

zwart/wit afbeeldingen, in een oplage van 200 exemplaren. De inhoud is veelzijdig en bevat uiteraard artikelen over gemmologie, met daarnaast informatie over musea, buitenlandse beurzen, instrumentarium, personalia, slijpwijzen, veilingen, verslagen, enz. Naast originele bijdragen worden ook artikelen uit buitenlandse tijdschriften in Nederlandse bewerking opgenomen. Na de aanvankelijke beginfoutjes waarmee elke redactie te

maken krijgt, is "Holland Gem" nu gegroeid tot een interessant en vlot leesbaar tijdschrift voor alle geïnteresseerden in edelstenen en edelsteenkunde.

Voor informatie over het Gilde kan worden verwezen naar het secretariaat: H.T. van Lamoen FGA, Wilhelminastraat 46, 5246 XE Den Bosch, tel. 073 6412584.

H.E. Coomans

Het onderzoek van zware mineralen in zand

door Leendert Krook *)

Het zware-mineralenonderzoek van sedimenten wordt toegepast bij de fijne en de middelfijne zandfractie (53-500 μm) en bij de grove siltfractie (bijvoorbeeld 32-53 μm) van losse, detritale, sedimenten. Ook van verharde sedimenten en zelfs van kristallijne gesteenten kan men de zware mineralen bestuderen. Hiertoe dient het gesteente eerst gekraakt, fijngemaakt en gezeefd te worden. Dit wordt zowel gedaan met oppervlaktemonsters als met kernen van diepboringen. Behalve zanden en lemen kunnen dikwijls ook kleien bestudeerd worden, omdat deze meestal wel silt bevatten. Tot nu toe is dit in Nederland en elders weinig toegepast, maar er zijn grote mogelijkheden.

Zwaar of licht

De grens van zware en lichte mineralen legt men bij een soortelijke massa van 2,9. Dit is de s.m. van bromoform, CHBr_3 , de meest gebruikte vloeistof voor het scheiden van de zware en de lichte fractie. Na het scheiden met bromoform kan men bepaalde mineralen ook goed concentreren met een magneetscheider. De werking hiervan berust op het creëren van een magnetisch veld met een sterke gradiënt.

De meeste zanden bestaan voor het overgrote deel uit lichte mineralen, waarvan kwarts verreweg het grootste gedeelte inneemt, gevolgd door wisselende hoeveelheden veldspaten en andere mineralen zoals chlorieten, carbonaten, chaledoon en muscoviet. Soms komen grote hoeveelheden glauconiet voor.

Het gehalte van de zware fractie is over het algemeen zeer laag, meestal kleiner dan 1%. Dit lage gehalte staat in schiel contrast tot het gemiddelde gehalte in de stollingsgesteenten van de aardkorst, dat ongeveer 17 volume% bedraagt en dus ruimschoots meer in gewicht% (zie afb. 1). De oorzaak van dit verschil is de verwerking van de mineralen in de stollingsgesteenten, waarvan zand een eindproduct is. Hoewel ook de lichte mineralen bij dit proces een sterke achteruitgang vertonen (de veldspaten verwerken grotendeels tot kleimineralen), verdwijnen de zware mineralen in zo'n sterke mate, dat zij uiteindelijk een zeer kleine hoeveelheid vormen ten opzichte van de resistente kwarts.

Bij onstabiele associaties (associaties met relatief veel amfibolen, pyroxenen, epidoot, granaat, enz.) zijn de gehalten aanzienlijk hoger dan bij stabiele associaties (met veel zirkoon, rutiel, toermalijn en/of metamorfe mineralen zoals stauroliet, sillimaniet, distheen en andalusiet). Zeer hoge gehalten aan zware mineralen komen voor in vulkanische gebieden, bijvoorbeeld op Java, waar gehalten van 20-40% heel normaal zijn. Ook door concentratie in natuurlijke processen kunnen hoge gehalten ontstaan.

Men bestudeert vooral de zware fractie en niet de lichte of de totale zandfractie (lichte en zware samen), omdat de eerste over het algemeen het meest kenmerkend is voor een zand met betrekking tot zijn herkomst (*provenance*). Ook de mate van

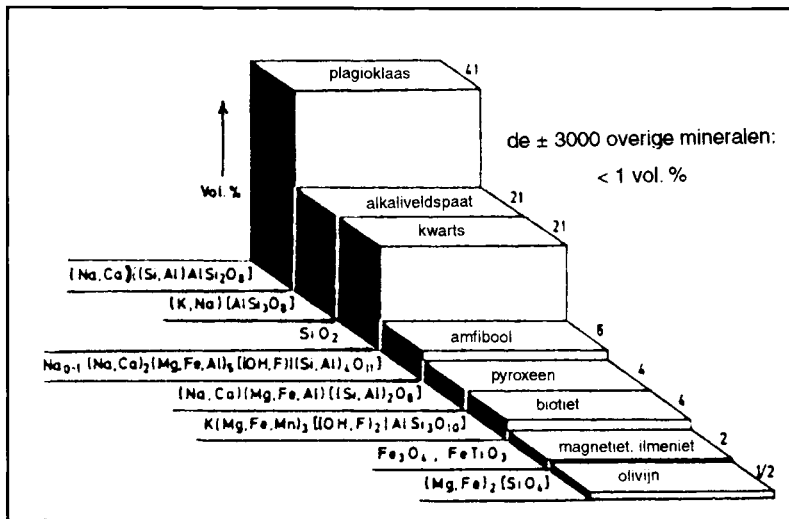
verwerking kan meestal goed bepaald worden aan de hand van de zware fractie. Maar behalve door het feit dat een bepaalde associatie kenmerkend kan zijn voor een lithostratigrafische eenheid, zodat men het onderzoek kan gebruiken voor correlatiedoeleinden, wordt het zware-mineralenonderzoek ook gebruikt bij het opsporen van delfstoffen, de zogenaamde *alluviale prospectie*. Indien men zanden bestudeert voor bodemkundige doeleinden, bijvoorbeeld voor het bepalen van de beschikbaarheid van elementen die benodigd zijn voor de groei van gewassen, zoals kalium en calcium, is uiteraard vooral het gehalte aan veldspaten van belang. In dat geval wordt vaak een telling van de gehele zandfractie gemaakt, zonder scheiding in zware en lichte mineralen. Dit werd o.a. in Indonesië reeds lang geleden toegepast door Mohr en Van Baren. Ook thans vindt het nog veel in vooral tropische gebieden plaats.

Het volledigste onderzoek is dat, waarbij zowel de zware als de lichte fractie apart wordt bestudeerd. Dit kan in bepaalde gevallen noodzakelijk zijn, vooral waar het een kwantitatief onderzoek betreft van de menging van zanden van verschillende herkomst, bijvoorbeeld bij dekzanden of bij het samenvloeien van twee of meer rivieren. Bij dit soort onderzoek is vooral het nauwkeurig bepalen van de gehalten van de zware fracties zeer belangrijk. Bovendien kan de bestudering van de percentages veldspaat een belangrijke rol spelen voor het bepalen van de resulterende mengverhouding. Koldewijn (1955) toonde dit duidelijk aan bij de Rijnsedimenten, waarvan hij de lichte fractie bestudeerde en tot betere kwantitatieve resultaten kwam dan Van Andel (1950) met het bestuderen van de zware fracties. Zo hebben bijvoorbeeld erosieproducten van Onder-Devoon en Buntsandstein van het Rijn-Leisteengebergte veel invloed op de lichte fractie (en dus op het sediment als geheel) en weinig op de zware (zeer lage gehalten aan zware mineralen, grotendeels bestaande uit stabiele soorten), terwijl voor vulkanische tuffen van de Eifelvulkanen het omgekeerde geldt (zeer hoge gehalten aan - uiteraard - vulkanische mineralen).

*) In voorgaande Gea-nummers hebben we, in samenwerking met dr. L. Krook, al verscheidene theoretische aspecten van ZAND behandeld. Ook hebben we telkens een van de toepasselijke handvaardigheden beschreven, zonder welke het onderzoek van zanden in de monsterbuisjes blijft steken. Want het was juist de bedoeling, dat het onderzoek van zanden ook voor amateurs een haalbare zaak zou worden.

Voor wie de theoretische achtergronden van het zandgebeuren op een rijtje wil zien, plaatsen we hier een aangepaste versie van een handleiding die de heer Krook enige jaren geleden samenstelde, en die de essentie bevat van wat ook wij amateurs goed kunnen gebruiken.

Redactie



Afb. 1. Het gemiddelde voorkomen van mineralen in de stollingsgesteenten van de aardkorst, uitgedrukt in volumepercenten. (Naar Parker & Bambaauer, 1975)

Tijdens het transport van de mineralen treedt over het algemeen weinig verwerking op. Afhankelijk van het transporterende medium en van de korrelgrootte van het sediment treedt dan wel *abrasie* (afslijping) op die tot meerdere of mindere afronding van de korrels kan leiden, afhankelijk van de hardheid. Met betrekking tot de chemische aantasting kan gesteld worden dat veel mineralen ongeveer even gevoelig zijn voor beide milieus: de bodem en de grotere diepte. Sommige mineralen echter zijn min of meer onstabiel bij de bodemvorming, maar veel stabiel bij *intrastratal solution*. De volgende reeks geeft een beeld van de stabiliteit van de zware mineralen, van zeer stabiel naar zeer onstabiel:

stabele rest en toermalijn (doorlopers) - stauroliet en metamorfe mineralen - chloritoid en topaas - epidootgroep en alteriet - hoornblende - granaat (deze is echter zeer stabiel met betrekking tot *intrastratal solution*) - vulkanische mineralen (hiervan is de titaniet echter vrij stabiel, althans in de gematigde streken; olivijn is uiterst onstabiel) - apatiet (evenals granaat veel stabiel bij *intrastratal solution*). Overigens kunnen zowel olivijn als apatiet sterk aangetast worden en zelfs geheel verdwijnen door een behandeling met verdund HCl. Zo'n behandeling is dikwijls nodig voor het verwijderen van carbonaten en ijzerhuidjes op de korrels.

Opaak of doorzichtig

Bij het onderzoek van zware mineralen onderscheidt men opake en doorzichtige mineralen. De opake mineralen worden over het algemeen niet nader onderverdeeld. Bij het observeren van de korrelpreparaten bij opvallend licht kan men meestal echter een redelijke indruk krijgen van de opake fractie. De meest voorkomende opake mineralen zijn: ilmeniet, leukoxeen (verweringsproduct van ilmeniet), limoniet, magnetiet, hematiet en pyriet. Zeer hoge gehalten aan limoniet kunnen voorkomen bij de oxidatie van glauconietzanden. Onverweerde glauconiet is een licht mineraal. Ook bij erosie van oude verweringsdekken kan veel limoniet beschikbaar komen.

Tot de algemeen voorkomende detritale doorzichtige mineralen behoren enkele **oxiden**, zoals korund, rutiel, anataas, brookiet en spinel en enkele **fosfaten**: xenotiem, monaziet en apatiet. De meeste mineralen behoren tot de **silicaten**, waarvan over het algemeen de belangrijkste zijn: olivijn, granaat, zirkoon, andalusiet, sillimaniet, distheen, topaas, stauroliet, titaniet, chloritoid, epidooten, toermalijn, enstatiet, hyperstheen, diopsied, augiet, anthophylliet, tremoliet, hoornblende, glaucofaan en biotiet. Een zeer algemeen mineraal, dat niettemin in bovenstaande lijst niet voorkomt, is **alteriet**. Het is een omzettingproduct van andere mineralen, voornamelijk epidoot, en wordt vooral gevonden in Kwartairafzettingen van de gematigde streken.

Van de bovenstaande mineralen zijn de volgende algemeen: rutiel, granaat, zirkoon, andalusiet, sillimaniet, distheen, stauroliet, epidoot, alteriet, toermalijn, augiet en hoornblende.

Zware mineralen worden vaak in groepen verdeeld, waarvan de afzonderlijke mineralen overeenkomstig vertonen in **samenstelling** (granaatgroep, epidootgroep); **ontstaan** (metamorfe mineralen, vulkanische mineralen) of **stabiliteit t.o.v. de verwerking**. Hoofdzakelijk in navolging van de Rijks Geologische Dienst onderscheiden we de volgende mineralen en mineraalgroepen (die elk een eigen arcering hebben in de boorgrafieken): granaat - epidootgroep - alteriet - hoornblende - Vogezen-hoornblende - chloritoid - vulkanische mineralen (bazaltische hoornblende, augiet, enstatiet, hyperstheen, titaniet, olivijn) - stabiele rest (zirkoon, rutiel, anataas) - onstabiele rest (bijv. apatiet) - topaas - stauroliet - metamorfe mineralen **) - toermalijn.

Stabiel of onstabiel

Bij zware mineralen spreekt men vaak van stabiele, onstabiele en gemengde associaties. De stabiliteit van de diverse mineralen is zeer verschillend. Chemische aantasting van mineralen vindt vooral plaats bij: 1. de verwerking in engere zin, de **bodemvorming**, en 2. de verwerking op grotere diepte, de zogenaamde **intrastratal solution**.

Bodemvorming. Door doorsijpelen van (iets zuur) water van *bovenaf* kunnen bepaalde mineralen verwerken en op den duur verdwijnen.

Intrastratal solution. Ten gevolge van oplossing op grote diepte vertonen zware mineraalassociaties een duidelijke afname in diversiteit met toenemende diepte, ook in gesteenten van dezelfde ouderdom. Dit is o.a. waargenomen in zandstenen van het Boven-Paleoceen in de centrale Noordzee, waarin de sedimenten afkomstig zijn van de Schotse Hooglanden. De diepte van deze zandstenen varieert van minder dan 200 m beneden de zeebodem tot meer dan 3000 m. De diepten waarop de verschillende mineralen verdwijnen zijn ongeveer: hoornblende 600 m, epidoot 1100 m, titaniet 1400 m, distheen 1750 m en stauroliet 2400 m. Er is een geleidelijke afname van granaat met de diepte, maar dit mineraal is stabiel dan stauroliet. De mineralen apatiet, rutiel, toermalijn en zirkoon zijn het meest stabiel. Het bovenstaande toont duidelijk aan dat het oplossingsproces onafhankelijk is van de ouderdom, maar bepaald wordt door de temperatuur en de druk van de vloeistoffen in de poriën.

Bij verwerking en diagenese ontstaan zogenaamde *authigene mineralen* (mineralen die ter plaatse ontstaan). Limoniet en hematiet zijn producten van oxidatie in de verweringszone, hoewel hematiet ook primair kan zijn. In de gereduceerde zone onder de grondwaterspiegel worden mineralen gevormd als sideriet en pyriet. Indien hiervan hinderlijk grote hoeveelheden voorkomen kunnen ze verwijderd worden met behulp van zuren, sideriet met HCl en pyriet (en het verwante markasiet) met HNO_3 . Mineralen die zich in kalkconcreties in zanden en kleien bevinden hebben een veel grotere kans tot overleven dan degene die zich eruiten bevinden, omdat zij niet blootstaan aan het circulerende water. Men spreekt hier van *sealed conditions*.

) Onder "metamorfe mineralen" worden hier de metamorfe aluminium-silicaten **andalusiet, **sillimaniet** en **kyaniet** verstaan. Deze aanduiding is sinds lang bij de RGD in gebruik. Uiteraard zijn ook granaat, epidoot, chloritoid, stauroliet metamorfe mineralen; ook dit zijn silicaten, maar deze hebben een gevarieerdere samenstelling.

Korrelgrootte

Zoals al eerder vermeld zijn de gehalten van de zware mineralen over het algemeen laag. Er treden echter duidelijke verschillen aan gehalten op tussen de diverse korrelgrootte-fracties: meestal hebben de kleinere korrelgrootte-fracties een hoger gehalte aan zware mineralen dan de grove fracties. Dit is enerzijds een gevolg van de korrelgrootte van het beschikbare materiaal (zware mineralen zijn vaak kleiner dan lichte mineralen in het oorsprongsgesteente) en anderzijds een gevolg van de **hydraulische equivalentie**.

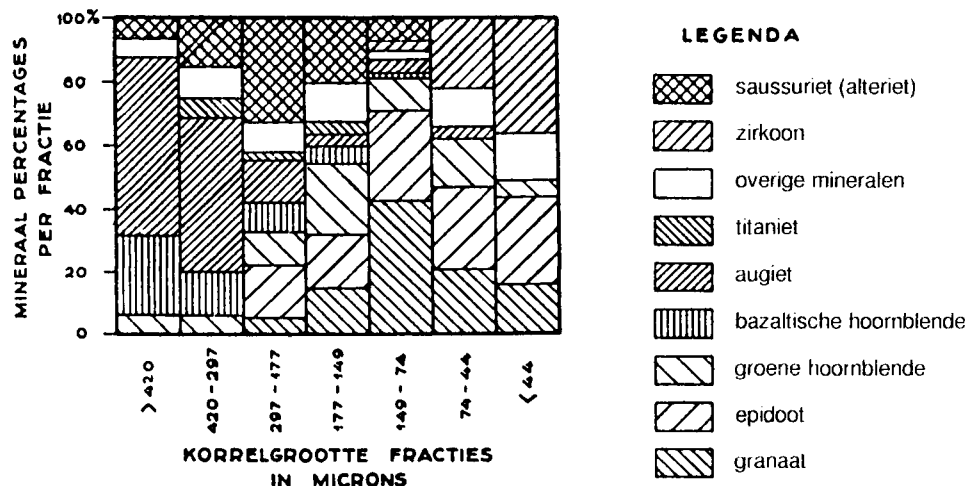
Mineraalkorrels zijn hydraulisch equivalent indien zij een gelijke valsnelheid in water hebben. Mineraalkorrels met een hoge s.m. hebben een zelfde valsnelheid als grotere mineraalkorrels met een kleinere s.m. De hydraulische equivalentie wordt bepaald t.o.v. kwarts, die een h.e. van 0,0 heeft. De hier volgende tabel is van Pettijohn (1957). Hierin is te zien, dat hoe groter de h.e. van een mineraal is, des te groter het verschil is in korrelgrootte met kwartskorrels die eenzelfde valsnelheid hebben.

mineraal	s.m.	hydr. equ.	korrelgrootte t.o.v. kwarts
toermalijn	3,1	0,2	0,87
hoornblende	3,2 (variabel)	0,2	0,87
apatiet	3,2	0,4	0,76
pyroxeen	3,4 (variabel)	0,3	0,81
hyperstheen	3,4	0,4	0,76
titaniet	3,5	0,5	0,71
distheen	3,8	0,3	0,81
granaat	3,8 (variabel)	0,6	0,66
zirkoon	4,6	0,9	0,54
ilmeniet	4,7	1,0	0,50
magnetiet	5,2	1,0	0,50

Bovendien komt duidelijk tot uiting dat mineralen met dezelfde s.m. door hun vorm vrij verschillende hydraulische equivalenties kunnen hebben. Zo is de apatiet, die hier een hogere h.e. heeft dan hoornblende, waarschijnlijk sterk afgerond, terwijl de hoornblende prismatisch is en vrij plat. De toermalijn bestaat hier waarschijnlijk uit langgerekte korrels, daar afgeronde toermalijn de h.e. van apatiet zou benaderen. De plaatvormige distheen heeft een twee maal zo kleine hydraulische equivalentie als de granaat, die behorend tot het isometrische stelsel, de bolvorm benadert. Mica's hebben een negatieve hydraulische equivalentie omdat hun korrels, door de platte vorm, gelijktijdig worden afgezet met de siltfractie van een klastisch sediment en niet met zandkorrels van gelijke doorsnede.

Verschillende soorten zware mineralen hebben over het algemeen verschillende gemiddelde korrelgrootten. Hierdoor is de samenstelling sterk afhankelijk van de korrelgrootte die bestudeerd wordt. Zie afb. 2, samengesteld door Zonneveld (1946), die van een monster van de Oude Rijn bij Alphen de samenstelling van zeven verschillende fracties bepaalde. Dikwijls is het voldoende om een groot korrelgroottebereik te bestuderen, bijvoorbeeld 50-420 µm, maar het kan soms ook zijn nut hebben om de mineralen gefractioneerd te

Afb. 2. Mineralogische samenstelling van de diverse korrelgrootte-fracties van een Holoceen zand van de Oude Rijn bij Alphen. Naar Zonneveld, 1946.



bestuderen, bijvoorbeeld 50-105 µm, 105-210 µm en 210-420 µm of, bij silt of fijn zand, 30-50 µm en > 50 µm. Over het algemeen komen de doo-rippers zirkoon en rutiel het meest voor in de fijnste fracties, terwijl toermalijn en de metamorfe mineralen relatief grof zijn. Dit komt in de eerste plaats overeen met het bovengenoemde principe van de hydraulische equivalentie, maar hangt vooral ook samen met de korrelgrootten van de mineralen in de oorsprongsgesteenten. Soms komen duidelijke afwijkingen op de regel voor, bijvoorbeeld een hoger gehalte aan zirkoon en rutiel in de fijne zandfractie dan in de siltfractie. Men moet zich dan afvragen of er geen sprake is van een menging van sedimenten van verschillende oorsprong, bijvoorbeeld van door de wind getransporteerde löss (met lage zirkoon- en rutielgehalten) en fluviatiel zand (met een hoog gehalte aan deze mineralen).

Concentraties

Onder bepaalde omstandigheden, bijvoorbeeld aan stranden en in rivieren, kunnen concentraties van zware mineralen ontstaan door de werking van golven en/of stroming. Bij stranden vindt de aanrijking vooral plaats door het verschil in kracht bij oplopende en aflopende brandingsgolven: de *swash* en de *backwash* (zie Gea, dec. 1995, p.126). Bij de zeer krachtige *swash* wordt veel zand naar het bovenste deel van het strand verplaatst. De *backwash* is aanzienlijk minder krachtig en neemt hierdoor vooral de lichtere korrels mee en de korrels met een relatief grote oppervlakte/inhoud-verhouding. Hierdoor wordt een concentratie van de zwaardere mineralen gevormd. Af en toe kan men bovenop de zwarte concentraten weer lichtgekleurde lagen aantreffen, waarin dus geen concentratie heeft plaatsgevonden. In deze gevallen kon het water van een enkele hoge golf nog net het bovenstrand bereiken, maar had het terugstromende water geen kracht meer om enig sediment te transporteren, dikwijls omdat het water in het - inmiddels reeds vrij droge - zand verdween en onder het oppervlak terugvloeiende.

Ook in rivieren ontstaan vaak mineraalconcentraties. Hier berust de aanrijking eveneens op verschillen in soortelijke massa en vorm van de betreffende mineralen.

Op stroom- en golfribbels ziet men vaak donkere concentraties aan de bovenkant van de ribbels. De concentratie van bepaalde mineralen ten opzichte van andere wordt in het water onder meer bevorderd omdat de verschillen in s.m. er groter zijn dan normaal. De verhouding van de s.m. van zirkoon (4,7) t.o.v. kwarts (2,7) bijvoorbeeld is normaal gelijk aan 1,75 maar in het water $(4,7 - 1,0) / (2,7 - 1,0) = 3,7 / 1,7 = 2,18!$

Toch kan ook windwerking de vorming van concentraten veroorzaken, voornamelijk door het uitblazen van de lichtere mineralen. De weggeblazen en verderop afgezette zanden zullen dan uiteraard een lager gehalte aan zware mineralen hebben dan het uitgeblazen materiaal. Bij duinvorming in vulkanische zanden op Java zijn de loefzijden van de windribbels donkerder gekleurd dan



Afb. 3. Een klifje van een zware-mineralenconcentraat aan een strand aan de zuidkust van Midden-Java, ontstaan door golfwerking.

de lijziden door concentratie. Zelfs op grotere schaal kan men dit verschijnsel waarnemen: de loefzijde van een geheel duin is vaak duidelijk donkerder dan de lijzijde.

Omdat de verschillen in s.m. bij windtransport kleiner zijn dan bij watertransport zal in het eerste geval de vorm van de korrels een relatief grotere rol spelen dan in het tweede.

Mineraalconcentraties worden *placers* genoemd indien ze economisch belangrijke mineralen bevatten als goud, cassiteriet, monaziet, zirkoon, rutiel. Veel belangrijke placerafzettingen (vooral van goud) in de huidige vochtige tropen zijn gebonden aan grove grindafzettingen, die ontstaan zijn tijdens meer aride klimaatsomstandigheden; deze kwamen vaak gelijktijdig voor met de koudste fasen van de glaciale op hogere breedten. De grotere droogte leidde tot de verdwijning van het beschermende bos, wat sterke erosie en laterale aanvoer van grof materiaal (met het lokale

goud) naar de - veelal verwilderde - rivieren tot gevolg had. Na latere terugkeer van het regenwoud stopte de laterale aanvoer en werden de grove afzettingen bedekt met steriele, fijnkorreliger sedimenten (meestal klei en iets zand), die van bovenstreams werden aangevoerd.

Langs de stranden van Zuid-Java, waar zanden van vulkanische herkomst voorkomen met een hoog gehalte aan zware mineralen (20-30%), vindt door de golfwerking, vooral veroorzaakt door de deining op het zuidelijk halfrond, een nog verdere concentratie plaats, waardoor het gehalte kan oplopen tot meer dan 80%, soms tot praktisch 100%.

Afb. 3. Opvallend is hierbij dat met de concentratie ook het gehalte aan opaak toeneemt (titaanrijke magnetiet, hoge s.m.), terwijl bij de doorzichtige fractie een toename van pyroxenen ten opzichte van amfibolen te zien is. Dit kan worden toegeschreven aan de verschillen in korrelvorm

van beide groepen mineralen: door de 57°-splitsing zijn de amfibolen minder plomp dan de pyroxenen, die een splitsing van 87° hebben. Amfibolen zijn bovendien meer langgerekt. Hetzelfde fenomeen wordt waargenomen aan de Taranaki-kust van Nieuw-Zeeland, waar aan de westkust van het Noorder-eiland eveneens vulkanische zanden voorkomen (Mount Egmont). Zie afb. 4.

In het bovenstaande hebben we te maken met het bijzondere geval van concentratie van een zeer onstabiele, vulkanische, associatie. Bij een gemengd stabiele-onstabiele associatie zien we over het algemeen een toename van mineralen als zirkoon, monaziet, rutiel en granaat met een relatief hoge soortelijke massa en een afname van amfibolen, pyroxenen, epidoot, enz. Bij een langdurige golfwerking kunnen zo uit relatief onstabiele associaties grote aanrijkingen van stabiele mineralen en granaat ontstaan. Een voorbeeld vindt men op de stranden van Australië, waar de stabiele (en vaak waardevolle) mineralen als ilmeniet,

Indeling van de zware mineralen in de kristalstelsels

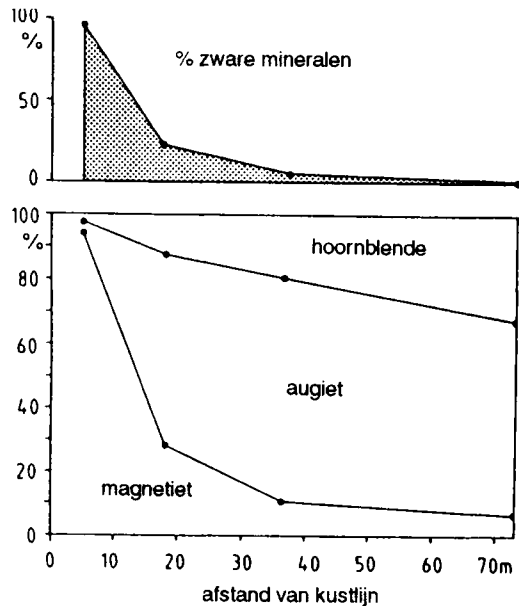
isometrisch	diamant, granaat, spinel, (magnetiet), (pyriet)
tetragonaal	zirkoon (+), rutiel (+), anataas (-), cassiteriet (+), xenotiem (+)
hexagonaal	apatiet (-)
trigonaal	toermalijn (-), korund (-), sideriet (-), kwarts (+), (hematiet), (ilmeniet)
orthorhombisch	brookiet (+), olivijn (+,-), andalusiet (-), sillimaniet (+), topaas (+), stauroliet (+), zoisiet (+), enstatiet (+), hyperstheen (-), bariet (+), dumortieriet (-), (markasiet)
monoklien	titaniet (+), chloritoid (+), epidoot (-), klinozoisiet (+), piedmontiet (-), diopsied (+), augiet (+), hoornblende (-), tremoliet (-), glaucofaan (-), biotiet (-), muscoviet (-), chlorietgroep (+,-), monaziet (+)
triklien	chloritoid (+, zowel monoklien als triklien), distheen (-)

Kwarts, muscoviet en de chlorietgroep behoren tot de lichte mineralen, maar zij komen nogal eens in de korrelpreparaten van zware mineralen voor, zodat het herkennen van deze mineralen een absolute noodzaak is. Het voorkomen van muscoviet en chlorieten bij de zware fractie schijnt samen te hangen met de scheiding door middel van de centrifuge.

Kennis van de bovenstaande indeling is essentieel, omdat de optische eigenschappen van een mineraal samenhangen met de kristallografische eigenschappen. De optische eigenschappen worden bepaald in gepolariseerd licht onder de (polarisatie)-microscop. Eén van deze eigenschappen is het "optisch teken": + of -, dat in bovenstaande opsomming achter de doorzichtige mineralen is vermeld.

De opake mineralen zijn tussen haakjes aangegeven. Magnetiet komt vaak voor in de vorm van octaëders, meestal echter in de

vorm van min of meer afgeronde korrels, waarin de octaëdervorm niet meer is te herkennen. Pyriet kan als hexaëders (kubussen) voorkomen, als pentagondodecaëders of in combinaties, maar soms ook in de vorm van octaëders, als bolletjes of "druiventrossen", of in de vorm van dierlijke of plantaardige organismen, daar deze onder reducerende omstandigheden vaak pyritiseren. De aan pyriet verwante markasiet is orthorhombisch. Dit mineraal is uiterst onstabiel en verweert, in losse toestand, tot melanieriet of ijzervitriool, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dat uiterst giftig is. Ilmeniet is gewoonlijk anhedrisch (zonder eigen kristalvlakken) en afgerond. De amorfe limoniet (niet in het schema) is geel of lichtbruin. Als limoniet ontstaan is door oxidatie van glauconiet, dan heeft deze het uiterlijk van een "broodkorstbom". In de barsten is dan vaak de groene, nog niet verweerde, glauconiet waarneembaar.



Afb. 4. Concentraten van zware mineralen en de samenstelling van deze mineralenreeks in vier monsters van de kust van Taranaki, Nieuw-Zeeland. De punten op de lijnen geven de afstand tot de kustlijn aan. Naar Kudrass, 1987.

zirkoon, monaziet, granaat, zwarte concentraten op het strand vormen, terwijl de pyroxenen en amfibolen in zee terecht komen. Afb. 5. Dit is de oorzaak van het feit, dat op de continentale shelf van Australië het gehalte aan zware mineralen ongeveer een tiende is van het gehalte op de huidige stranden. Voorbeelden van granaatconcentraties komen aan de Nederlandse stranden veelvuldig voor, vooral na hevige stormen.

Invloed van transport

Het is bekend dat klastische sedimenten fijnkorreliger worden in de richting van het transport. Behalve een afname van de korrelgrootte treedt ook een afname op van het gehalte aan zware mineralen, vooral van de relatief zware en min of meer ronde korrels. Het granaatgehalte neemt bijvoorbeeld duidelijk af in de transportrichting, terwijl het hoornblendgehalte toeneemt, althans in relatieve zin, omdat het totale gehalte aan zware mineralen afneemt. Bovenstaande verschijnselen worden waargenomen bij

strand-, rivier- en windafzettingen. Een voorbeeld van het laatste type vormen de dekzanden.

Aan de korrelgrootte, de vorm en de mate van afronding van mineralen is vaak te zien of de korrels een bodemtransport of een transport in suspensie hebben ondergaan. In het laatste geval kunnen er, na een transportafstand van een paar duizend kilometer, nog zeer hoekige korrels optreden, bijvoorbeeld op de shelf buiten de monding van de Amazone. Ook monsters genomen van oeverwallen tonen dikwijls relatief onafgeronde korrels, omdat deze sedimenten tijdens hoog water uit het suspensiemateriaal zijn afgezet. Zanden ronden trouwens tijdens het transport over de bodem van een rivier minder af dan men zou verwachten. Een betere afronding ontstaat over het algemeen door een langdurig windtransport. Zeer goed afgeronde korrels wijzen echter meestal op het feit dat de mineralen reeds vele cycli van vertering, erosie, transport, depositie, diagenese (eventueel metamorfose), etc. hebben meegemaakt. Men vindt dit vooral bij de doorlopers. Het is van groot belang om altijd de gehalten aan zware mineralen te bepalen. Gaat bijvoorbeeld een toename van granaat en zirkoon gepaard met een sterk toegenomen gehalte aan zware mineralen, dan heeft men waarschijnlijk niet te maken met een andere aanvoer, maar met één of ander concentratieproces.

Literatuur

Andel, T.J.H. van, 1950 - Provenance, transport and deposition of Rhine sediments. Proefschrift Groningen, 129 p.

Koldewijn, B.W., 1955 - Provenance, transport and deposition of Rhine sediments II: an examination of the light fraction. Geol. en Mijnb. 17, p. 37-45.

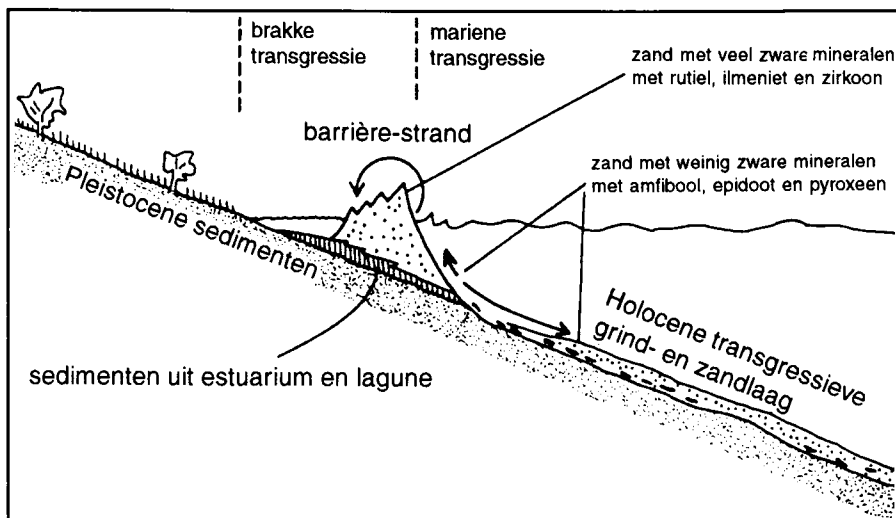
Kudrass, H.R., 1987 - Sedimentary models to estimate the heavy mineral potential of shelf sediments, p. 39-54 in: P.G. Teleki et al., Marine minerals.

Morton, A.C., 1985 - Heavy minerals in provenance studies, p. 248-277 in: G.G. Zuffa (ed.), Provenance of arenites.

Parker, R.L. & H.U. Bambauer, 1975 - Mineralienkunde, 5. Auflage, Ott Verlag, Thun, 368 p.

Pettijohn, F.J., 1957 - Sedimentary Rocks, 2nd ed., New York, Harper & Row, 718 p.

Zonneveld, J.I.S., 1946 - Beschouwingen n.a.v. de korrelgrootte der zware mineralen in zandige sedimenten. Geol. en Mijnb. N.S. 10, p. 83-93.



Afb. 5. Vroeg-Holocene transgressieve migratie van het strand op een barrière en de differentiatie van zware mineralenreeksen in Australië. Naar Kudrass, 1987.