

**Tabel 3. Bivariate lineaire regressie-vergelijkingen van optische waterkwaliteitsgegevens met ratio's van de spectrale banden van de Chlorophyll #1 spectrale bandset van de PMI scanner van Moniteq.**

|          |         |          |         | R     |
|----------|---------|----------|---------|-------|
| SD       | - 56.99 | + 193.19 | (P 6/7) | 0.98  |
| DW       | 58.66   | - 119.42 | (P 1/2) | -0.84 |
| Kd       | 6.11    | - 3.21   | (P 5/7) | -0.92 |
| Pigm     | 135.73  | - 89.12  | (P 5/7) | -0.97 |
| <b>a</b> | 3.26    | - 1.88   | (P 6/7) | -0.92 |
| <b>b</b> | 24.95   | - 14.50  | (P 5/7) | -0.92 |

R = lineaire correlatie-coëfficiënt;

SD = zichtdiepte = Secchi doorzicht; DW = seston drooggewicht;

Pigm = som van chlorofyl-a en feopigmenten;

Kd = verticale extinctiecoëfficiënt van het invallende licht;

**a** = absorptiecoëfficiënt; **b** = verstrooiingscoëfficiënt

kanaal op dezelfde dag als de opname verricht (2 km ten oosten van het instromings-punt), gaven de volgende waarden: drooggewicht: 25 mg.1<sup>-1</sup>; zichtdiepte: 40 cm; som van chlorofyl-a en faeopigmenten: 146 µg.1<sup>-1</sup>. De uit het beeld afgeleide concentraties van dezelfde parameters waren: drooggewicht: 31,0 - 34,1 mg.1<sup>-1</sup>; som van chlorofyl-a en faeopigmenten: 83 - 92 µg.1<sup>-1</sup>. Als we het afstandsverschil (en mogelijk ook tijdsverschil) tussen de twee soorten metingen in aanmerking nemen, zijn de waarden in goede overeenstemming met elkaar.

Het waarnemen en kwantificeren van deze pluim is een uitstekend voorbeeld van de voordelen van remote sensing voor waterkwaliteit-monitoring en -beoordeling. Tevens is het een illustratie van de problemen die traditionele puntmetingen voor waterkwaliteitsbeoordeling kunnen opleveren. Routine-waterkwaliteitmetingen worden in de Wijde Blik in het midden van de plas uitgevoerd. Zoals uit het beeld blijkt kan een paar honderd meter plaatsverschil

in bemonstering een volledig ander beeld van de waterkwaliteit opleveren. Uit het remote sensingbeeld is in principe een berekening te maken van de instroom aan eutroof water.

De andere plassen in het beeld, met name de Oostelijke Loenderveense Plas, de Westelijke Loenderveense Plas en de Loosdrechtse Plassen, zijn van een veel gelijkmatiger samenstelling. De Waterleiding Plas vertoont wat meer variatie; dit wordt mogelijk veroorzaakt door de inlaat van ijzerrijk grondwater, dat uit de ten zuiden van de plassen liggende Bethunepolder wordt opgepompt.

## Toekomstbeeld

Voor de komende jaren staan er verschillende satellietssystemen voor aardobservatie op het programma. Eén van de ontwikkelingen zal een toename van de spectrale resolutie zijn: er zijn plannen voor satellieten die in smalle spectrale banden het gehele optische spectrum zullen bestrijken. Dit zal het mogelijk maken dat data zoals nu met behulp van de PMI en de CAESAR te verkrijgen zijn in de toekomst op regelmatige basis kunnen worden verkregen. De in het kader van dit soort onderzoek opgedane kennis van het onderwaterlichtklimaat, gecombineerd met de toepassing van remote sensing, maakt het mogelijk in de toekomst waterkwaliteitskartering van de Nederlandse binnenwateren uit te voeren met een hoge mate van betrouwbaarheid.

## Literatuur

Dekker, A.G., Seyhan, E. & Malthus, T.J. (1990): The Remote Sensing Loosdrecht Lakes Project Report; BCRS-rapport (Nationaal Remote Sensing Programma); BCRS Delft (in publicatie).  
Dekker, A.G., Malthus, T.J. & Seyhan, E. (1990): Quantitative modelling of inland water quality for high resolution MSS-systems; Trans. Geosc. Remote Sensing, Special Issue: IGARSS'89 Vancouver, July 1989 (in publicatie).  
van Liere, L., Breebaart, L., Kats, W. & Buysse, J.J. (1989): De waterkwaliteit in het Loosdrechtse Plassengebied; CHO-TNO Rapporten en Nota's, 22: 265 - 279.

# FOSSIELEN ZOEKEN OF KOPEN?

door G.J. Boekschoten

Onlangs stond in de Aufschluss, het maandblad van de Duitse Vereniging der Vrienden van Mineralogie en Geologie, een advertentie van de Unie van Duitse mineralen- en fossielenhandelaars. Deze is gevestigd aan de Fraunhoferstrasse in Bonn, een adres waarin de lezer misschien al dat van de reeds anderhalve eeuw oude zaak Dr. F. Krantz heeft herkend. De tekst van die advertentie luidt, vrij vertaald: "Vinden is de vreugde van de verzamelaar maar ook de frustratie: wanneer die niet vindt waar naar gezocht wordt. Of wanneer die vindt, dat de verzameling alsmat ernstig incompleet blijft. Of wanneer hij bevindt, dat zijn geduld op is. Terwijl vinden toch zo eenvoudig is, je hebt alleen maar geluk nodig, en goede hulp". De advertentie meldt verder dat leden van genoemde

Unie graag die goede hulp geven. Je zou dan denken dat ze literatuur over vindplaatsen zouden verschaffen, hamers en opbergkasten, geologische kaarten en kompassen. Maar daarmee adverteert de Unie niet. Zij garanderen goed gedetermineerde verzamelstukken met correcte vindplaatsopgaven in hun actuele aanbiedingen. De zinsnede dat "vinden zo eenvoudig is, je hebt alleen geluk nodig" is hiermee gereduceerd tot: je hebt alleen maar geld nodig om geluk te vinden. En deze aanname is in haar absolute vorm al sinds twintig eeuwen herkend als onjuist. Er bestaat dus een probleem: hoeveel geluk kan de verzamelaar van mineralen en fossielen zich aanschaffen?



Afb. 1. *Mosasaurus*-kaak; vondst 1971, Zuid-Limburg.

## Nederlandse fossielen

In de Nederlandse situatie is het ondoenlijk, zonder grote buitenlandse reizen zelf een enigermate representatieve collectie mineralen bijeen te brengen. De paar plekje hard gesteente uit Carboon, Trias en Krijt welke ons land rijk is bieden niet veel. Uit zwerfstenen kunnen we wel de voornaamste gesteentevormende mineralen hameren. Maar juist de mooie idiomorfe, ideaal gevormde, kristallen die in holten en spleten gegroeid zijn - die treffen we uit de aard der zaak in zwerfstenen vrijwel nooit aan, want zwerfstenen zijn nu juist gesteenteden, die door breuk langs holten en spleten van elkaar gescheiden zijn: elk erraticum wordt door eigen gesteentekloving begrensd. "Een zwerfsteen is een meneer", stelde de litterator Jan Hanlo daarom.

Maar aan fossielen is ons uit afzettingsgesteenten bestaande vaderland nogal rijk. In enkele opzichten hebben wij zelfs de mooiste fossielvindplaatsen ter wereld. Nergens is een zo rijke en veelvormige fossiele flora en fauna uit het bovenste Krijt bewaard gebleven als in ons eigen Krijtland, de zuidhelft van Zuid-Limburg (afb. 1).

Beroemde geleerden hebben daaraan hun hele leven besteed. Een der groten is Prof. Dr. E. Voigt uit Hamburg, nu in de negentig, die nog telken jare in de omgeving van Maastricht verzamelt.

Voorts heeft ons land een Europese vermaardheid vanwege de prachtige vondsten aan zoogdieren uit het IJstijdvak. Uniek waren de vondsten van Onderpleistocene zoogdieren uit de groeven van de Tegelse klei. Ongewoon rijk zijn ook de fossielenvondsten van de zandzuigers in de rivierenstreek uit het latere Pleistoceen; duizenden botten en kiezen van mammoet en wolharige neushoorn, van steppewisent en van rendier zijn daar aan de dag gekomen.

Tenslotte vormen de kalksteen-zwerfstenen uit Groningen en van nabij Urk een kostbaar archief, waarin wij kennis kunnen nemen van lagen kalksteen die zich op de bodem van de Oostzee bevinden en waaruit dus niet anders dan door middel van zwerfstenen kan worden verzameld. Het gaat hier vooral om zeer oude lagen uit Cambrium, Ordovicium en Siluur, die vooral mooie brachiopoden en kreeftachtigen bevatten, maar ook graptolieten in unieke conservatie. De opeenvolging in groeistadia van deze merkwaardige fossielen kon pas worden ontraadseld door het bestuderen van graptolieten uit Silurische zwerfstenen.

Voorzover mij bekend heeft er nooit veel handel in zwerfstenen plaatsgevonden anders dan voor plantsoenen en begraafplaatsen. Ik herinner mij nog advertenties van de destijds vooraanstaande mineralenhandelaar Visser uit Den Haag, waarin hij te kennen gaf collecties mineralen te willen aankopen maar uitdrukkelijk stipuleerde: géén zwerfstenen!

Fossielenhandel was reeds in de achttiende eeuw gebruikelijk te Maastricht. In de onderaardse groeven waren de blokbrekers altijd de vindsters; je moest bij hen terecht, wilde je wat kunnen verzamelen. Een van de allerberoemdste fossielen is natuurlijk de *Mosasaurus*-kop, die nu al bijna twee eeuwen in het museum te Parijs ligt. Deze werd circa 1770 gevonden, en gekocht door een gepensioneerd militair arts, Jean Leonard Hoffmann. De grond bóven de vindplaats behoorde echter aan de kanunnik Godding,

en via een proces kreeg deze het fossiel uiteindelijk in handen. Bodemschatten behoorden in het Maastricht van destijds namelijk aan de eigenaren van de bovengrond; pas na 1809 zouden die rijkseigendom worden. Godding bouwde een glazen koepel om zijn schat en er werd menig glaasje op de gezondheid van het fossiel geheven - tot in 1794, toen de Fransen Maastricht veroverden. De Franse volksvertegenwoordiger Freycinet dwong Godding tot afgifte, met als tegenprestatie de kwijtschelding van een oorlogsschatting à raison van twintigduizend francs. De *Mosasaurus* was destijds door de beschrijving van Camper al een wereldberoemd fossiel. Later, tussen 1814 en 1827, heeft een nicht en erfgenaam van de kanunnik, Rosa Godding, het fossiel geprobeerd naar waarde betaald te krijgen; geen twintigduizend maar vijftigduizend franc zou het hebben moeten opbrengen!

In Goddings tijd leefde ook de kolonel Jean-Baptiste Drouin, wiens verzameling in 1784 door Teylers Museum te Haarlem werd aangekocht. De collectie van Van Breda werd in 1871 door het British Museum aangeschaft. En in 1894 werd de verzameling van Johan Casimir Ubaghs na diens dood naar Bonn overgebracht. In Berlijn was toen al de verzameling van een oud-burgemeester, Jhr. Binkhorst, binnengehaald.

Al die nu genoemde namen werden gedragen door verzamelaars, niet door vindsters; en de verzamelaars hebben op hun beurt weer aangekocht van de arbeiders in de steengroeven. Hadden zij die aankopen niet gedaan, dan was er geen prikkel tot bewaren geweest en zou heel veel materiaal zijn verdwenen. Wij mogen deze aankopers-verzamelaars dus zeer dankbaar zijn voor hun werk.

Wel is de geldswaarde van die stukken aanleiding geweest tot vervalsingen, die met name de verzamelaars Dr. Ali Cohen en Jhr. van Riemsdijk zich in de handen hebben doen drukken. Wat deden die falsificateurs? Zij zaagden een mooi vierkant blokje tufkrijt, boorden middenin een gat, plaatsten daarin tanden of kiezen van hond, koe, paard tot zelfs wisseltanden en -kiezen van hun eigen kroost. Genoemd gat werd dan vervolgens weer dichtgemetseld met een mengsel van tufkrijtpoeder en waterglas. Zo fabriekten zij fraaie "mosasauriërs" voor de verkoop. Het kwam ook wel voor, dat natuurlijke objecten onder fantasienamen in de handel werden gebracht. Meermalen moest ik verzamelaars teleurstellen, die grote pijpen vuursteen als versteende beenderen hadden verworven. Het ging dan stevast om de verkiezelde gangen van kreeftachtige dieren (afb. 2) - heel interessant, maar niet kostbaar. Ook kreeg ik de grote zee-egel *Hemipneustes* onder ogen, die bij wijze van fossiele schildpad was ingekocht voor een klein geldbedrag. Echte schildpadden uit Maastricht zijn echter zeldzaam en duur. Een heel bekend voorbeeld is een prachtig schildpadskelet in het museum te Brussel. Op het bordje daarbij staat *Glyptochelone suikerbuiki*; la tortue de De Suyk; de schildpad van De Suyk. Suykerbuik was de naam van de miljonair die dit fossiel in de vorige eeuw aankocht.



Afb. 2. Mammoetbot en in vuursteen omgezette graafgang; beide uit de Belvédère-groeven nabij Maastricht.



Afb. 3. Fossiele kreeft uit de Boven-Jura bij Eichstätt, Beieren, omgeven door dendriet-boompjes. Uit de Encyclopedie van Diderot en d'Alembert.

Naderhand heeft hij zich een andere, deftiger, achternaam aangeschaft; maar het fossiel had helaas voor hem toen al de definitieve wetenschappelijke naam ontvangen...

### Namaak

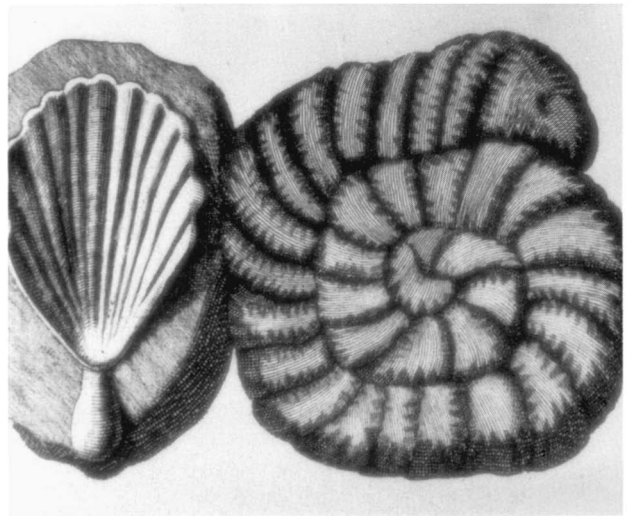
Veel eerder al was een geleerde professor in Duitsland vreselijk te pas gekomen door de aankoop van fossielen. Dit was Beringer, hoogleraar te Würzburg. In die oude tijden wist men het onderscheid tussen mineralen en fossielen nog niet zo goed, ze werden beide met fossielen (= opgegraven objecten) aangeduid. Op afbeelding 3 ziet u een fossiele kreeft waar, naar men toen dacht, takjes overheen waren gegroeid. Wij herkennen deze als dendriet, minerale secreties. Ook kende men het verschil nog niet tussen calciet en aragoniet. Beide zijn calciumcarbonaat, gekristalliseerde kalk, maar 't zijn ook heel verschillende mineralen; aragoniet (parelmoer) lost gemakkelijk op, daardoor zijn bijvoorbeeld fossiele mosselen (die uit aragoniet zijn opgebouwd) zeldzaam. Oesters daarentegen bestaan uit calciet, lossen veel minder gemakkelijk op en worden veel vaker fossiel. In 1726 gaf Beringer een boek uit over de fossielen die hij via aankocht uit de steengroeven in de Muschelkalk uit de omgeving van Würzburg. Op afbeelding 4 ziet u een als schelp bewaard fossiel alsmede de schelpkern van een ammoniet. Van schelpkernen kon Beringer niets begrijpen, want er was géén schelp maar toch een vorm en het aragoniet/calcietverschil was nog onbekend. Beringer dacht dat er echte fossielen, met schelp dus, bestonden naast namaakfossielen als schelpkernen en dendriet, wangeschapen in de eerste dagen der aarde.

Hij was uiteraard niet verbaasd toen zijn leveranciers hem allergekste fossielen (zie afb. 5) naast veel andere rariteiten verkochten. De vervalsing kwam uit, en de goedgelovige professor stond voor aap. Maar ook de vervalsers werden opgespoord. Dat waren niet zijn studenten, maar Beringers collega de professor in de wiskunde, alsmede de universiteits-bibliothecaris. Die twee verloren hun baan, werden publiekelijk geëeseld en voor levenslang uit Würzburg verbannen.

De primitief uitgebikte namaakfossielen waarmee het bedrog had plaatsgevonden kregen de benaming "Lügensteine", liegstenen. Daar was ook een markt voor. En dus togen weer nieuwe vervalsers aan het werk, om namaak-namaak-fossielen te kunnen aanbieden. Namaak-lügensteine zijn wel de droevigste falsificaten die ik mij kan voorstellen...

Niet alle vervalsers uit de handel komen slecht aan hun eind, de meesten blijven vrij. Zo bijvoorbeeld diegene die in de vorige eeuw een aaneengelijmde vis (afb. 6) verkocht aan Teylers Museum te Haarlem. Eén gave vis is veel meer waard dan twee halve, en daardoor is dit kunstwerk vervaardigd ergens bij Verona in de buurt, waar je in Eocene kalksteen de mooiste fossiele

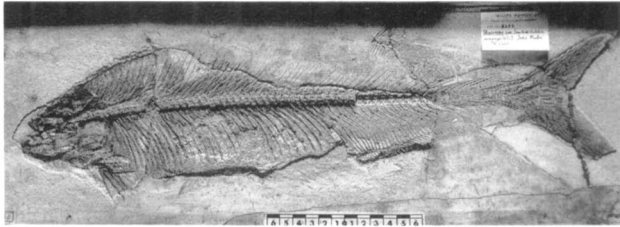
vissen ter wereld hebt. Een schoonzoon van onze Multatuli heeft ze uitgebreid beschreven. Dank zij de handel is er een echte mijnbouw ontstaan naar die fossiele vissen, in het dorp Bolca noordoost van Verona. Deze mijnbouw wordt al anderhalve eeuw door de familie Cerato bedreven; de mijn heet la Pesciara, de mijnbouwer noemt zich "visser in de versteende lagune".



Afb. 4. Als zodanig gefossiliseerde schelp en als steenkern gefossiliseerde ammoniet; Midden-Trias bij Würzburg.



Afb. 5. Namaakfossielen, Lügensteine. Uit Beringer.



Afb. 6. Viscomposiet; samengesteld uit fossielen van Eoceen-ouderdom, Monte Bolca. Teylers Museum, Haarlem.

## Solnhofen

De vissenfauna van Bolca is prachtig, maar die van Solnhofen, waaraan thans onze landgenoot Drs. Paul Lambers werkt, is zo mogelijk nog beroemder. Teylers Museum te Haarlem beschikt over een van de mooiste collecties ter wereld. De vissen worden vrijwel uitsluitend door groeve-arbeiders gevonden, en zijn daarom alleen door de handel te betrekken. Ook in die handel is wel eens wat vreemds gebeurd. Toen in de jaren 1860 eerst een losse veer en daarna een heel met veren voorzien skelet van de beroemde oervogel *Archaeopteryx* ter plaatse werden gevonden, stelde de toenmalige hoogleraar paleontologie in München, Wagner, dat dat een vervalsing moest zijn om de in 1859 gepubliceerde evolutietheorie van Darwin te onderbouwen! Intussen is er al een hele reeks *Archaeopteryx*-fossielen bekend, zelfs is er een vondst herkend in Teylers Museum van vóór 1859. Van vervalsing kan dus geen sprake zijn ook al heeft de astro-

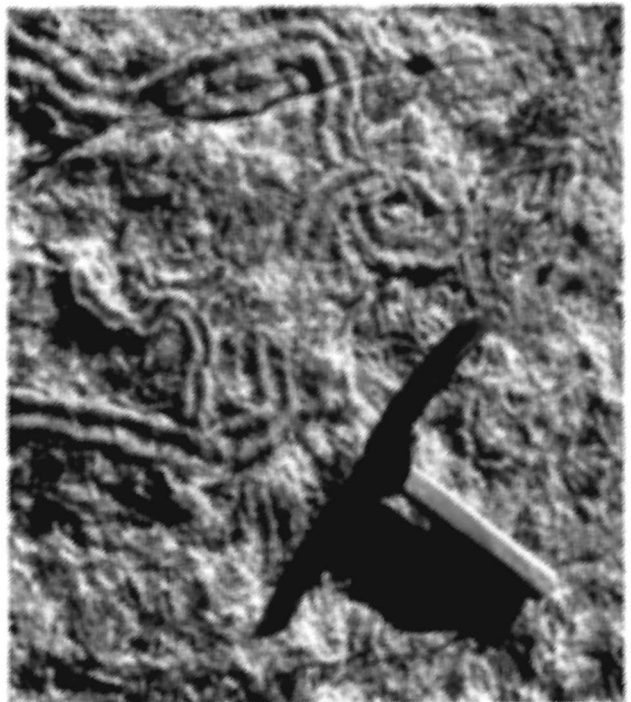


Afb. 7. Kostbaar fossiel: nieuwste vondst (1987) van de oervogel *Archaeopteryx*. Boven-Jura, Solnhofen bij Eichstätt.

Ook voor  
**Mineralen**  
 en  
**Fossielen**  
 is het juiste adres:  
**Tabaksspeciaalzaak**  
 Jan [redacted]  
 [redacted] weg 74, [redacted]  
 tel. 0[redacted]-[redacted]

Afb. 8.

noom Hoyle dat onlangs nog beweerd. Op afb. 7 ziet u de nieuwste *Archaeopteryx*, nummer zes. Hoeveel zou die waard zijn? Een heikele vraag. De verkoper van de eerste en vrijwel mooiste vondst was de arts Dr. Häberlein. Hij behandelde patiënten tegen baar geld en tegen fossielen. Prof. Wagner, die beweerde dat Häberleins oervogel een vervalsing was, overleed zeer spoedig daarna zonder het fossiel ook maar gezien te hebben. Maar toch was het klimaat voor de verkoop in Duitsland kil geworden. Häberlein verkocht zijn oervogel aan het British Museum te Londen voor 700 pond sterling, in die tijd een zeer grote som gelds. Häberlein had 9 dochters, en het was toen nog de tijd van de bruidsschatten; de juffers Häberlein hebben hun uitzet ermee kunnen financieren. Een zoon van Häberlein zette de fossielenhandel voort. Het tweede complete exemplaar werd door hem in 1877 voor 20.000 mark aan Von Siemens verkocht, die het museum te Berlijn ermee vereerde. De jonge Häberlein had het fossiel in 1876 gekocht voor 2000 mark van een steengroeve-eigenaar. Toen stak het fossiel nog in de steen, en leek op een vliegend reptiel. Pas door Häberlein juniors preparateerwerk bleek de plaat een oervogel te bevatten. Twintigduizend mark in 1877; dat zijn er wel twee miljoen in 1990. Zonder twijfel is *Archaeopteryx* het duurste fossiel ooit geweest.



Afb. 9. Een versteend kwartier tijd, 48 miljoen jaar geleden: spoor van zee-egel; Eoceen van St.-Palais aan de Gironde.

## Handel in versteend leven

Wij kunnen niet anders concluderen dan dat het kopen van fossielen overwegend heilzaam is geweest. Niet alleen werden uit de vindplaatsen van fossielen ook zoekers en bewaarders; ook het zorgvuldige preparaatwerk heeft door de winst bij verkoop een welverdiende beloning gevonden. Hier verdient speciale vermelding het ontzilten en met lakken behandelen van beenderen van Pleistocene grote zoogdieren uit de Zeeuwse zeegaten en uit de Noordzee; zonder de handel was hiervan alles verloren gegaan. Maar de handel kan u 't plezier ook ontnemen. Een advertentie als afb. 8 doet mij toch vrezen dat hier kristallen en versteningen louter verzamelobjecten zijn geworden, net als ongestempelde postzegels van nietige emiraten en als voor 't verzamelen gefabriceerde porcelainen vingerhoeden. Wanneer u uitsluitend koopt

mist u niet alleen de vreugde van het zelf vinden, maar u mist ook de context. Wat dat is, wil ik u met een voorbeeld verduidelijken. Wie tunnels graaft in de zeebodem, wordt na overlijden veel secuurder begraven dan wie gewoon maar aan het oppervlak blijft liggen. En zo komt het dat we meestal de fossiele zee-egel aantreffen aan het eind van een graafgang. Ook vinden we losse sporen van zee-egels zoals afgebeeld op afb. 9. Dit soort stukken zoeken we in de handel vergeefs. De geldswaarde van zo'n grote plaat steen staat in geen verhouding tot de moeite die het uitbreken en het bewaren ervan zou kosten. Ten verkoop worden uitsluitend losse zee-egels aangeboden, geen stukken fossiele zeebodem met versteend leven in context. Wanneer we echter dit soort fossielen goed bezien, dan weten we ons getuige van één moment rust tussen de reusachtige golven van het leven in de tijd. Wie geen fossielen koopt, mist wat; wie geen fossielen zoekt, mist veel.

# Thermometers in mineralen

## Metamorfe mineralen als sleutels tot de geologie

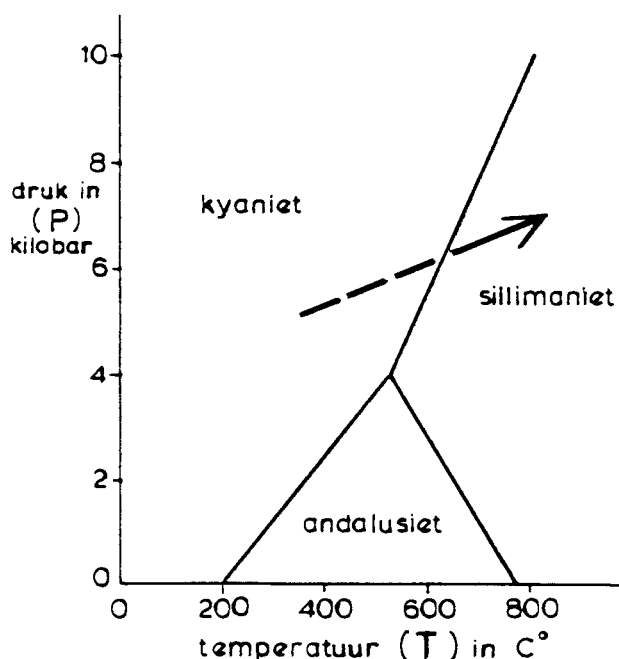
door P. Maaskant

Onder welke omstandigheden zijn gesteenten en mineralen gevormd? In dit artikel wordt ingegaan op de methoden, die ons ten dienste staan om de condities van temperatuur (T) en druk (P, van *pressure*) te achterhalen, waaronder mineralen in metamorfe gesteenten ontstaan. Eerst wordt de aandacht gevestigd op enkele typische metamorfe mineralen, die op zichzelf al een aanwijzing geven voor bepaalde P- en T- condities. Vervolgens wordt stilgestaan bij combinaties van mineralen en daarna bij variaties in chemische samenstelling en wat deze betekenen voor temperatuur en druk. Tenslotte worden voorwaarden voor het gebruik van mineraal-thermometers aangestipt, wordt een voorbeeld uit de praktijk gegeven en worden latere veranderingen of omzettingen vermeld.

### Gesteenten

De indeling van het gesteenterijk in sedimentaire, stollings- en metamorfe gesteenten geeft reeds een aanwijzing over de temperaturen die bij hun vorming geëerd hebben. Sedimentaire gesteenten zijn door korreltransport en door chemische en/of biogene processen bij temperaturen van 0 tot 20 °C neergeslagen op de zeebodem. Bij temperaturen tot hoogstens 150-200 °C werden ze verhard tot kalkstenen en zandstenen; dit proces van verharding noemt men diagenese. Stollingsgesteenten, ook wel magmatische gesteenten genoemd, worden verdeeld in diepte- en uitvloeiingsgesteenten; ze zijn in de diepte gevormd of uitgevloeid over het aardoppervlak of over de zeebodem. Ze ontstaan, zoals het woord aangeeft, door kristallisatie uit een smelt. Voorbeelden: granieten zijn in de diepte uitgekristalliseerd bij 600-700 °C; bazalten, die uit vulkanen afkomstig zijn, stollen bij 1000-1100 °C. Metamorfe gesteenten zijn gesteenten die een metamorfe, een gedaanteverandering, hebben ondergaan: in aanleg waren het sedimentaire of stollingsgesteenten. Een veel gebruikte definitie van metamorfe luidt: metamorfe is de mineralogische en structurele aanpassing aan fysische en chemische omstandigheden, die gesteenten zijn opgelegd bij diepten onder de zone van verwerking en diagenese, en die afwijken van de omstandigheden waaronder deze gesteenten zijn

ontstaan. In de meeste gevallen verandert de chemische samenstelling van het gesteente bij metamorfose niet, afgezien van het verlies van water en koolzuur: er ontstaan alleen nieuwe mineralen en structuren. H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> (water en koolzuur) spelen als vloeibare en gasvormige fasen bij metamorfe processen een belangrijke rol omdat ze bij de reactie als het ware als smeermiddel dienen. Ze vergemakkelijken het transport van elementen en warmte en ze verhogen de snelheid waarbij een reactie plaatsvindt. Ze worden als relatief mobiele componenten beschouwd, d.w.z. ze worden bij de metamorfose toegevoegd of uitgedreven.



Afb. 1. De stabiliteitsvelden van andalusiet, sillimaniet en kyaniet. De pijl geeft aan dat bij hogere temperatuur en druk kyaniet zal omzetten naar sillimaniet: een gesteente dat zich aanvankelijk in het stabiliteitsveld van kyaniet bevindt komt, door oplopende temperatuur en druk, in het stabiliteitsveld van sillimaniet.