

De herkenning van zandmineralen

De zware mineralen van het Zand van Ameland optisch bekeken

Tekst: Joke Stemvers-van Bemmel
Fotografie: Piet Stemvers

Om precies te zijn: in september 1995 begonnen we in Gea onze verkenningen van de zware mineralen in zand met het artikel "Het Donkere Zand van Ameland op de korrel genomen". Weet u het nog? In zes kleurenfoto's van een aangerijkt Amelands monster werden zes van in totaal tien fracties weergegeven, die magnetische sterktes in afnemende volgorde vertegenwoordigden.

De eerste fractie die uit het monster werd gesepareerd bevatte uitsluitend het mineraal met het sterkste magnetisme van allemaal: magnetiet; dit werd destijds niet fotografisch weergegeven. Maar in de foto's van de volgende fracties konden 13 soorten mineralen aangewezen worden. In totaal had Leendert Krook, met zijn polarisatiemicroscop, zelfs 22 zware mineralen in het Donkere Zand van Ameland gevonden. Dit was een openbaring. Velen waren enthousiast en wilden verder met ZAND, dat immers gemakkelijk te verzamelen is en al vele verzamelaars kent. De Werkgroep Zand van Stichting GEA werd opgericht. Er verscheen in elke Gea minstens één artikel dat iets als basiskennis of voor de handvaardigheid aandroeg om tot het uiteindelijke doel te geraken: de determinatie van zware mineralen in zand. De stereo-microscop MBS 10, die velen al in huis hebben, werd omgebouwd tot een polariserend apparaat waarmee, zij het met enige beperkingen, gewerkt kan worden.¹⁾ Wie een "echte" polarisatie-microscop heeft is natuurlijk beter af.

Nu is het zover. Aan de hand van de monsterbuisjes voor de strooi-preparaten, die Krook t.b.v. de kleurenfoto's voor Gea sept. '95 had gemaakt, kunnen we de magnetisch gescheiden fracties en hun mineralen successievelijk behandelen. We hebben ons voor dit artikel strikt beperkt tot het zand dat voor de noordkust van Ameland in de buurt van paal 19 voorkomt. De monsters werden in 1995 genomen; het materiaal is op uitgebreide schaal onder geïnteresseerden verspreid.

De korrelgrootte van de gebruikte fracties ligt tussen de 0,105 en 0,210 mm. De fracties A en B waren omvangrijk; de fracties C, D en E waren klein; fractie F was middelmatig.

Voor de gefotografeerde preparaten werd als inbedmiddel over het algemeen immersieolie gebruikt (brekingsindex 1.51). Wanneer een ander middel werd gebruikt is dit in het bijschrift bij de afbeelding vermeld.

Welke mineralen zijn de doelgroep?

De mineralen die in zand voorkomen kunnen op verschillende manieren in groepen worden verdeeld. Zo zijn er de lichte mineralen (kwarts, veldspaten, carbonaten, glimmers), die een soortelijke massa lager dan 2,9 hebben, en de zware mineralen, met een hogere s.m. De lichte mineralen blijven hier (voorlopig) buiten beschouwing. Zij dienen voor ons doel uit het zandmonster te worden verwijderd.²⁾

Bij de zware mineralen zijn er enkele die opaak zijn, d.w.z. zij reflecteren (weerkaatsen) al het licht en blijven ondoorschijnend bij zowel opvallend als doornvallend licht. De overige mineralen - waartoe overigens zowel donkere als lichtgekleurde behoren - laten wel licht door en zijn dan ook doorschijnend, althans in de kleine korrelgroottes. Het zijn deze doorschijnende zware mineralen waarmee wij ons voornamelijk zullen bezighouden.

Vele van deze mineralen bevatten min of meer ijzer, waardoor zij min of meer magnetisch zijn, zij het veel minder sterk dan magnetiet: zij zijn para-magnetisch. De sterkte van hun para-magnetisme maakt het mogelijk hen in groepen te scheiden. (Overigens is het zwavel-ijzersulfide pyriet *niet* magnetisch. Een andere uitzondering is monaziet: dit is een ijzerloos fosfaat, maar is wel magnetisch).³⁾

De sterke en matig sterke magnetische fracties

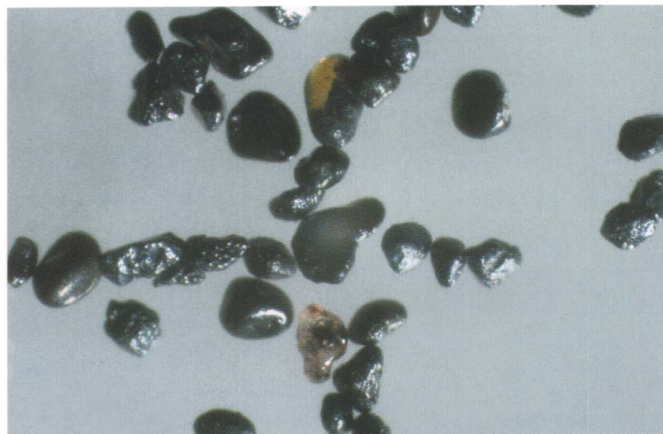
Allereerst moeten we de opake mineralen enige aandacht geven.

Opake mineralen

Er zijn er drie: magnetiet, ilmeniet en leucoxeen. Zij onderscheiden zich van elkaar door de sterkte van hun magnetisme. Andere opake mineralen, zoals pyriet, komen in onze monsters van het Donkere Zand van Ameland niet voor.

Magnetiet

Zoals gezegd is magnetiet het mineraal met verreweg het sterkste magnetisme. Met een klein handmagneetje is het al uit een zandmonster weg te vangen; de korrels "kleven" daarbij aan de magneet en aan elkaar tot een soort baard, ze laten los zodra ze van de magneet worden gescheiden. De magnetietkorrels zijn zwart, kubisch, in ideale vorm oktaëders, vaak zijn ze afgerond. Het is misschien verhelderend hier de chemische formule van magnetiet te noemen: $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$. Dit betekent dat er, naast twee atomen driewaardig ijzer, ook een atoom tweewaardig ijzer in het kristalrooster zit, en tweewaardig ijzer voorziet het mineraal van een sterke magnetische lading. Door oxidatie zet magnetiet geheel of gedeeltelijk om in limoniet. Het tweewaardige ijzer wordt hierbij omgezet in driewaardig, waardoor het magne-



Afb. 1. Magnetiet (opvallend licht). De sterk-magnetische korrels "kleven" aan elkaar, nadat ze met een kleine magneet uit het monster zijn gehaald. Beeldveld 1.6 mm.

tisme daalt en de kleur bruinzwart wordt. Maar ook gelimonitiseerde magnetiet is zo sterk magnetisch, dat het niet gauw in de volgende magnetische fractie zal belanden.

De eerste fractie van een zware-mineralenmonster dient steeds de sterkmagnetische fractie van magnetiet te zijn, aangezien deze de volgende fractie zou overheersen en de scheidingsapparatuur verstopen of anderszins in de war brengen.

We bekijken de magnetiet-fractie met opvallend licht en zien een beeld dat overeenkomt met afb. 1.

Ilmeniet en leucoxeen

Ilmeniet, met de formule FeTiO_3 , is het zwarte opake mineraal met een duidelijk lagere magnetische sterkte dan magnetiet.

De korrels zijn meestal afgerond.

Ook ilmeniet is aan verwerking onderhevig; het kan zijn ijzer gedeeltelijk of zelfs geheel verliezen en gaat dan over in **leucoxeen**. Bij dit proces blijft uiteindelijk TiO_2 over. Dit is ook de formule van rutiel, een kristallijn, doorschijnend mineraal, terwijl leucoxeen cryptokristallijn en opaak is. De kleur is lichtgrijs-lichtbruin, of iets donkerder als er nog wat ijzer in zit.

In dat geval is het ook licht-magnetisch, anders niet-magnetisch (zie kleurenfoto E!). Vanwege dit wisselende ijzergehalte kan ilmeniet / leucoxeen in alle fracties vanaf de tweede voorkomen. Dit beeld krijgen we in de serie overzichtfoto's A - F inderdaad voor ogen. Met een goede microscoop kan, bij opvallend licht, een overeenkomstige oppervlakte-structuur bij ilmeniet en leucoxeen worden waargenomen. Zie de afbeeldingen A, B, B - 6, C. Alledrie de opake mineralen komen tussen de zware mineralen zeer algemeen voor. In het zand van Ameland telde Krook ruim 20 % opake mineralen in de totale zware fractie.

De doorschijnende mineralen

Granaat

In overzichtfoto A zien we, behalve de opake ilmeniet, uitsluitend granaat, in diverse tinten van roze. Granaat is eigenlijk een groep van granaatmineralen, met namen als almandien ($\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$), spessartien ($\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) en pyroop ($\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$). Ook zijn er nog granaten met calcium in de formule. Het ijzer (Fe) kan mangaan (Mn) of magnesium (Mg) gedeeltelijk vervangen, waardoor zg. mengkristallen van almandien-spessartien, respectievelijk almandien-pyroop ontstaan, met almandien, spessartien en pyroop als eindleden. (Deze eindleden zelf komen trouwens nauwelijks voor.)

De hoeveelheid (hier tweewaardig) ijzer bepaalt in welke fractie de granaat valt. Ons zand van Ameland is kennelijk almandienrijk, want veel van de intens-rose granaatkristallen vallen in fractie A. In fractie B zijn de granaten lichter, d.w.z. ijzerarmer, in fractie C geldt dit nog sterker. Ook in fractie D komt nog een enkele granaat voor, deze is nagenoeg kleurloos. Behalve uit de foto's van fracties A, B en C blijkt dit kleurverschil als we deze fracties met opvallend licht door de microscoop bekijken. Afb. A - 1. Maar ook zonder vooraf te weten dat we met granaat te maken hebben moeten we toch kunnen zien welk mineraal we voor ons hebben? Daartoe schakelen we beide polarisatiefilters van onze microscoop in. Het opvallende licht is uitgeschakeld; het doorvallende licht staat aan. Het beeldveld is zwart en wat zien we op de plaats van de granaten? Niets. Granaat is een kubisch mineraal en het licht wordt tussen de polarisatiefilters gelijkmatig gebroken (bij niet-kubische mineralen gebeurt de lichtbreking ongelijkmatig, waardoor deze oplichten. Over dit oplichten later meer). Het gelijkmatig gebroken worden van het doorvallende licht heeft tot gevolg, dat de mineralen donker blijven bij XN (gekruste nicols). Afb. B - 2 / B - 3 en B - 6 / B - 7.

Ook spinellen behoren tot de groep van kubische mineralen. Deze blijven bij gekruiste nicols eveneens uitgedoofd, maar verwarring zal niet gauw optreden omdat spinellen meestal



Afb. A - 1. Granaat: diverse rose tinten en een hoog reliëf. Doorvallend licht, één polarisatiefilter (nicol). Preparaat met canadabalsem, brekingsindex 1.54.

andere kleuren hebben dan granaten, bv. donkergroen.

Een ander determinatiekenmerk van granaat is het zeer hoge reliëf: om de korrels zit een zware, donkere rand. Dit is te zien als één nicol is ingeschakeld. Afb. A - 1.

De rose kleur, het uitdoven tussen gekruiste nicols en het hoge reliëf bestempelen een zandkorrel met deze eigenschappen onmiskenbaar tot een granaat.

Granaat is in aangerijkte zanden vaak een grote component. In het zand van Ameland vormen ze bijna 60 % van de doorzichtige, en 45 % van het totaal aan zware mineralen!

Toermalijn

De fractie B van het Amelandse zand bevat o.a. toermalijn.

Toermalijn is net als granaat eigenlijk een groep van mineralen, met de zwarte schorliet als ijzerrijkste lid:

$\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH}, \text{F})_4$. Ook hier kan de hoeveelheid ijzer variëren: toermalijn komt in wel vier fracties voor.

Het borium- (B-) mineraal toermalijn komt o.a. in W-Cornwall en Z-Noorwegen plaatselijk massaal voor. Het mineraal verweert nauwelijks en is een echte "doorloper" in allerlei afzettingen. Vandaar dat toermalijn, en speciaal schorliet, in zware zanden zeer algemeen is.

Al zit er in een preparaat maar één langgerekte korrel, dan valt deze bij doorvallend licht direct op door zijn **pleochroïsme** (bij één ingeschakelde nicol). Wordt deze korrel op de draaitafel 90° gedraaid, dan verandert de kleur. Deze varieert van donker naar licht; dit "donker" kan zelfs zwart zijn. Het reliëf van toermalijn is hoog, maar wel lager dan dat van granaat. Afb. B - 1 en B - 2.

Tussen gekruiste polarisatiefilters (zwarte achtergrond) zijn kleuren zichtbaar; deze zg. interferentiekleuren houden verband met de dubbelbreking, waarover later meer. Afb. B - 3. Overigens: toermalijn kan gemakkelijk splijten in basissneden. Dit zijn platte, rondachtige korrels die géén pleochroïsme vertonen, en evenmin kleuren tussen gekruiste nicols. De eigen kleur bij opvallend licht geeft dan enig houvast, deze is bij de toermalijn-korrels in het preparaat doorgaans egaal bruinachtig met een zachte glans (en niet zwart, zoals bij grote schorlieten). Zie overzichtfoto's met opvallend licht B, C, D en E.

Door zijn opvallende pleochroïsme, dat bij geen enkel zwaar-zandmineraal zo uitgesproken is, kan toermalijn gemakkelijk worden herkend.

Stauroliet

Op kleurenfoto B zijn tamelijk veel lichtoranjeachtig gekleurde korrels te zien (er zijn ook nog gele - deze komen hierna aan de beurt). Deze vrij hoekige, oranje korrels zijn van stauroliet. Dit is

een mineraal dat in sommige metamorfe gesteenten veel voorkomt; het is redelijk stabiel en is dan ook bepaald niet zeldzaam in zanden uit zijn herkomstgebied. Normaliter vormt stauroliet grote kristallen, die vol insluitels van kwarts zitten. Bij erosie vallen deze kristallen in kleinere, hoekige fragmenten uiteen. De chemische formule is $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$, waarin het ijzergehalte dus weer variabel is. Bij afname ervan wordt de kleur navenant lichter.

Het reliëf is hoog, ongeveer als granaat. Er is - als u goed kijkt - (bij doorvallend licht en één nicol) pleochroïsme te zien. Als de draaitafel over 90° wordt gedraaid kunnen kleurvariaties tussen oranje - oranjegeel - kleurloos optreden. Afb. B - 4 en B - 5. Als u nu beide polarisatiefilters inschakelt (uitdoofstand), ziet u tegen de zwarte ondergrond bij een potentieel staurolietkristal opvallende, heldere, diepe kleuren oplichten: geel, rood, blauw. Afb. B - 6 en B - 7. Dit zijn de z.g. **interferentiekleuren**. Deze houden verband met verschillen in lichtbreking in het (orthorhombische) staurolietkristal.

Als u de draaitafel (met de polarisatiefilters in uitdoofstand) langzaam draait, zullen de interferentiekleuren op een gegeven moment uitdoven: de korrel wordt donker. Dit zal om de 90° gebeuren, er is dus 4 x uitdoving bij een totale rotatie van 360° . Dit verschijnsel geldt trouwens voor alle niet-kubische mineralen.

Deze worden samengevat onder de term **anisotrope mineralen**, terwijl de kubische mineralen **isotroop** genoemd worden.

We kijken nog even naar ons langgerekte toermalijnkristal. Afb. B - 3. Ook dit vertoont interferentiekleuren, al zullen deze niet zo duidelijk zijn als bij stauroliet. Wel zal zijn te zien, dat het kristal uitdooft als het parallel aan de trillingsrichting van de polarisatiefilters ligt, dus (als deze goed zijn gemonteerd) noord - zuid of oost - west. Dit is een belangrijk gegeven: toermalijn dooft **recht** uit. Dit houdt verband met de kristalstructuur van het mineraal: toermalijn is trigonaal. Ook het orthorhombische stauroliet dooft recht uit, maar omdat de korrelvorm meestal ongericht is kan de ligging ervan ten opzichte van de polarisatiefilters niet worden bepaald en is oriëntatie met behulp van de vorm onmogelijk.

De interferentie- (IF-)kleuren zijn het duidelijkst in de 45° -stand, dus precies tussen twee uitdovingen in. Over IF-kleuren is meer te lezen op pag. 57.

Epidoot

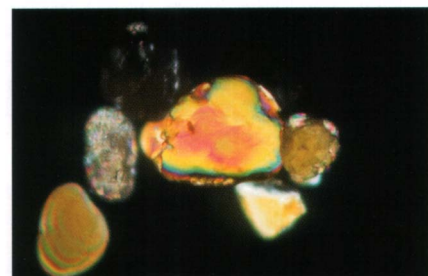
En nu de gele zandkorrels in overzichtsfoto B. Deze zijn van epidoot: geel of geelgroen, doorgaans afgerond, tamelijk eivormig.



Afb. B - 1. Toermalijn, granaat, epidoot (van links naar rechts). Pleochroïsme: toermalijn in lichte stand (doorvallend licht, één nicol).



Afb. B - 4. Stauroliet (oranje, in het midden) en twee gele epidootkorrels. Maximaal pleochroïsme. Doorvallend licht, één nicol.



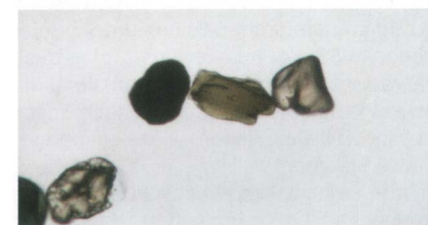
Afb. B - 7. Idem, XN. De stauroliet geeft de heldere interferentiekleuren van de 2^e orde; de granaten zijn uitgedoofd; de toermalijn heeft hoge IF-kleuren: de "ringen" corresponderen met de opeenvolgende orden.



Afb. B - 2. Idem, toermalijn in donkere stand.



Afb. B - 5. Idem. De pleochroïtische kleuren van stauroliet en epidoot op hun lichtst.



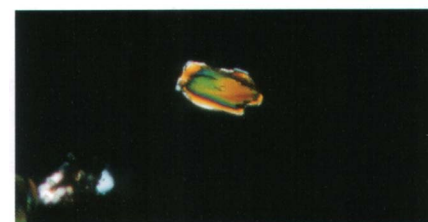
Afb. B - 8. Groene hoornblende (midden). Links: ilmeniet; rechts: granaat. Doorvallend licht, één nicol. Preparaat met canadabalsem, brekingsindex 1.54.



Afb. B - 3. Idem, met gekruiste nicols. De toermalijn heeft hoge interferentiekleuren, evenals de epidoot. De granaat, in het midden, is uitgedoofd. Enkele insluitels lichten op.



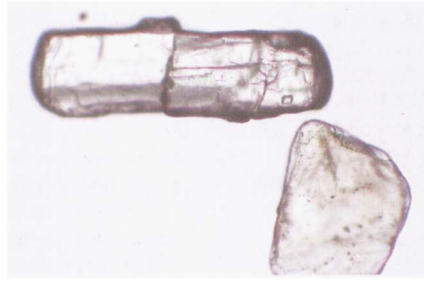
Afb. B - 6. Stauroliet (grote oranje korrel en een kleine korrel eronder); toermalijn (links onder); drie granaten (boven de stauroliet) en alteriet, de verweerde epidoot (rechts). Doorvallend licht, één nicol.



Afb. B - 9. Idem, XN. Alleen hoornblende is te zien, met z'n interferentiekleuren van de 3^e orde. Ilmeniet is opaak en granaat is isotroop!.



fb. F – 1. Leucoxene: beige, dof, niet-doorschijnend. Erboven een prismatische rutiel en een ongerichte korrel van dit mineraal; verder twee zirkonen. Opvallend licht, dus geen reliëf te zien (vergelijk F – 2.).



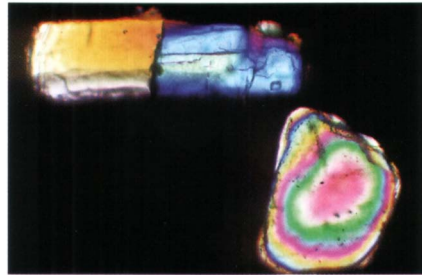
Afb. F – 4. Kyaniët boven, kwarts onder. (Het reliëf is vrij hoog door gebruik van een inbedmiddel met brekingsindex 1.49). Doorvallend licht, één nicol.



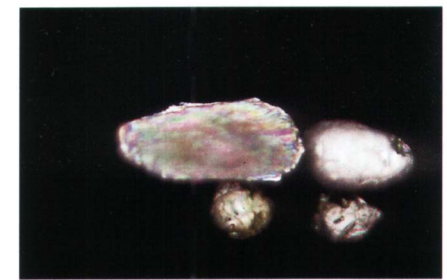
Afb. F – 7. Gestrekte, afgeronde korrel van sillimaniet, met hier en daar vezelvormige delen. Het reliëf is vrij hoog, maar veel lager dan de andere korrels (zirkoon). Doorvallend licht; één nicol.



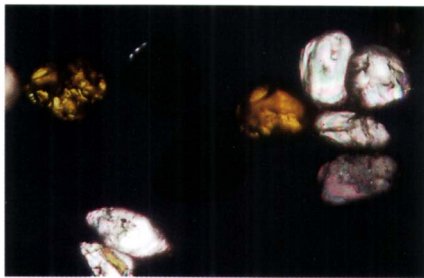
Afb. F – 2. Diverse zirkonen en rutielen bij doorvallend licht en één nicol. Zie de idiomorfe, dubbeleindige en zonaire zirkoon midden onder.



Afb. F – 5. Idem, XN. Door een getrapt verschil in de korreldikte heeft de kyaniët verschillende interferentiekleuren; op zich is de korrel plat. De kwarts is bol en geeft van de rand af achtereenvolgens alle IF-kleuren tot en met rood 3e orde (zie de kleurenkaart).



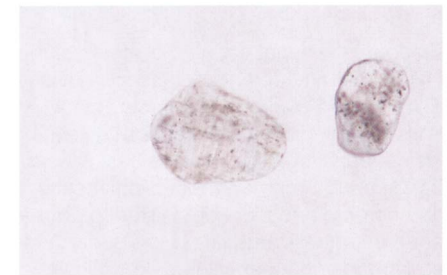
Afb. F – 8. Idem, met XN. De sillimaniet heeft als interferentiekleuren smalle kleurbandjes; de zirkonen vertonen het wit hogere orden.



Afb. F – 3. Idem, XN. De genoemde zirkoon uit F – 2 heeft als interferentiekleuren het wit van de hogere orden. Eén zirkoon ligt bijna evenwijdig aan een polarisatiefilter en is bijna uitgedoofd.



Afb. F – 6. Kyaniëtkorrel met blauw pleochroïsme. Doorvallend licht, één nicol.



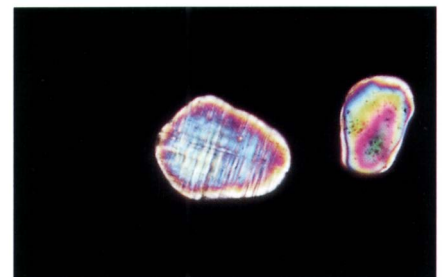
Afb. F – 9. Kwarts (rechts) en mikroklien, een alkaliveldspaat. Deze heeft een nog lager reliëf dan kwarts, er is maar een heel dun lijntje om de korrel te zien. Doorvallend licht, één nicol.

In het vak links van overzichtfoto B liggen twee heel duidelijke, bij zeker drie staurolieten (en een toermalijn onderaan rechts van dit vak op de lijn, bruin oplichtend).

Epidoot is een mineraal uit een hele groep: de epidootreeks. Het is in deze groep de meest voorkomende soort. Als chemische formule heeft het $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{III})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$. Hierin is o.a. het ijzergehalte weer variabel. Het mineraal komt dan ook in vier van onze overzichtfoto's voor, maar wordt wel steeds lichter van kleur naarmate het ijzergehalte afneemt.

Het reliëf is hoog, ongeveer als stauroliet. Bij het bekijken met één polarisatiefilter kunt u, al draaiend met de draaitafel, pleochroïsme waarnemen variërend van diverse tinten geelgroen, geel en gelig wit. Zie afb. B – 4 en B – 5; bij B – 1 en B – 2 minder duidelijk.

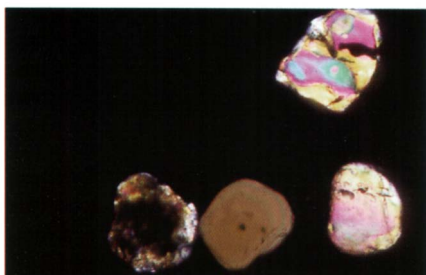
Bij inschakeling van beide polarisatiefilters zijn ook ditmaal interferentiekleuren te zien, maar in fractie B deze zijn veel minder duidelijk dan bij stauroliet. Afb. B – 3. De oplichtende kleuren hebben velerlei lichte, fletse kleuren, die soms moeilijk te onderscheiden zijn. Alleen aan de randen, waar de korrel het dunst is, zijn heel smalle bandjes in diverse kleuren te zien. De interferentie-



Afb. F – 10. Idem, met XN. De interferentiekleuren van de bolle kwartskorrel halen het groen 3e orde. De mikroklien is platter en bereikt het geel van de 2e orde. Duidelijk is bij dit kristal de "schaakbordstructuur" te zien. Deze wordt veroorzaakt door haaks op elkaar staande, parallelle vertweelingen en is kenmerkend voor mikroklien.



Afb. C - 1. Spinel, vaalgroen (linksboven). Rechtsboven en -onder: epidoot. Midden onder: toermalijn (met een licht pleochroïsme en een reliëf dat duidelijk onder dat van epidoot ligt). Doorvallend licht, één nicol. Inbedmiddel van het preparaat: canada-balsem ($n = 1.54$).



Afb. C - 2. Idem, XN. De spinel blijkt duidelijk isotroop! De bovenste epidoot heeft, vergeleken met de matig magnetische korrel in afb. B - 3, lagere interferentie-kleuren

kleuren worden ietwat geelbruinig als de eigen kleur erg prominent is.

Alteriet

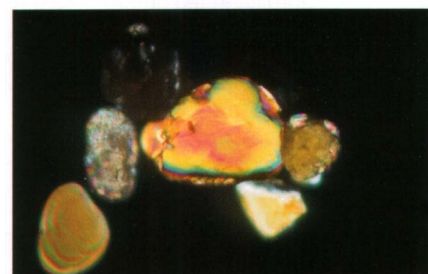
Epidoot is een niet erg stabiel mineraal: het verweert op den duur. Het is zaak, heldere, goed pleochroïtische korrels te bekijken. Zijn de korrels bij opzicht al iets troebel, dan blijken ze bij gekruiste nicols helemaal niet egaal meer, maar gefragmenteerd in kleine, apart oplichtende deeltjes. Dit soort uitdoving / oplichting bij XN noemt men aggregaat-polarisatie. Soms heeft een korrel aan een kant nog wel duidelijke epidoot-kenmerken, maar is de andere kant al omgezet. Als er geen duidelijke optische eigenschappen van epidoot meer kunnen worden onderscheiden, wordt de naam **alteriet** toegepast. Bij opvallend licht zijn de korrels witachtig troebel, bij doorvallend licht (één nicol) grijs tot groenig, eveneens troebel. Afb. B - 6 en B - 7. In de Kwartaire afzettingen van West-Europa komt alteriet veelvuldig voor. Het mineraal epidoot (in zijn ijzerrijke vorm) en het minerale product alteriet zijn niet de enige epidoot-achtigen die in het zand van Ameland voorkomen. We zullen er nog meer ontmoeten in de fracties C, D en E.



Afb. D - 1. De grote korrel heeft geen specifieke kenmerken. Het reliëf is ongeveer gelijk aan dat van zijn buurman links, die bovenaan verweerd lijkt. De korrel erboven heeft een hoger reliëf. Doorvallend licht, één nicol..



Afb. D - 2. Idem. Bij gekruiste nicols blijkt de grote korrel porseleinblauw op te lichten: het anomale blauw van klinozoisiet. De buurman blijkt een epidoot met beginnende alteritisatie. De korrel bovenaan, een granaat, is uiteraard uitgedoofd..



Afb. D - 3. Nog meer klinozoisiet bij XN. Ditmaal hebben de korrels een normale gele interferentiekleur, met een anomaal blauwe rand. De korrel rechts is epidoot.

Amfibool

Er zitten in fractie B enkele korrels van nog een ander pleochroïtisch mineraal. Dit mineraal, in de wandeling **groene hoornblende** geheten, behoort tot een hele groep: de amfiboolgroep. De kleur is – de naam zegt het al – groen, maar door het pleochroïsme kan deze ook naar groengeel zwemen. Behalve de kleur is ook de doorgaans langgerekte, wat afgeplatte vorm karakteristiek; vaak is over het kristal een streping te zien, deze hangt samen met de goede splijting van het mineraal. Bij gekruiste nicols zie je zachte tinten van o.a. groen, geel, rood van de 3^e orde, die niet precies recht uitdoven ten opzichte van de polarisatiefilters, maar met een kleine hoek. Afb. B - 8 en B - 9.

Hiermee hebben we de belangrijkste mineralen van de matigsterke magnetische fractie B wel gehad.

Nu maken we een stap naar de niet-magnetische fractie F.

De niet-magnetische fractie

Op de kleurenfoto F staat een divers gezelschap mineralen, die zeker één eigenschap gemeen hebben: ze zijn niet-magnetisch. Het is de laatste fractie, die bij het magnetisch scheiden met de Frantz-magneetscheider werd gesepareerd. Na dit proces bleef er nog een klein beetje licht materiaal over, voornamelijk kwarts en wat veldspaten.

Nogmaals leucoxeen

Zoals in het begin van deze mineralenbeschrijving is gezegd, is het aandeel van het belangrijke opake mineraal ilmeniet in elke magnetische fractie niet te verwaarlozen. Naarmate het ijzergehalte van de ilmeniet afneemt, wordt het titaangehalte relatief groter en de magnetische gevoeligheid kleiner: ilmeniet gaat over in leucoxeen. In de fractie waarmee we nu bezig zijn: de niet-magnetische fractie F, zitten alleen nog de ontijzerde korrels van leucoxeen. Deze bestaan uit cryptokristallijne "rutiel": TiO_2 . Bij opvallend licht zijn ze licht van kleur, maar bij doorvallend licht (met één nicol) zijn ze donker. Bij XN (twee nicols) zijn ze donker, niet geheel opaak maar grijsachtig. Hieraan kun je ze van andere opake mineralen onderscheiden. Overzichtfoto F en afb. F - 1.

Zirkoon

Zirkoon (tetragonaal, ZrSiO_4) is op kleurenfoto F heel dominant aanwezig. Bij opvallend licht zie je rose of gelige, maar vooral witte, doorschijnende korrels, die tot deze mineraalsoort behoren. De vorm kan idiomorf zijn, d.w.z. dat de zuivere kristalvorm te zien is (een zuiltje met aan weerszijden een piramide), maar

meestal zijn de korrels afgerond en eivormig. Afb. F – 1. Bij doorvallend licht (één nicol) is het zeer hoge reliëf te zien: een dikke rand om de mineraalkorrel verraadt een hoge brekingsindex ($n = 1.9 - 2$; "n" is de eenheid voor de mate waarin het licht in een stof gebroken wordt). Afb. F – 2. Bij XN zijn de zuilvormige zirkoonkristallen het makkelijkst te herkennen. Afb. F – 3. In de 45°-stand, dat is de stand waarbij een zirkoon zijn interferentiekleuren het duidelijkst vertoont, verschijnen deze kleuren doorgaans als een lichte, vrij egale kleur; dit is het zg. "wit hogere orden". (Zie de tekst bij de Interferentiekleuren-kaart op pag. 57.) In de 0°- of 90°-stand doven de kristallen uit (mits de polarisatiefilters N-Z en O-W gericht zijn). Afb. F – 3: de onderste van de vier korrels. Deze rechte uitdoving, het hoge reliëf, het vaak optredende "wit hogere orden", gecombineerd met de zuilvorm en de piramidale kristaleinden bestempelen de korrel onmiskenbaar tot een zirkoon. Zie ook afb. F – 7 en F – 8. De meeste zirkoonkristallen zijn klein van stuk, zo'n 70-120 μm . (Ze zitten dan waarschijnlijk ook massaal in de fijnere groottefractie). Omdat met name de kristalpunten vaak heel dun zijn, kunnen ook lagere interferentiekleuren dan het wit hogere orden optreden. Dan zijn veelal rose en groene bandjes te zien, evenwijdig aan de kristalomtrek. Zowel de prismatische als de afgeronde zirkonen hebben vaak insluitsels, vooral van rutielaalden. Zirkonen met insluitsels van magnetiet kunnen ook in wel-magnetische fracties worden gevonden.

Rutiel

Evenals zirkoon is ook rutiel (TiO_2) tetragonaal. Dit betekent dat het bij XN recht uitdooft. Het reliëf is zeer hoog: de dubbelbreking is $2.6 - 2.9$! De hoge dubbelbreking geeft hoge interferentiekleuren, meestal het wit hogere orden, maar als de eigen kleur erg prominent is, kun je hiervan weinig zien. Rutiel komt vaak voor als een al of niet onregelmatig gevormd prisma. Deze langwerpige, (rood)bruine korrels vallen vooral bij opvallend licht duidelijk op, omdat ze, ijzervrij als ze zijn, tussen de vele lichte, niet-magnetische mineralen liggen. Afb. F – 1, F – 2, F – 3, F – 10. Rutiel vertoont duidelijk pleochroïsme in tinten van licht- en donkerbruin, maar ook wel van donkerbruin naar zwart. Een tweede verschijningsvorm van rutiel is die in fijne naalden. In deze vorm komt het als insluitel in verscheidene mineralen voor, zoals granaat, kyaniet, glimmers en kwarts. Afgezien al van de kleur, kan de uitdoving van deze naalden tussen XN anders zijn dan die van het gastkristal. Dit veroorzaakt bijvoorbeeld het oplichten bij XN van overigens isotrope en dus niet-dubbelbrekende granaten! (Afb. B – 3).

Kyaniet

Kyaniet, Al_2SiO_5 , wordt ook vaak distheen genoemd. Het is een levendig en haast vrolijk ogend mineraal, door zijn stralende interferentiekleuren. Afb. F – 4 en F – 5. In de niet-magnetische fractie F komt het vrij veel voor (zie overzichtfoto F), maar ook in fractie E zitten er enkele. Vaak vormt kyaniet brede, langgerekte, platte plaatjes. Het heeft splijting in drie loodrecht op elkaar staande richtingen, maar de duidelijkste splijting is evenwijdig aan het vlak waarop de korrel terechtkomt als hij valt: het langgerekte, brede plaatvlak. Door bij doorvallend licht de scherpstelling van de microscoop lens iets omlaag/omhoog te draaien, zijn ongeveer recht op elkaar staande, verspringende lijntjes te zien. Deze "gehakelde" figuurtjes zijn een typisch kenmerk. Bij wat geluk is bij doorvallend licht (één nicol) ook een duidelijke kleur lichtblauw te zien, die pleochroïsch is. Afb. F – 6. Het reliëf is hoog ($n = 1.71 - 1.73$), maar veel lager dan van zirkoon of titaniet. De gemakkelijke splijtbaarheid maakt, dat de dikte van de korrels vaak trapsgewijs verandert. Dit heeft tot gevolg, dat er bij XN plotselinge veranderingen in de interferentiekleuren optreden (deze IF-kleuren hangen namelijk nauw samen met de dikte van het mineraal). Afb. F – 5.

De uitdoving is vaak niet helemaal compleet. Er kunnen in de uitdooftand een of meer plekjes blijven oplichten. Deze "nacht-pitjes" (de term is van Krook) zijn kenmerkend voor kyaniet. De splijting mag dan een rechthoekige indruk geven, deze impressie is schijn, want alles aan kyaniet is scheef. Het mineraal is triklien en dat houdt in dat geen enkele kristallografische richting in het kristal evenwijdig loopt met de richting van de polarisatiefilters. Tussen XN zal kyaniet altijd scheef uitdoven. In de favoriete ligging van de mineraalkorrels: breed gestrekt, maakt de uitdovingsstand een hoek van wel 32° ten opzichte van de polarisatiefilters. Ook dit is een belangrijke determinatie-eigenschap.

Sillimaniet

Een vrij zeldzaam mineraal in ons monster, maar wel een opvallend, is sillimaniet. Afb. F – 7 en F – 8. Het komt voor als kleurloze, lange en slanke, aan de uiteinden vaak afgeronde korrels met een zeer goede splijting. Het reliëf is vrij hoog, ongeveer dat van toermalijn. Tussen XN is er rechte uitdoving, het mineraal is orthorhombisch. De interferentiekleuren zijn helder, van de 2^e en 3^e orde, met veel geel, groen en donkerroze. Vaak vertoont sillimaniet een vezelige habitus: **fibroliet** genoemd. De vezels of naaldjes liggen ongeveer parallel aan de lengterichting of zijn vervlochten, wat een IF-beeld met bochtige lijntjes geeft. Vaak komen in één korrel beide vormen voor. Sillimaniet heeft dezelfde samenstelling als kyaniet: is tegen verwerking en transport bestand.

Kwarts

Kwarts behoort tot de lichte mineralen en hoort in onze presentatie van zware mineralen in zand eigenlijk niet thuis. Als het goed is, hebben we bij onze voorbereiding van de te bekijken fracties de kwarts juist afgescheiden. Bij de splitsing in magnetische fracties horen er dan ook eigenlijk geen zuivere kwartsen mee te komen. Maar in de praktijk glipt er toch menige kwartskorrel ons preparaat binnen en vooral in het restant van het monster, dat na de bewerking met de Frantz magneetscheider overbleef, was kwarts nog vrij algemeen aanwezig. Naast de kyaniet van afb. F – 5 zit er bijvoorbeeld een. Het is dus zaak om ook kwarts te kunnen herkennen. Daarom volgen hier enkele opmerkingen over de "moeder van alle zanden". Zuivere kwarts is in ons Amelandse zand kleurloos bij opvallend licht, waar het als afgeronde of hoekige korrels in zit. Soms zitten er donkere deeltjes of andere insluitingen (kristalletjes, luchtbelletjes) in. Het is voor het leeuwendeel afkomstig uit gesteenten, waarin het geen eigen kristalvlakken kon vormen. U moet in het zand van Ameland dan ook beslist geen mooi zeszijdige, van piramides voorziene "bergkristallen" verwachten! Dit geldt trouwens voor de meeste kwartsen in zanden in het algemeen. Het reliëf van kwarts t.o.v. het inbedmiddel: immersieolie ($n = 1.51$), of canadabalsem ($n = 1.537$) is laag: de brekingsindex van kwarts ($n = 1.54 - 1.55$) ten opzichte van deze stoffen verschilt maar weinig. Het reliëf ligt dan ook maar iets hoger dan dat van canadabalsem, dat meestal als standaard-inbedmiddel geldt. Het lijntje dat de korrelbegrenzing aangeeft, is maar heel dun. Door de vaak bolle vorm van de kwartskorrels kan de dikte van de korrel oplopen van heel dun (zo'n 0.03 mm) tot maximaal voor de gebruikte grootte-fractie (zeg 0.2 mm). De interferentiekleuren bij XN, die o.a. van de dikte van het mineraal afhankelijk zijn, kunnen dan ook sterk uiteenlopen. Ze variëren van wit aan de rand naar geel, oranje, rood (de kleuren van de 1^e orde), gaan over in blauw, groen geel, rood (2^e orde), en vervolgens met groen, geel en rood van de 3^e orde. (Zie de Michel Lévy-kleurenkaart op pag. 57.) De kwartskorrel die dit vertoont geeft in zijn eentje het beeld van een kwartswig, een hulpmiddel in de optische mineralogie. Afb. F – 5 en F – 8.

In kwarts kunnen zoals gezegd vele soorten insluitels voorkomen, bv. gasbellen, vloeistoffen, rutiënaalden, magnetiet. Ook is een coating van bv. limoniet algemeen, de korrels zijn dan niet helder en kleurloos, maar dof en (licht)bruin. Zijn zulke insluitels of overkorstingen magnetisch, dan is het verklaarbaar dat kwarts in een van de magnetische fracties voorkomt. Het is dus zaak om ook dit lichte mineraal goed te kunnen onderscheiden. Kwarts is zeer stabiel, het is het meest voorkomende zandmineraal, hoewel de aardkorst voor 12 % uit vrije kwarts bestaat!

Veldspaat

Omdat de helft van de aardkorst uit veldspaat bestaat (plagioklaas 39 %, alkaliveldspaat 12 %), is het niet zo'n wonder dat ook veldspaat een belangrijke component van zand is (gemiddeld 10 % van het totaal). Het grote verschil in voorkomen in gesteenten en in los zand ligt o.a. in het feit dat veldspaten gemakkelijk ververen; door hun vorm en gewicht worden ze niet aangerijkt. Omdat ze tot de lichte mineralen behoren (s.m. 2,5 voor de alkaliveldspaten, de plagioklazen gaan tot 2,8), zullen ze in het zware-mineralenmonster eerder toeval dan regel zijn. In de niet-magnetische rest zat een mooi voorbeeld, afgebeeld in afb. F – 9 en F – 10: **mikroklien**, een alkaliveldspaat.

De zwak-magnetische fracties

Achtereenvolgens hebben we nu de mineralen van drie van de zes magnetische fracties bekeken: twee aan de magnetische kant en een aan de niet-magnetische. De verschillen in mineraalinhoud waren frappant. Waar die magnetische scheiding al niet toe in staat is!

Nu zijn er nog de drie tussenliggende fracties over (fracties en kleurenfoto's C, D en E). Deze fracties bevatten elk maar weinig materiaal en er zijn ook niet veel nieuwe soorten mineralen in te ontdekken.

Opmerkelijk is wel de verschijning van **groene spinel** in fractie C en D.

Interessant is het verloop van de mineralen met variaties in ijzergehalte: **granaat**, **toermalijn**, **stauroliet** en **epidoot**. Deze zijn in de zwak-magnetische fracties nog steeds aanwezig en gedragen zich zoals te verwachten is: ze worden kleurlozer naarmate ze minder magnetisch zijn. De granaat loopt nog lang door.

De stauroliet komt eigenlijk alleen in de fracties B en C voor.

De toermalijn houdt het heel lang uit: vanaf fractie B komt deze in elke fractie voor, zelfs in fractie F, de niet-magnetische, is hij nog duidelijk aanwezig. Afb. C – 1 en C – 2.

Een belangrijke component in de zwak-magnetische fracties is **titaniet**.

Spinel

In de fracties C en D werden enkele korrels groene spinel gevonden. Deze hebben een hoog reliëf ($n = 1.7 - 1.8$), ongeveer als granaat. De kleur is echter helder of donker groen, sommige korrels vertonen zwarte insluitels. Dit is goed te zien bij doorvallend licht met één nicol. Bij XN dooft spinel uit, behoudens mogelijk een verweringszone. Dat komt omdat spinel, evenals granaat, isotroop is, d.w.z. geen dubbelbreking heeft. Afb. C – 1 en C – 2!

Titaniet

Titaniet is soms moeilijk te herkennen, omdat het vaak in niet-typische vorm en kleur optreedt. Gelukkig komt het ook voor als een duidelijke oranje-achtige, ronde of breed-ovale korrel, in de licht- of zeer matig magnetische fractie. Soms is er pleochroïsme te zien, die van bijna kleurloos tot bleekgeel, groenig of bruin kan variëren.

Het reliëf is zeer hoog ($n = 1.9 - 2$), dus overeenkomstig zirkoon. De kleur bij opvallend licht en het eventuele pleochroïsme helpen, en ook het feit, dat titaniet bij XN vaak **scheef uitdooft** ten opzichte van zijn lengterichting (zirkoon altijd recht). Titaniet is monoklien en dat houdt in, dat de inwendige structuur in bepaalde liggingen van het kristal scheef staat ten opzichte van de polarisatiefilters. De dubbelbreking (blijkend uit de interferentiekleuren) is hoog: tot het wit hogere orden. Dat de uitdoving scheef is, is door de afgeronde korrelvorm vaak niet zo duidelijk te zien; het is of er bij het uitdovingspunt een schaduw over de korrel valt. Al met al is titaniet in zand niet zo'n makkelijk mineraal. Het hoge reliëf geeft wel een indicatie.

Vaak bevat titaniet (CaTiSiO_5) enig ijzer. Dit is de reden dat het meestal in de licht-magnetische fractie voorkomt (in "ons" zand in fractie D en E) en vrijwel nooit in de niet-magnetische fractie. Zie overzichtfoto's D en E.

En dan de **epidoot**. Ook deze loopt lang door, al of niet als alteriet. Omdat bij dalend ijzergehalte de dubbelbreking van epidoot lager wordt, kan een verandering in de interferentiekleuren opgemerkt worden. In de matig sterke magnetische fractie (fractie B) waren dit de tinten van de hoge orden (lichtroze en -groen), maar in de zwak-magnetische fracties verschijnen bij XN heldergele, rode, blauwe en groene kleuren, die al gauw herkend zullen worden als de glas-in-loodachtige "epidootkleurtjes".

Afb. C – 1 en C – 2.

Daarnaast verschijnt in fractie D ook een ander lid van de epidootgroep ten tonele:

Klinozoisiet

Klinozoisiet is bij opvallend licht kleurloos, bij doorvallend licht (één nicol) is er geen pleochroïsme, er is geen ander specifiek kenmerk; het reliëf is ongeveer dat van epidoot. Maar bij gekruiste nicols kan een klinozoisietkorrel een heel intensief blauwe kleur vertonen; bij het draaien van het mineraal slaat deze kleur bij het uitdovingspunt om naar vuilgeel, bij verder draaien komt het blauw weer terug. Deze merkwaardige kleur blauw, die in de literatuur wel als porseleinblauw wordt omschreven, is niet in overeenstemming met wat je als interferentiekleur zou verwachten. Deze tint wordt dan ook **anomaal blauw** genoemd. Afb. D – 1 en D – 2. Voorts verschijnt klinozoisiet bij XN wel als een gele korrel met een blauwige rand. Afb. D – 3 en D – 4.

Klinozoisiet is monoklien, en dan kun je een scheve uitdoving verwachten, maar ook rechte uitdoving komt vaak voor.

Met zekerheid is klinozoisiet te bepalen via een zg. assenbeeld. Het onderscheidt zich dan duidelijk van weer een ander lid van de epidootgroep: **zoisiet**.

Omdat de (orthorhombische) zoisiet veel minder voorkomt en trouwens veel op klinozoisiet lijkt (rechte uitdoving; ook anomaal blauw bij XN), zullen we de anomaal blauwe epidootgroep-korrels niet nader onderscheiden. De chemische formule van klinozoisiet is: $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$, op de aluminium-plaats kan ook enig ijzer ingebouwd zijn.

Klinozoisiet werd aangetroffen in de fracties D, E en F.

Conclusies

Uit het zand van Ameland hebben we nu 18 mineralen bekeken. 16 hiervan waren zware mineralen; 15 waren doorschijnend en 3 opaak.

Voor het herkennen waren goed gescheiden magnetische fracties nodig, met zorg en met een goed inbedmiddel vervaardigde preparaten, een met polarisatiefilters en draaitafel uitgeruste microscoop, en vooral uw grote aandacht voor de details die aan de zandkorrels te zien zijn. Het resultaat kan verbluffend genoemd worden. Al is een zandkorrel nog zo klein, hij blijft een mineraal met een eigen wezen.

Als er in het zand van Ameland met onze betrekkelijk eenvoudige middelen 18 mineralen herkenbaar zijn, is dat een fraai resultaat. Leendert Krook, met zijn professionele polarisatie-microscoop, vond uiteindelijk zelfs 24 soorten (behalve de genoemde ook nog andalusiet, apatiet, enstatiet, monaziet, tremoliet, en zelfs een brookiet).

Deze grote variatie in soorten mineralen maakt het Amelandse zand bijzonder interessant. Maar ook bijvoorbeeld het zand van Petten is rijk aan zware mineralen, en de Nederlandse kustten zijn daarmee niet uitgeput. Andere zanden dan de Nederlandse zullen door de eigen aard van hun achterland weer andere mineralen opleveren. Andere zanden dan zeezand hebben een eigen karakter en een eigen mineralenscala. Zanden van vulkanische herkomst zullen bijvoorbeeld vooral biotiet, amfibolen (hoornblendes) en pyroxenen (zoals augiet) bevatten. Deze zijn transportgevoelig, we hebben ze in het zand van Ameland dan ook spaarzaam aangetroffen (biotiet al helemaal niet). Voor wie eenmaal de kunst van de mineraalherkenning beheerst, staat een wereld open!

Tijdens de inspanningen om de mineralen aan de hand van dit artikel te herkennen bent u en passant in sneltreinvaart ingewijd in enkele belangrijke basisbegrippen van de mineraaloptiek en vooral in de toepassing ervan. Ik kan me voorstellen dat het even wennen was! Wat dat betreft hebben we nu het ergste gehad. In eventueel later volgende mineraalbeschrijvingen zullen we steeds op deze basisbegrippen kunnen terugvallen.^{****}

Ik heb mijn uiterste best gedaan om zo weinig mogelijk op de theorie in te gaan, omdat het instuderen daarvan vaak een rem vormt bij het "lekker met mineralen bezig zijn". De begrippen en eigenschappen werden zo veel mogelijk daar ingevoerd waar ze direct vereist waren. Hierdoor werd de volgorde van de behandelde mineralen van belang. Wil deze minicursus maximaal effect hebben, dan zal deze volgorde dan ook moeten worden nagevolgd.

Uiteraard bestaan er voor de mineraaloptiek wetenschappelijk meer verantwoorde en didactisch meer feilloze literatuurbronnen. Wie ook de theoretische achtergronden zoekt van het fascinerende gebeuren onder de polarisatie-microscoop kan uit de volgende literatuuropgave zijn keus maken.

Zonder een leidsman-op-de-achtergrond zou dit artikel nooit tot stand gekomen zijn. Hartelijke dank daarom aan Dr. Leendert Krook, die als ruggeleunen en corrector zo'n belangrijke rol speelde.

Literatuur

M.A. Mange en H.F.W. Maurer: *Schwerminerale in Farbe*; Enke Verlag, 1991.

W. Boenigk: *Schwermineralanalyse*; Enke Verlag, 1983.

L. Krook: *Determination properties of heavy minerals*; dictaat.

G. Müller en M. Raith: *Methoden der Dünnschliffmikroskopie*; Claustaler Tektonische Hefte, Geol. Inst. Techn. Univ. Clausthal, 1976.

P.F. Kerr: *Optical mineralogy*; McGraw-Hill Book Co., 1959.

W.A. Deer, R.A. Howie en J. Zussman: *An introduction to the Rock Forming Minerals*; Longman Group, 1974.

P. Ramdohr en H. Strunz: *Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*; Enke Verlag, 1978.

F.H. Hatch en R.H. Rastall: *The petrology of the sedimentary rocks*; Murby & Co., 1957.

Verder zijn er de laatste jaren vele artikelen over zand, en de apparatuur en handelwijzen om dit te bekijken, in *Gea* gepubliceerd. Het begon in dec. 1994 met "Wat is zand?" Daarna volgden juni, sept. (met kleurenfoto's), dec. 1995; juni, sept., dec. 1996; juni, sept., dec. 1997; juni, dec. 1998.

^{*)} Zie voor het ombouwen van de MBS 10 Gea, juni 1997.

^{**)} Zie voor het scheiden van lichte en zware mineralen Gea, juni 1996.

^{***)} Zie voor het scheiden van zware mineralen in magnetische fracties Gea, sept. 1996.

^{****)} Zie voor iets meer over optische eigenschappen van mineralen Gea, dec. 1998.

Bijschriften bij de overzichtfoto's op pagina 56

Fractie A. Ilmeniet: zwart, afgerond. **Granaat:** diverse tinten rose, hoekig tot afgerond. Geen magnetiet, deze is in de magnetietfractie al met een handmagneet "gevangen".

Fractie B. Ilmeniet: zwart. **Granaat:** rose. **Epidoot:** groengeel, geel, lichtgeel, afgerond tot prismatisch. **Stauroliet:** geeloranje. **Toermalijn:** o.a. helder geelbruin op lijn in het midden en rechtsboven.

Fractie C. Nog steeds ilmeniet. Granaat (zeer lichtrose, nog maar weinig ijzer aanwezig) treedt terug. **Epidoot**, heel talrijk, vnl. lichtgeel en kleurloos, is eveneens lichter dan in fractie B. **Stauroliet:** lichtoranjegeel. **Spinel:** blauwgroene korrel linksboven, ook bovenaan rechts van het midden. **Toermalijn:** is in deze fractie sterk aangerijkt en ijzerrijk, ws. schorliet; links in middenboven-vak grijsbruin (rechtsonder zwarte ilmeniet); ook prismatisch onder rechter snijpunt; ook vierde korrel links hiervan (grijsbruin). **Leucoxeen:** rechtsboven eerstgenoemde toermalijn (in middenboven-vak) ligt er een.

Fractie D. Nog nauwelijks ilmeniet, deze is grijs, gedeeltelijk omgezet naar leucoxeen. **Leucoxeen** is grijsbruinachtig, zoals rechts van het midden onderaan. **Toermalijn:** bruinig, ruitvormig, ligt schuin rechtsboven het snijpunt van de lijnen. Granaat ontbreekt, wel veel **epidoot:** lichtgeel, kleurloos; o.a. rechtsbovenaan en middenlinks. **Spinel:** donkergroene korrel linksboven. **Titaniet:** oranjegeel, rechts van genoemde toermalijn. In deze fractie zitten van de ijzerbevattende mineralen nog slechts ijzerarme korrels.

Fractie E. De ilmeniet is grotendeels omgezet in leucoxeen, er zijn diverse doffe, grauwe korrels, sommige hebben nog ilmenietresten. **Epidoot** (klino/zoisiet?) is lichtgekleurd. **Toermalijn** (lichtgrijsbruin, Fe-arm) ligt boven het midden, links van een grote kleurloze korrel (rechts daarvan weer leucoxeen). **Titaniet**, groot en geelbruin, ligt ongeveer op dezelfde hoogte, op de linker verticale lijn. **Rutil**, bruin en zwart, vormt langgerekte korrels. **Andalusiet** (ws.): rechts bovenaan, kleurloos transparant, met zwarte insluitels.

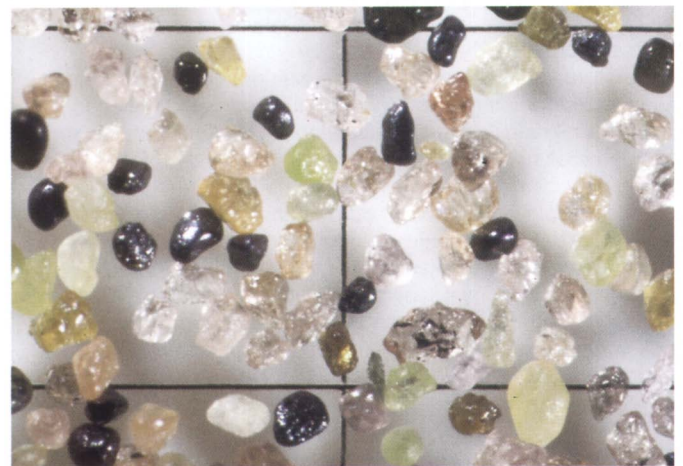
Fractie F. Dit is de "zirkoon-fractie", er zit geen kwarts in! Zirkoon: kleurloos, lichtgeel, lichtrose, glans veel hoger dan kwarts, vaak duidelijk prismatisch van vorm (kwarts is in zand niet prismatisch). Verder **leucoxeen:** grote korrel op verticale lijn rechts vrij onderaan, en middenonder (geelbruin). **Rutil:** bruin, prismatisch, o.a. onderaan op linker verticale lijn, maar ook wel zwart (tussen bovengenoemde leucoxeenen bv.) **Kyaniet:** het grote lichtgele, transparante kristal bovenaan.

Een vierkant vakje is 1 mm²
Kleurenfoto's: P. Stemvers

Zware mineralen op de overzichtfoto's met opvallend licht (zie ook Gea, sept. 1995)



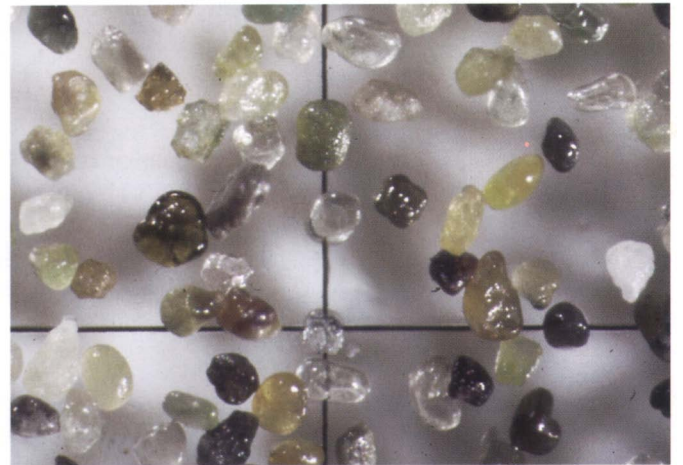
A. *ilmeniet
granaat*



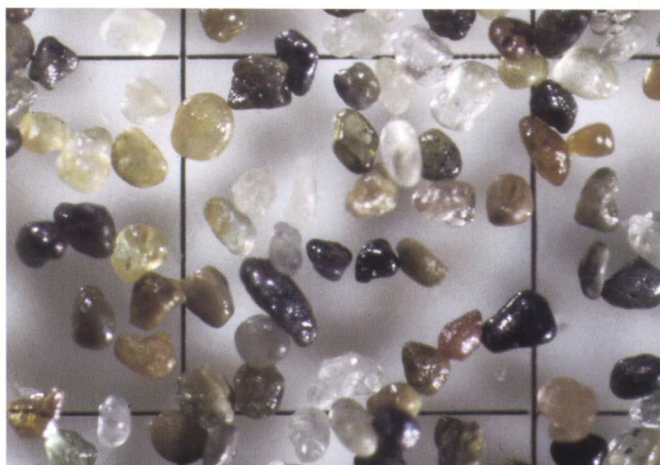
B. *ilmeniet
granaat
toermalijn
stauroliet* *epidoot*



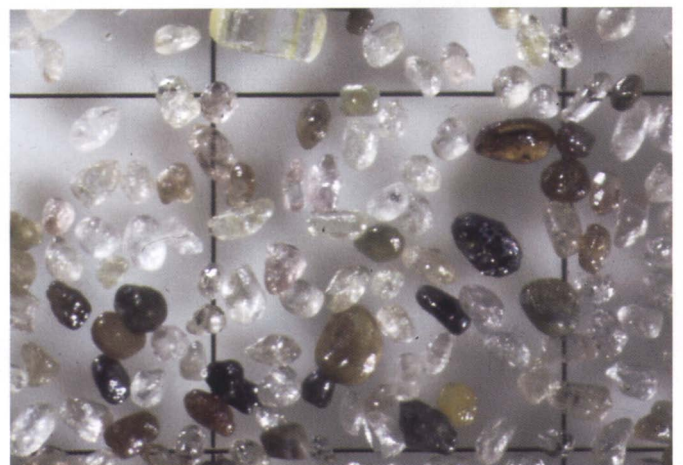
C. *ilmeniet
leucoxene
granaat
epidoot* *stauroliet
toermalijn
spinel*



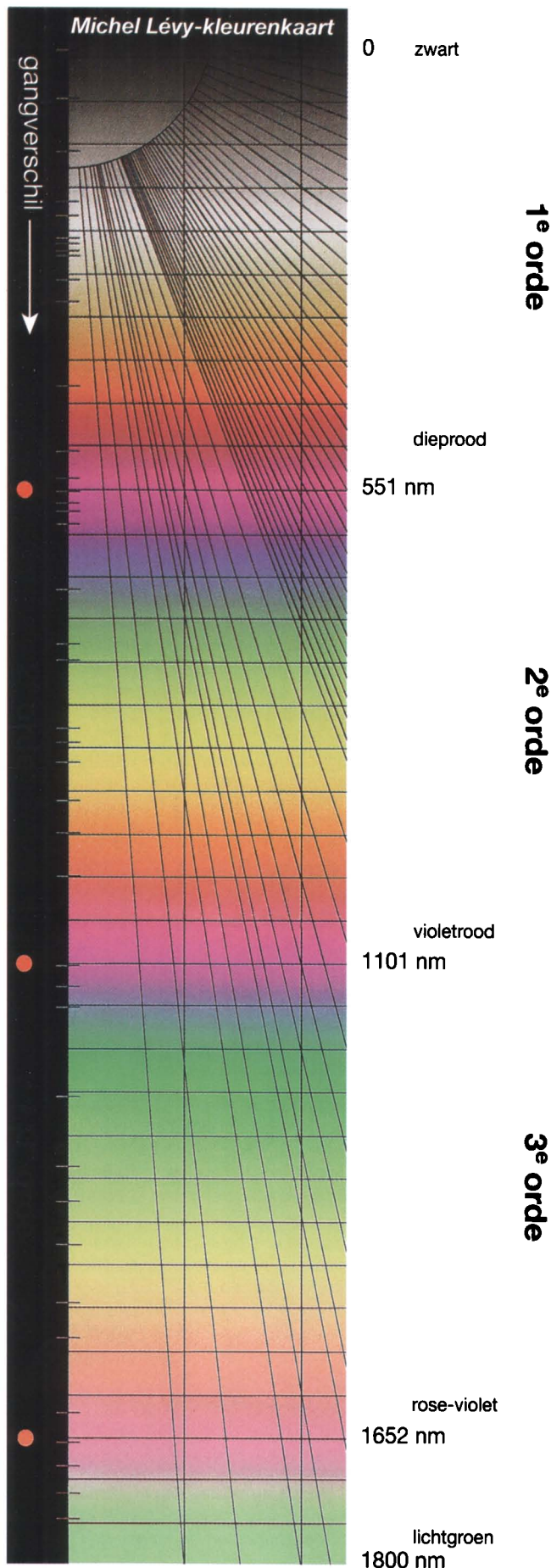
D. *leucoxene
toermalijn
epidoot
titaniet* *spinel*



E. *leucoxene
epidoot
toermalijn
titaniet* *rutiel*



F. *leucoxene
zirkoon
rutiel
kyaniet*



Interferentiekleuren volgens Michel Lévy

Bij anisotrope mineralen zijn, bij ingeschakelde polarisatiefilters, een of meer **interferentiekleuren** te zien. IF-kleuren zijn afhankelijk van

1. de dikte van de mineraalkorrel;
 2. het verschil in brekingsindices van het mineraal.
- Deze twee factoren samen bepalen het zg. **gangverschil** (uitgedrukt in nanometers). Daarnaast is de ligging van de mineraalkorrel ten opzichte van zijn kristallografische richtingen van belang.

Door interferentie (wisselwerking) van de brekingsindices van een dubbelbrekend mineraal wordt een bepaald golfbereik van het zichtbare licht, bijvoorbeeld groen, uitgeschakeld.

De **overblijvende** golven van dit "verarmde" kleurenspectrum vertonen een karakteristieke mengkleur: de **interferentiekleur**. Bij de maximale dubbelbreking van kwarts met een dikte van 0.06 mm (60 µm) zal deze kleur het rood van de 1^e orde zijn (zie de Michel Lévy-kleurenkaart).

Met toenemend gangverschil ontstaat een kenmerkende volgorde van interferentiekleuren, die samen het **interferentiespectrum** vormen. Deze volgorde is:

zwart	grijs	wit	geel	oranje	rood	Orde I
violet	blauw	groen	geel	oranjerood		Orde II
roodviolet	blauw	groen	geel	oranjerood		Orde III

In de volgende orden worden rose en groen herhaald in steeds blekere tinten; deze vertonen uiteindelijk een diffuse, egale, lichte kleur: het "wit hogere orden".

Orde II heeft de meest sprankelende kleuren.

De variaties in interferentiekleuren komen het best tot hun recht bij de fijne groottefracties van zand: fractie 70 – 100 en 100 – 200 µm (= 0.1 – 0.2 mm) of daaromtrent. Door de beperkte vergrotingsfactor bij de MBS 10 heeft bij deze microscoop de 100 – 200-fractie de voorkeur.

Een mineraal dat een dunne rand heeft en dik is in het midden - het voorbeeld is weer kwarts - zal naar binnen toe concentrische ringen van lage naar hoge IF-kleuren vertonen: de kleuren van de "kwartswig".

Bij zg. **anomale kleuren** komen in plaats van de lage IF-kleuren grijswit en lichtgeel andere tinten voor: bij klinozoisiet bv. porseleinblauw en vuilgeel bij het omslagpunt.

Interferentiekleuren zijn dus **niet** de "kleuren van de regenboog". De regenboogkleuren vormen samen het spectrum van het zichtbare licht. Het zichtbare (witte) licht kan, bijvoorbeeld in een prisma, uiteenvallen in de kleuren

violet indigo blauw groen geel oranje rood

Met dank aan Carl Zeiss B.V. voor de toestemming tot het gebruik van de Michel Lévy Color Chart