen zijn; dat heeft een hoog ijzergehalte, is groen en is sterk pleochroïtisch.

## Conclusie

Het groene mineraal is een clinopyroxeen en geen amfibool.

## Toelichting op enkele optische eigenschappen van mineralen

Optische eigenschappen van mineralen worden bestudeerd aan de hand van afzonderlijke mineraalkorrels maar ook via slijpplaatjes. Het instrument dat voor dit onderzoek gebruikt wordt is de polarisatiemicroscop. Een korte samenvatting over dit apparaat staat in het artikel 'De polarisatiemicroscop'

Mineralen kunnen optisch isotroop of anisotroop zijn. Isotroop zijn alle mineralen die in het isometrisch kristalstelsel thuishoren en verder niet-kristallijne stoffen zoals glas. Anisotroop zijn mineralen die in het tetragonale, hexagonale, trigonale, orthorhombische, monokliene en trikliene stelsel kristalliseren. De meeste bekende mineralen zijn anisotroop.

Bij isotrope mineralen heeft het licht in alle richtingen in het kristal dezelfde snelheid. Het mineraal heeft dan één brekingsindex. Licht dat uit de polarisator komt, blijft in een isotroop mineraal in dezelfde richting trillen. Is de analysator ook ingeschakeld dan wordt het licht tegengehouden, het mineraal blijft donker. Bij een anisotroop mineraal treedt dubbelbreking op, het licht uit de polarisator splijt zich in het mineraal in twee afzonderlijke lichtstralen die in onderling loodrechte vlakken trillen. Elk van deze lichtstralen gaat met een verschillende snelheid door het anisotrope kristal en heeft dus een eigen brekingsindex. De beide lichtstralen hebben bij het uit treden natuurlijk verschillende afstanden afgelegd. Als ze door de analysator gaan, worden ze weer samengevoegd maar lopen niet meer in de pas, ze zijn niet meer in fase. Bij gebruik van wit

licht dat uit verschillende golflengten bestaat, zullen sommige golflengten uitdoven. Wat overblijft, is niet meer wit maar heeft een kleur. Bij de determinatie van mineralen kunnen optische eigenschappen een belangrijk hulpmiddel vormen. De brekingsindex is zo'n eigenschap en de bepaling daarvan is uitgebreid besproken (lit. 2). Andere kenmerkende eigenschappen zijn uitdovingshoeken, elongatie en pleochroïsme.

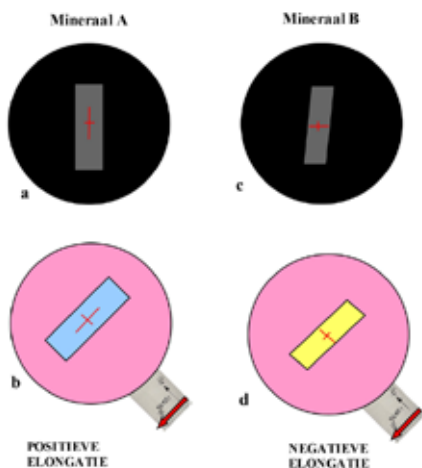
## Uitdoving en elongatie

Een anisotroop mineraal tussen gekruiste polarisatoren zal bij volledig ronddraaien vier keer uitdoven. Uitdoving treedt op als de twee onderling loodrechte trillingsrichtingen in het mineraal-fragment dezelfde richting hebben als de trillingsrichting van polarisator en analysator. Deze uitdoving kan recht, scheef of symmetrisch zijn. Uitdoving wordt meestal bepaald ten opzichte van een opvallende kristallografische richting. Dit kan een kristalvlak zijn of een splijtvlak of een tweelingsvlak. Veel mineraalfragmenten in korrelpreparaten zijn duidelijk langer dan breed. De lengteas valt vaak samen met een kristallografische as. Als de uitdoving recht is ten opzichte van deze lengteas dan valt één van de optische trillingsrichtingen hiermee samen.



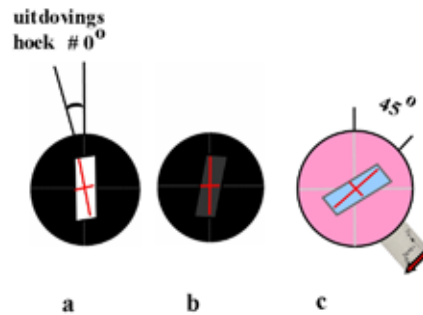
Afb. 8. Rechte uitdoving. De onderling loodrechte trillingsrichtingen in de mineraalfragmenten zijn in rood aangegeven. De grootte van de brekingsindex die bij de trillingsrichting hoort, wordt aangegeven door de lengte van het lijntje. De kruisdraden in het beeldveld geven de richting aan van polarisator (O-W) en analysator (N-Z). In (a) vallen de trillingsrichtingen niet samen met polarisator en analysator. Het fragment is niet uitgedoofd. In (b) en (c) vallen de trillingsrichtingen in het fragment samen met die van polarisator en analysator, het fragment is uitgedoofd. Bij een volledige draaiing van de microscooptafel zal dit vier keer gebeuren. Men spreekt hier van rechte uitdoving. Recht omdat de uitdoving optreedt als de lengte-richting van het fragment (meestal de c-as) evenwijdig aan de kruisdraden ligt. Eén van de trillingsrichtingen in het fragment valt dan samen met deze lengte-richting, de andere staat daar loodrecht op.

**Rechte uitdoving treedt meestal op bij: tetragonale, hexagonale, trigonale en orthorhombische mineralen. Heel soms bij monokliene, maar nooit bij triklinen mineralen.**



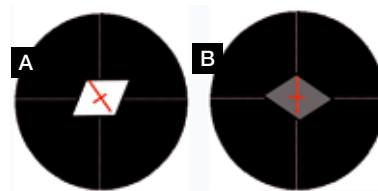
Afb. 9. Elongatie. In (a) ligt een mineraalfragment A in uitdovingspositie. De uitdoving is recht. In (b) is de microscooptafel  $45^\circ$  met de wijzers van de klok gedraaid en is het gipsroodplaatje<sup>3</sup> ingeschoven. De rode pijl op het gipsroodplaatje geeft de richting van de grootste brekingsindex van het gips aan. Valt deze grootste gips brekingsindex samen met één van de trillingsrichtingen in het mineraal dan leurt dit of blauw of geel. Indien het fragment blauw kleurt ligt de grootste brekingsindex van het fragment evenwijdig aan zijn lengteas. De elongatie is positief. (Zie lit.2). (Het beeldveld is ten gevolge van het gipsrood lichtrood gekleurd.) In (c) ligt mineraal B met de kleinste brekingsindex parallel aan de lengteas van het mineraalfragment. In (d) is de microscooptafel weer  $45^\circ$  gedraaid; het fragment kleurt geel. De elongatie is negatief.

Bij een trillingsrichting hoort een brekingsindex. In het getekende mineraalfragment in afb. 8 valt de grootste brekingsindex samen met de lengteas. Dat hoeft natuurlijk niet altijd zo te zijn. Er zijn ook mineralen waarbij de kleinste brekingsindex samenvalt met deze lengteas. Aan het type uitdoving kan dus niets over de oriëntatie van de brekingsindices gezegd worden. Om nu vast te stellen welke trillingsrichting met de lengterichting en dus met een kenmerkende kristallografische richting ligt, moet de elongatie bepaald worden. In afb. 9 wordt dit toegelicht voor een mineraal dat rechte uitdoving vertoont. Bij veel mineralen is de uitdoving niet recht maar scheef. Afb. 10 laat een mineraal zien dat scheef uitdooft.



Afb. 10. Scheve uitdoving. Meestal bij monokliene maar altijd bij triklinen mineralen liggen de trillingsrichtingen niet parallel aan de lengterichting van het fragment. In (a) ligt een mineraalfragment evenwijdig aan de N-Z-kruisdraad, maar is niet uitgedoofd. De uitdovingshoek ten opzichte van de lengterichting is nu niet gelijk aan  $0^\circ$ . Om uitdoving te krijgen moet de microscooptafel over een kleine hoek met de wijzers van de klok meegedraaid worden (b). De trillingsrichtingen liggen nu weer parallel aan de richting van polarisator en analysator. De hoek waarover gedraaid is, de uitdovingshoek, is kenmerkend voor het mineraal. Draait men van uit de uitdovingsstand  $45^\circ$  verder, dan is het weer mogelijk om met het gipsroodplaatje de elongatie te bepalen (c). In dit voorbeeld is de elongatie positief.

**Scheve uitdoving treedt altijd op bij triklinen mineralen, meestal bij monokliene en heel soms bij orthorhombische mineralen.**

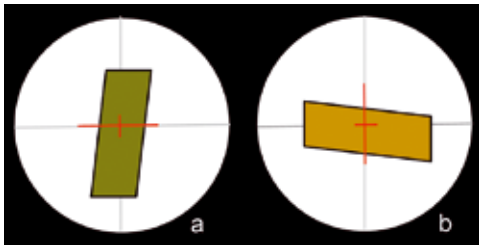


Afb. 11. Symmetrische uitdoving treedt op bij fragmenten die niet langwerpig zijn maar bijvoorbeeld ruitvormig, vierkant of hexagonaal. Uitdoving treedt op als de kruisdraden (en dus de trillingsrichtingen in het mineraal) de hoeken van de splijtvlakken middendoor delen (b). Veel carbonaten zoals calciet vertonen symmetrische uitdoving. Behalve bij trigonale mineralen komt symmetrische uitdoving vaak voor bij mineralen die tot het hexagonale en tetragonale systeem behoren. Soms ook bij orthorhombische en monokliene mineralen met een ruitvormige doorsnede.

**Symmetrische uitdoving treedt op bij alle mineralen die ruitvormige doorsneden vertonen. Dit zijn heel vaak mineralen die tot het trigonale, hexagonale en tetragonale kristalsysteem behoren.**

## Pleochroïsme

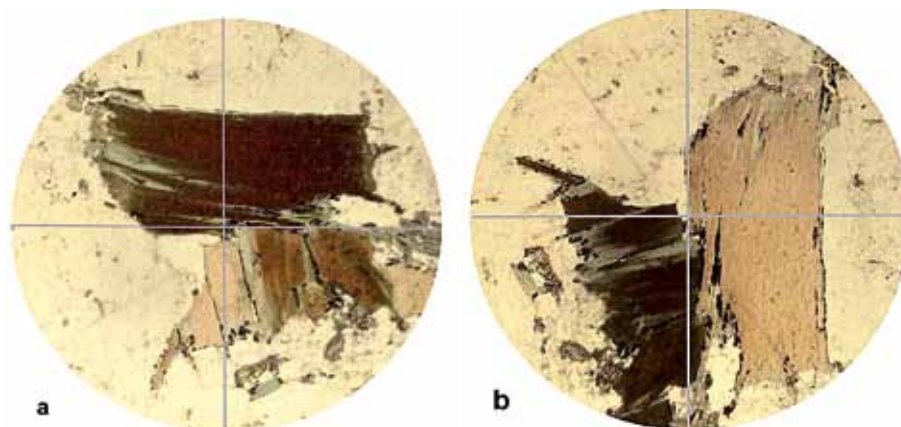
Bij veel gekleurde anisotrope mineralen zien we de kleur veranderen als, bij ingeschakelde polarisator, de microscooptafel wordt rondgedraaid. Afb. 12. In (a) trilt het licht dat uit de polarisator komt O-W. De trillingsrichting in het mineraal waarbij



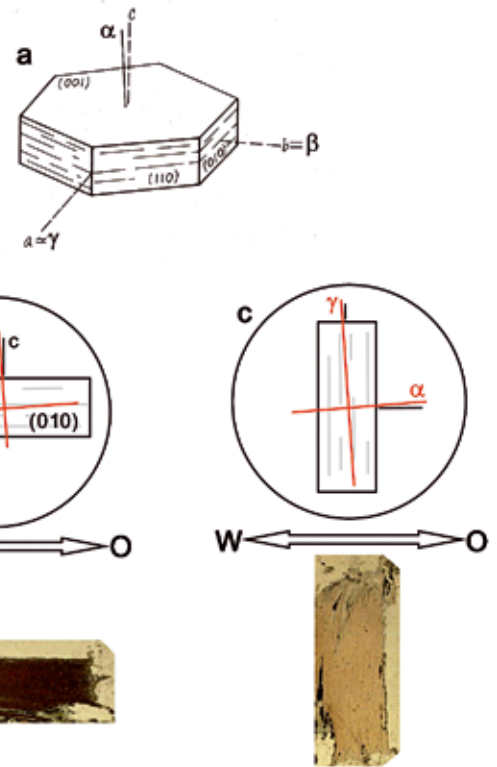
Afb. 12. Pleochroïsme: kleurverschil bij draaien van microscopetafel met ingeschakelde polarisator. Zie de tekst.

de grootste brekingsindex hoort, ligt ook O-W. Het mineraal heeft een groene kleur. (b) Bij draaiing van de tafel over een hoek van  $90^\circ$  ligt de trillingsrichting met de kleinste brekingsindex O-W. De kleur is van groen veranderd in bruin. De verklaring van dit verschijnsel is dat de absorptie van het licht voor beide trillingsrichtingen verschillend is. Bij absorptie verdwijnen er golflengten uit het witte licht waardoor gekleurd licht overblijft. De kleurverschillen die van het verschil in absorptie het gevolg zijn noemt men **pleochroïsme**. In gekleurde mineralen uit het tetragonale, trigonale, en hexagonale stelsel kan er sprake zijn van twee verschillende kleuren. Men spreekt dan van **dichroïsme**. Bij mineralen uit het orthorhombische, monokliene en trikliene stelsel spreekt men van **trichroïsme** als er drie verschillende kleuren te zien zijn. Gekleurde isotrope mineralen vertonen geen pleochroïsme.

Biotiet is een mineraal waarin pleochroïsme zeer duidelijk te zien is. Identificatie van biotiet in een slijpplaatje is hiermee meteen vast te stellen. Het pleochroïtisch gedrag van dit mineraal kan eveneens gebruikt worden om bij een microscoop te stellen of de trillingsrichting van de polarisator O - W of N - Z is. Afb. 13 is een opname van een slijpplaatje. In korrelpreparaten is het pleochroïsme van biotiet veel lastiger vast te stellen omdat de korreltjes op het ideale splijtvlak (001) liggen. En in die positie toont biotiet geen kleurverandering. In afb. 14 wordt dit uitgelegd.



Afb. 13. Opname van een slijpplaatje waarin een aantal biotietfragmenten zichtbaar is. Alleen de polarisator is ingeschakeld en deze heeft de richting O-W. In (a) is het bovenste biotiet-fragment donkerbruin gekleurd, de onderste fragmenten zijn lichtbruin. In (b) zijn dezelfde fragmenten te zien maar de microscopetafel is nu  $90^\circ$  met de klok mee gedraaid. Aan de stand van de polarisator is niets veranderd. Het grote donkerbruine biotietfragment uit (a) is nu van kleur veranderd. De fragmenten die bij (a) onder de grote donkere biotiet zaten zijn in (b) donkerbruin geworden. Als de polarisator uitgeschakeld is, zodat men de biotiet in gewoon licht bekijkt, zal dit kleureffect niet optreden. De ingeschakelde polarisator dwingt het licht in een O-W richting te trillen en deze trillingsrichting zal ook door de biotiet in het slijpplaatje gaan.



Afb. 14. Biotiet splijt perfect volgens (001). Vergruizelen we wat biotiet voor een korrelpreparaat, dan zullen de fragmentjes allemaal op dit perfecte splijtvlak liggen. (a) laat dit (001) vlak zien maar ronddraaien van dit vlak zal geen kleurverandering opleveren. Alleen in slijpplaatjes komt biotiet voor met andere oriëntaties, bijvoorbeeld met het (010) vlak (het vlak met de splijtinglijntjes) op de microscopetafel. (b) toont een biotietfragment met de grootste brekingsindex  $\gamma$  (eigenlijk  $\gamma'$ ) parallel aan de O-W richting van de polarisator. De kleur is donkerbruin. (c) laat zien dat als de kleinste brekingsindex  $\alpha$  evenwijdig aan de O-W richting van de analysator ligt, de kleur veranderd is naar lichtbruin. In de  $\gamma$  richting absorbeert het kristal het licht zichtbaar anders dan in de  $\alpha$  richting. Biotiet is een twee-assig mineraal en heeft zodoende nog een derde trillingsrichting waarbij een brekingsindex  $\beta$  hoort. In de  $\beta$  richting is de lichtabsorptie ongeveer gelijk aan die van de  $\gamma$  richting zodat er bij draaiing geen kleurverandering optreedt. Biotiet in korrelpreparaten laat dit uitgesproken pleochroïtisch gedrag dus niet zien. Meestal wordt in de literatuur deze optische eigenschap als volgt weergegeven:  $\gamma \approx \beta > \alpha$  met  $\gamma \approx \beta =$  donkerbruin, roodbruin, groen,  $\alpha =$  lichtbruin, lichtgroen.

## Literatuur

1. P.F. Kerr; Optical Mineralogy; 3e druk, 1977
2. J.H. van den Koppel; Determinatie van mineralen: de brekingsindex als belangrijk hulpmiddel. <http://www.gea-geologie.nl/artikelen>; 2009
3. Liotard, J.M. et.al., Petrological and geochemical relationships between pyroxene megacrysts and associated alkali-basalts from Massif Central, Contrib Mineral Petrol (1988) 98: 81 – 90.
4. Dautria, J.M. et.al., Amphibole-rich xenoliths and host alkali basalts: petrogenetic constraints and implications on the recent evolution of the upper mantle beneath Ahaggar (Central Sahara, Southern Algeria), Contrib Mineral Petrol (1987) 95:133-144