

Het skelet van de Walvis van Kervenheim.

doorsnede van 12 centimeter en een hoogte van 10 centimeter. Het V-vormige deel is ongeveer 1 meter lang. Hierna volgt een stuk van 2,20 meter, bestaande uit wervels en ribben, of delen daarvan. De rest van de wervelkolom (1,10 meter) eindigt in een vrij grote, ronde beenderenmassa. Het is mogelijk dat zich hierin nog wervels, tanden en andere zaken en andere zaken bevinden. Dat zal blijken wanneer het onderzoek is afgerond. Of deze Baardwalvis al dan niet onder dezelfde omstandigheden leefde als z'n tegenwoordige soortgenoten is niet met ze-

kerheid te zeggen. In elk geval moet er een relatief lage watertemperatuur ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) in dit gebied zijn geweest, ongeveer te vergelijken met die van de huidige Noordzee. De Tertiaire lagen waarin zich dit skelet bevond, werden in het Kwartair bedekt door tot 30 meter dikke pakketten zand en grind. De in deze buurt zo'n 100 tot 150 meter dikke, vooruitschuivende ijsmassa's zorgden ervoor dat grote schollen van de eronder liggende afzettingen meters omhooggeduwd werden. Oorspronkelijk hebben deze fossiele resten dus lager gelegen.

Tenslotte

Nog steeds is men bezig met het prepareren en nader onderzoeken van de 'Walvis van Kervenheim'. Hoe lang dit nog zal duren valt niet precies aan te geven. Men hoopt rond deze tijd zo ver te zijn dat hij een 'thuis' heeft gekregen in het Geologisch Landesamt. Daar kan iedere belangstellende het dan in alle rust bewonderen en eventueel in stilte mijmeren over die lang vervlogen tijden.

Summary

In 1987 a nearly complete skeleton of an Upper-Miocene whale was found in the surroundings of Kervenheim (Fed. Rep. Germany). After being dug up it was transported to Münster, where this important fossil still remains for further examinations.

Literatuur

Klostermann, J., 1987: Ein fossiler Wal aus dem Tertiär von Kervenheim. *Natur am Niederrhein*, 2. Jahrgang, Heft 2:43-54. Naturwissenschaftlicher Verein zu Krefeld e.V., De-Greif-Strasse 195, 4150 Krefeld.

Ikaiet, het oorspronkelijke mineraal van de pseudomorfofen van het jarrowiet-type.

D.J.Shearman* en A.J.Smith**

* Department of Geology, Imperial College, University of London, Prince Consort Road, London SW7 2BP England
 ** Department of Geology, Royal Holloway and Bedford New College, Egham Hill, Egham, Surrey TW20 0EX England

In de vorige eeuw zijn op uiteenlopende plaatsen calciumpseudomorfofen gevonden van een onbekend moedermineraal. In 1963 kwam hierover meer duidelijkheid toen een Deense expeditie in de koude wateren rond Groenland zuilen onder water vond, die uit ikaiet bleken te zijn opgebouwd.

Ikaiet ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) was tot in de vorige eeuw niet bekend als mineraal. De naam ontving het van de Ika-baai bij Groenland. Het kristalliseert bij temperaturen rondom het vriespunt en valt bij hogere temperaturen uiteen in calciet en water. Jarrowiet was de naam, gegeven door Browell in 1860 aan calciet-pseudomorfofen met een onduidelijke herkomst, gevonden in het slib van de monding van de rivier de Tyne,

nabij Jarrow Slake in Noordoost-Engeland. Inmiddels is vastgesteld dat deze jarrowieten pseudomorfofen zijn van kristallen van het mineraal ikaiet. Jarrowiet is gepseudomorfeerd tot calciet waarbij de calciumcarbonaat opnieuw over het kristal is herverdeeld. Door het onttrekken van water ontstaat daarbij een grote porositeit. Er zijn vele pseudomorfofen beschreven van het-

zelfde type als jarrowiet onder meer onder namen als pseudogaylussiet, thinoliet, Witte Zeehornlets, glendoniet, gerstekorrels, gennoishi en fundylit.

Het is mogelijk dat ikaiet en zijn pseudomorfofen een functie kunnen vervullen bij het bepalen van voorhistorische temperaturen.

Exemplaren van jarrowiet in het Hancock Museum hebben een bleekbruingele kleur, ze zijn ca. 2 cm lang en ze bestaan uit brose, uiterst poreuze

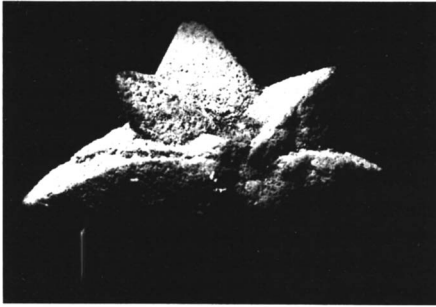


Fig. 1. Jarrowiet uit Jarrow Slake (Collectie van het Hancock Museum, Newcastle-upon-Tyne). Dit exemplaar is ca. 2 cm lang.

ze, aggregaten van fijnkorrelige calciet (fig.1). De kristalvlakken zijn schuingestreept en heel fijn getrapd langs de strepen waardoor ze licht gebogen zijn en spits naar de uiteinden toelopen. Ze krijgen daardoor een moeilijk te beschrijven shuttle-achtige vorm. Het zijn duidelijk pseudomorfofen, maar de kristalhabitus is niet gebruikelijk. Het ruwe oppervlak, de buiging en de trapsgewijze opbouw laten geen kristalhoekmetingen toe en daarom kan het moedermineraal niet in termen van kristalparameters worden vastgesteld. De vondst bij Jarrow Slake was overigens niet de eerste of de enige. Freiesleben vond in 1827 bij Obersdorf 'gerstekorrels' met dezelfde structuur en Rose vond in 1841 bij Toningen in Silezië degelijke pseudomorfofen.

Haidinger beschrijft ze uit Hongarije, gevonden in de schedel van een holo-beer. In 1849 beschrijft J.D.Dana ze als vondsten uit het Midden-Perm bij Glendon in New South Wales, Australië en uit Tertiaire schalie bij Astoria, Oregon, USA. Later werden pseudomorfofen, die in grote trekken op elkaar leken, gevonden in lagen van verschillende ouderdom, uiteenlopend van Carboon tot Pleistoceen. Ze zijn dus niet algemeen, maar ook niet zeldzaam.

In 1979 heeft Kaplan een overzicht gegeven van alle voorkomens. In de inleiding zijn al de vele namen vermeld waaronder deze pseudomorfofen bekend zijn. Het ligt voor de hand dat over het oorspronkelijke mineraal al veel discussie en verschil van mening heeft bestaan. Recente onderzoekingen geven aan dat het ikaiet waarschijnlijk het oorspronkelijke mineraal is. Zoals verder uit dit verhaal blijkt, zou dit tot verrijkende conclusies voeren omdat ikaiet bij normale druk slechts kristalliseert bij temperaturen rond 0° C.

Het voorkomen van de pseudomorfofen.

De pseudomorfofen zijn gevonden in twee afzettingen die een tegenstelling vormen. In het ene geval waren ze verspreid gegroeid in fijnkorrelige kleiige sedimenten. Het oorspronkelijke mineraal was door diagenese ontstaan, waarbij het niet-gebonden water in de klei tot reacties leidde. In het tweede geval ontstonden de pseudomorfofen in calcietische tuffen in de meren uit het Kwartair in het Lahontan Bassin, Nevada en het Mono Lake Bassin, Californië. Deze laatste, thinolet genoemd, zijn meestal gerangschikt in vergroeiingen alsof de oorspronkelijke kristallen zo vanuit het water van het meer omhooggroeiden.

(a) Pseudomorfofen naar los gegroeide moederkristallen.

Pseudomorfofen in fijnkorrelige sedimenten, waarin de moederkristallen los van elkaar zijn ontstaan, zijn wijdverspreid in lagen die van het Carboon tot het Kwartair variëren. Ze worden gevonden in sedimenten van rivieren tot aan de mondingen, in delta's en in ondiepe en diepe mariene afzettingen. De glendonieten uit het Midden-

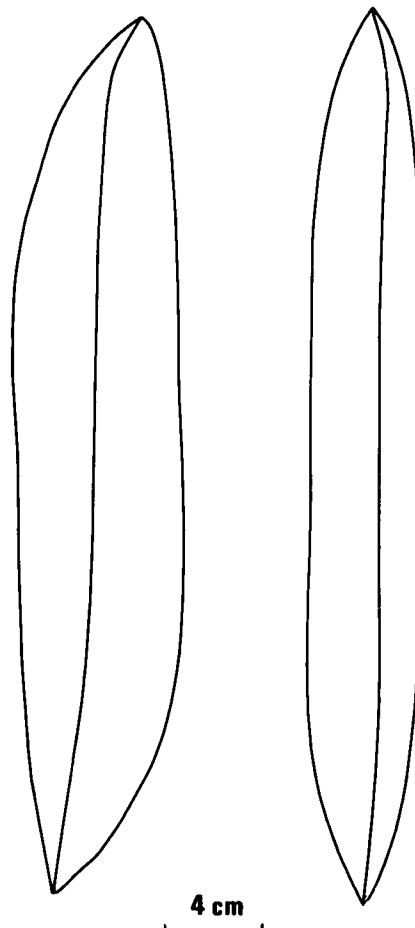


Fig. 2. Glendolietpseudomorfofen uit het Perm van New South Wales. Tekening naar een foto uit Edgeworth Davis et al., (1905, plaat XXIX).

Perm van New South Wales, Australië liggen in sedimenten die voorkomen met tillieten (David et al., 1905; Herbert & Helby, 1980). Ze liggen verspreid in het sediment, soms over grote gebieden. Kaplan geeft een voorbeeld uit Siberië waar ze in het Jura over een afstand van 1000 km aan de oppervlakte voorkomen. Ze lopen in kleur uiteen van beige tot kastanjebruin en zwart. De afmetingen variëren van één centimeter voor de 'gerstekorrels' en jarrowieten tot meer dan 80 cm voor de glendonieten. Ze komen voor als enkele kristallen, als een groep van enkele dooreengegroeide kristallen of als klompen die als egels of denneappels worden beschreven. Behoudens hoge uitzonderingen zijn ze bewaard als massa's calcietkristallen. Een paar bestaan uit sideriet en in het Boven-Krijt van de White Cliffs van westelijk New South Wales bestaan ze uit opaal. Uit literatuuronderzoek, foto's en exemplaren uit de afdeling Natural History van het British Museum valt de conclusie te trekken dat de pseudomorfofen in twee groepen uiteenvallen wat hun algemene habitus betreft. In de ene groep hebben de pseudomorfofen een duidelijke asymmetrie en een neiging tot een sigmoïdale vorm, als men ze van één kant bekijkt (fig. 1 en 2). Het is enigzins te zien in de gerstekorrels en de jarrowieten en heel sterk bij de glendonieten van New South Wales. Daar waar de pseudomorfofen als stervormige clusters voorkomen, zoals in de Upper Deer Bay-Formatie uit het Onder-Krijt van het arctische deel van Canada, steken alleen de kristalpunten naar buiten en deze lijken veel op die van de jarrowieten. De tweede habitus is meer gestrekt en recht, bijna vierkantprismatisch, tegen het einde spits toelopen, hoewel onregelmatig, omdat ze tot het einde toe geribbeld zijn (fig. 3 en 4). Ze zijn als de pseudomorfofen die Trechmann (1901) beschreef uit de modder van de rivier de Clyde bij Cardross, Schotland. Idem die van Steacy en Grant (1974) uit de modder van de Bay of Fundy, Canada. Sommige zijn aan de uiteinden pyramide-vormig, met een asymmetrie onder een kleine hoek in tegengestelde richtingen. Indien men de glendoniethabitus en de fundyliethabitus afzonderlijk beoordeelt zijn ze duidelijk verschillend. Toch wijst de geringe hellinghoek van het fundyliet-type in de richting van de kromming van het glendoniëtype. En beide typen, met tussenliggende vormen, komen voor in pseudomorfofen die in Japan in het Tertiair zijn gevonden en gennoishi (= hamerstenen) worden genoemd (Shibuya, 1977; Go-

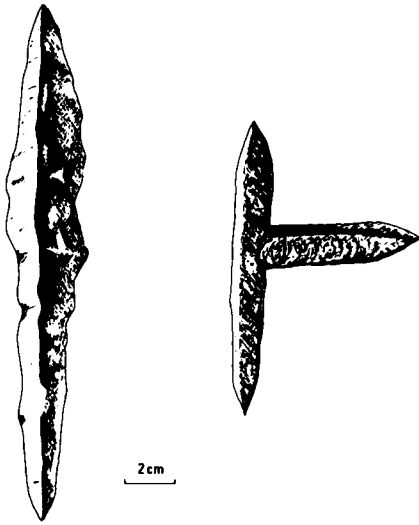


Fig. 3. Pseudomorfofen uit Kwartaire slibafzettingen nabij Cardoss, River Clyde, Schotland. Tekening naar foto's van Trechmann (1901, fig. 3 & 4).

to, 1979 en Chihara, 1983). Aandacht moet nog worden gegeven aan de strepen en ribbels die zo karakteristiek zijn voor vele pseudomorfofen. J.D.Dana (1849) die de pseudomorfofen van Astoria, Oregon beschreef, verklaarde dat ze een rhombisch-prismatische vorm hebben. Hij schreef: 'toch is het duidelijk dat de prisma's zijn gemaakt van een serie rhomboëders, gestapeld in een continue reeks. Het is een soort onderbroken kristallisatie resulterend in een rhombische prisma of een verlengde rhomboëder, waarbij het beeld wordt vertroebeld door een geleidelijke verkleining van het prisma naar het einde toe. De uiteinden worden een beetje in verschillende richtingen gedraaid door deze wijze van vorming'. David e.a. (1905) dacht dat soortgelijke strepen op de glendonieten van New South Wales 'waarschijnlijk kunnen worden toegeschreven aan een oscillerende combinatie van kristalvlakken op het oorspronkelijke kristal'. Kristaloppervlakken, die worden gecreëerd door zulke habitus-veranderende processen, zijn dikwijls licht gebogen en gewoonlijk niet meetbaar. Het meten van wat een hoek lijkt tussen kristalvlakken, biedt hier geen hulp. Vrijwel alle auteurs zijn het eens over de familiegelijkenis tussen de betrokken pseudomorfofen, maar ze verschillen radicaal in hun opvattingen over de aard van het oorspronkelijke mineraal. Breithaupt (1836) die de eerst gevonden pseudomorfofen onderzocht concludeerde dat het moedermineraal gaylussiet ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) was, dat monoklien is. De pseudomorfofen werden pseudogaylussiet genoemd. Het is waarschijnlijk dat het feit dat de pseudomorfofen bestonden uit

calciet en dat hij aannam dat dus ook het moedermineraal calcium- en carbonaat-ionen zou bevatten, hem heeft geïnspireerd. David (1905) en zijn medewerkers bepleitten glauberiet ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), eveneens monoklien, als de voorgangers van de glen-

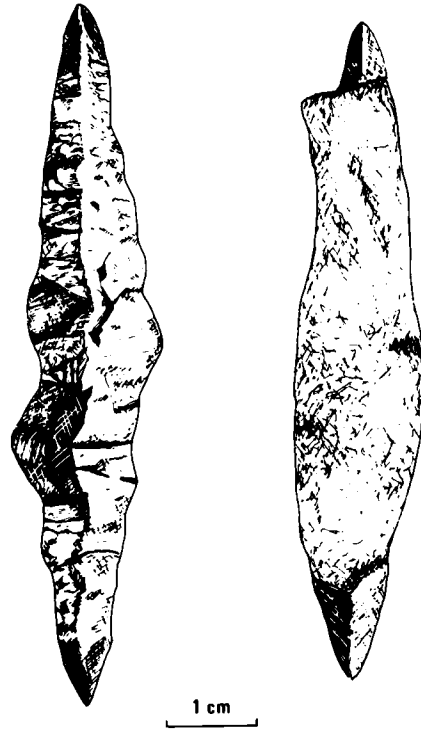


Fig. 4. Fundylieten uit Kwartaire wadafzettingen in de Bay of Fundy, New Brunswick, Canada. Het exemplaar rechts bevindt zich gedeeltelijk in een kalkconcretie. Tekeningen van foto's van Steacy en Grant (1974, fig. 1)

donieten van New South Wales. Kemper en Schmitz (1975, 1981) kwamen tot de slotsom dat de stervormige clusters uit de Upper Deer Bay-Formatie van Arctisch Canada pseudomorfofen zijn naar thenardiet (Na_2SO_4), dat orthorhombisch is. Andere suggestie waren onder meer celestiet, gips, anhydriet, zwavel en aragoniet. Boggs (1972) suggereerde waterhoudende carbonaten als mogelijk moedermineraal in voorkomens uit het Midden-Tertiair in het noordwesten van de USA Deze conclusie zal blijken juist te zijn. Er is nog een drietal punten waarop de aandacht moet worden gevestigd. Sommige van de pseudomorfofen uit het Kwartair zijn extreem poreus. Twee van de exemplaren uit het Hancock Museum hebben een poriëvolume van 69 resp. 62 %. Enige oudere exemplaren hebben daarentegen een verwaarloosbare porositeit. Ten tweede worden sommige pseudomorfofen aangetroffen tezamen met kalkconcreties, die ze geheel of ten dele omsluiten. Voorbeelden hiervan zijn de glendonieten van New South Wales, de

fundylieten van de Bay of Fundy, Canada en in de Midden-Tertiaire schalie van Oregon en Washington. Ten derde komen de pseudomorfofen dikwijls voor in associatie met sedimenten die rijk zijn, of waren, aan organisch materiaal.

(b) Pseudomorfofen in de tuffen van de Lahontan en de Mono Lakes Bassins.

Kalktuffen, waarvan sommige calcietpseudomorfofen bevatten, zijn wijdverspreid rond de bekkens van het Lahontan Meer en het Mono Meer in het noordwesten van Nevada en de aangrenzende gebieden van Californië. King (1878) noemde de tufstenen thinolet, naar het Griekse woord voor 'kust', omdat hun verspreiding hem in staat stelde om de vroegere kustlijn van het oude Lake Lahontan vast te stellen. Hij nam aan dat het oorspronkelijke mineraal gaylussiet was, ten eerste door de gelijkenis en ten tweede omdat, indien men gaylussietkristallen in schoon water plaatste, het natrium werd uitgeloozd zodat een fijnkorrelig calciumcarbonaat overbleef in de vorm van het oorspronkelijke gaylussietkristal. Russell (1883) maakte later een onderscheid tussen drie soorten tufgesteenten, waarbij hij de naam thinolet reserveerde voor de pseudomorfofen.

In de thinoletische tuffen waren de pseudomorfofen zo gerangschikt dat ze de indruk wekten dat de oorspronkelijke kristallen vastgehecht op een ondergrond waren ontstaan als gevolg van een neerslag uit het water van het meer. Radbruch (1957) heeft echter later vastgesteld dat ze soms in het slib waren gegroeid en dat ze bovendien niet alleen langs de kust maar ook verder van de kust af waren ontstaan als heuveltjes en als zuilen. In Pyramid Lake, een restant van het oude Lake Lahontan, kan men dit duidelijk zien. Ze verschillen in grootte van enkele centimeters tot tientallen meters. Russell dacht dat het hier groeistrukturen betrof die wellicht op bicarbonaathoudende bronnen op de meerbodem waren gevormd. E.S.Dana (1884) maakte een uitvoerige studie van de thinoleten. Bewaard in calciet (fig. 5) vond hij ze tot 25 cm lengte en 2,5 cm doorsnede. Ze hebben een vrijwel vierkante doorsnede, soms over vrijwel de hele lengte om dan aan één of twee uiteinden spits toe te lopen. Ze zitten vol holten en tonen na doorzagen een skelet dat lijkt op een stapel holle pyramides.

Deze representeren de kristalvlakken tijdens de groei van het moederkristal en hun resten geven aan de pseudomorfofen een ribbelig uiterlijk. Omdat

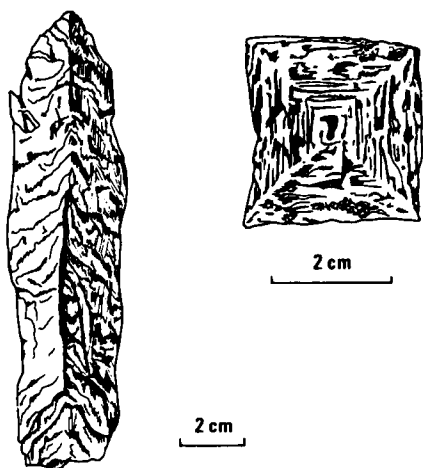


Fig. 5. Thinoliet uit Kwartaire tuffen, Pyramid Lake Nevada. Links verticaal, rechts een doorsnede door de onderzijde. Tekeningen naar E.S.Dana (1884).

de pyramiden een andere tophoek hebben dan het totale aggregaat verhullen de pseudomorfofen de ware kristallografie van het oorspronkelijke mineraal. Dana herkende de verwantschap tussen de thinolieten en de jarowieten en gerstekorrels. Hij stelde dat de kristalsymmetrie tetragonaal was zodat het monokliene gaylussiet zou zijn uitgesloten. Op basis van kristalgelijkenis met phosgeniet ($PbCO_3 \cdot CaCl_2$) veronderstelde hij een daarmee isomorf mineraal met de mogelijke samenstelling $CaCO_3 \cdot CaCl_2$. Later onderzocht Jones (1925) deze pseudomorfofen en gaf de suggestie dat het moedermineraal aragoniet zou zijn. Dat betekent dat King, Dana en Jones aan de hand van hetzelfde materiaal tot sterk uiteenlopende conclusies kwamen.

Ikaïet.

De eerste werkelijke aanwijzing voor het moedermineraal kwam in 1963 toen een Deense expeditie naar Zuidwest Groenland enkele carbonaatgroeisels onderzocht die bij lage waterstand juist onder de wateroppervlakte zichtbaar waren. Ze stonden als zuilen van wel 20 meter op de bodem van de Ika Fjord, waar het water aan de bodem $3^\circ C$. en aan de oppervlakte $7^\circ C$. is. Toen de eerste monsters waren genomen bleek het een bros, fijnkorrelig en poreus materiaal te zijn, maar in de warmere temperatuur aan boord viel het snel uiteen tot een vochtig poeder van calciumcarbonaat. Monsters, die in de ijskast werden bewaard wezen later uit dat het ging om een calciumcarbonaat hexahydraat ofwel $CaCO_3 \cdot 6H_2O$, monoklien. Het was niet eerder in de natuur gevonden en het kreeg in 1963 van Pauly de naam

ikaïet. Hij veronderstelde dat de ikaïetkolommen groeiden op bicarbonaat bronnen op de bodem van de fjord. Dat Russell voor de thinoliet dezelfde veronderstelling gaf werd toen niet gerealiseerd. Calciumcarbonaat hexahydraat was reeds lang bij chemici bekend als een bij het vriespunt vervaardigde chemische verbinding die bij normale temperatuur uiteenvalt in calciet en water. Pauly veronderstelde dat ikaïet wel eens veelvuldig zou kunnen voorkomen in de poolstreken. Dat ikaïet de voorganger van de raadselachtige pseudomorfofen was werd eerst in 1979 door Kaplan verondersteld na een discussie met Tatanskii. Hij was overtuigd dat ikaïet de missende schakel was maar hij kon het niet bewijzen omdat de kristalvorm van ikaïet onbekend was. Zijn argument was gebaseerd op paleogeografische gegevens omdat vele pseudomorfofen waren gevonden in sedimenten die in een zeer koude omgeving waren neergeslagen. Kemper en Schmitz (1975, 1981) hadden deze conclusie reeds getrokken, maar hielden het moedermineraal voor thenardiet (Na_2SO_4). De belangrijke ontdekking kwam in 1982 toen wetenschappers op het Duitse onderzoekschip 'Meteor' (Suess e.a., 1982) rapporteerden dat ze ikaïet hadden aangetroffen in een boorkern uit de zeebodem bij Bransfield Strait, Antarctica. De boorkern was genomen bij een waterkolom van 1950 meter, waarbij de bodemtemperatuur onder $0^\circ C$. was. De kristallen kwamen van resp. 2 en 7 meter onder het zeebodenniveau. Aan boord bij de in het laboratorium heersende temperatuur werden de kristallen wolkig en enkele uren later vielen ze uiteen in korrelige calciet en water.

De monsters die het minst hadden geleden werden gekoeld en ze bleken later, na analyse, ikaïet te zijn. Suess en zijn medewerkers waren overtuigd het ontbrekende mineraal te hebben gevonden. Zij gaven monokliene symmetrie op maar het schijnt dat de kristallen al waren uiteengevallen voordat ze konden worden gemeten. Er werd wel een foto genomen van één van de kristallen, aan de hand waarvan de tekening van fig.6 is gemaakt. Het herinnert aan de pseudomorfofen van fig.3 (Clyde River) en fig.4 (fundylieten). Aan de hand van de foto is geen kristalvorm te determineren maar de getrapte opbouw doet denken aan een oscillerende serie van vormen. Het uiteindelijke model is dan een gevolg van omvang en frequentie van de oscillaties. De gegevens van de foto stemmen overeen met de conclusies van

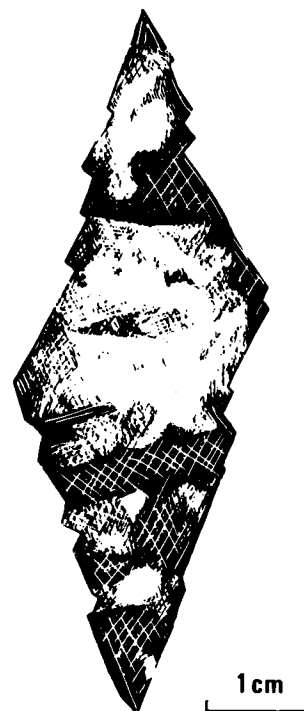


Fig. 6. Het ikaïetkristal uit recent mariene afzettingen van de Bransfield Strait, Antarctica. Tekening naar een foto uit Suess et al., (1982, fig. 1.)

J.D.Dana (1849) en E.S.Dana (1884) aan de hand van de pseudomorfofen. De foto is genomen met de lengte-as verticaal, evenals de figuren 1 t/m 5, maar omdat het ikaïetkristal nog niet is onderzocht kan het zijn dat de c-as niettemin dwars op deze richting ligt. Een klein jaar later vonden Stein en Smith in de Nankai-trog bij Japan vrijwel zeker eveneens ikaïetkristallen in een boorkern bij waterdiepten van 4618-4677 meter. Toen de boorkern aan boord van de Glomar Challenger werd geopend zag men transparante bleekgele kristallen in Kwartaire kleis sedimenten van 8,5 en 44,9 meter onder de zeebodem. Helaas vielen tijdens het onderzoek in de tijd van enkele minuten de kristallen uiteen in water en kleine calcietkristallen, zodat geen tijd voor conservering meer beschikbaar was. De ervaring heeft dus geleerd dat ikaïet zeer instabiel is bij normale temperaturen.

Stabiliteitsverhoudingen.

Het fasendiagram van het systeem ikaïet, calciet en aragoniet werd door Marland (1975) onderzocht (fig.7). Hieruit blijkt dat bij geologisch aanvaardbare temperaturen ikaïet slechts stabiel is bij hoge drukken: bij 3 kilobar ligt de temperatuurgrens op $2^\circ C$ en bij 5.08 kilobar op $25^\circ C$. Deze voorwaarden zijn niet aanwezig tijdens de sedimentatie en diagenese, zodat ikaïet

kan worden aangemerkt als een metastabiele fase in sedimentair gesteente.

Opvallend is dat aragoniet, evenals ikaïet, een hogedruk mineraal is, dat toch in een mariene omgeving eerder neerslaat dan calciet.

Mogelijkerwijze wordt de neerslag van calciet in zeewater geblokkeerd door de aanwezigheid van magnesium-ionen.

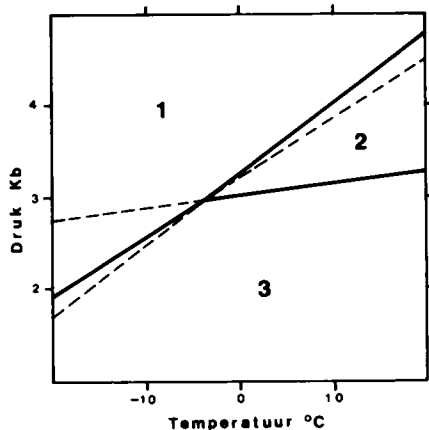


Fig. 7. De stabiliteitsrelaties van ikaïet met temperatuur en druk. 1. ikaïet, 2. aragoniet, 3. calciet Naar Marland (1975).

en of een andere remmer. Fig. 7 laat zien dat beneden 0°C aragoniet niet stabiel is, terwijl ikaïet dat juist wel is. Een redenering naar analogie van aragoniet maakt het redelijk te veronderstellen dat ikaïet als een metastabiel mineraal zou neerslaan bij lage temperatuur en normale druk als de neerslag van calciet wordt geremd. Brooks en medewerkers (1950) stelden bij synthetische productie van ikaïet vast, dat de toeslag van natriumhexametafosfaat nodig was om bij normale atmosferische druk een neerslag te bereiken. Het is duidelijk dat ikaïet het koud-water-calciumcarbonaatmineraal is.

De pseudomorfosen daarvan weerspiegelen stratigrafisch zeer koude omstandigheden.

Bron van het calciumcarbonaat in de pseudomorfosen.

In alle drie de gevallen waarin ikaïet in de natuur werd gevonden, werd het snel ontbonden tot een pap van calciet en water.

Hetzelfde geldt voor synthetisch materiaal. Behoudens enkele uitzonderingen zijn de pseudomorfosen bewaard als calciet en het is aan te nemen dat dit zeker ten dele is ontstaan door een herverdeling van de calcium- en carbonaationen van het vroegere ikaïet. De verandering van het monokliene ikaïet naar calciet zou een volume-ver-

mindering van 68,6 % betekenen. Reeds eerder werd vermeld dat de jarrowieten in het Hancock Museum porositeiten van 69 resp 62 % vertoonden. Deze waarden stemmen overeen of liggen vergelijkbaar indien het materiaal van de ikaïet afkomstig is. In vele andere gevallen is de porositeit veel lager en deze moeten dus meer calciet bevatten dan hun voorgangers. In de glendonieten van New South Wales zijn 3 resp. 4 generaties calciet vastgesteld zodat andere bronnen voor deze aanwas hebben gezorgd.

Ikaïet en zijn pseudomorfosen: omgeving en temperatuur.

De wetenschap dat ikaïet een lage temperatuur calciumcarbonaat mineraal is, werpt vragen op omtrent de ontstaanstemperaturen. De pseudomorfosen zijn gevonden in zulke uiteenlopende sedimentaire facies dat geen enkelvoudige verklaring toereikend is. Er zijn twee gevallen bekend waar ikaïetkristallen zo in het water zijn ontstaan, namelijk in de Ika Fjord in Groenland en de uit het Kwartair daterende bekkens van Lake Lahontan en Mono Lake. In alle andere bekende gevallen groeiden de ikaïetkristallen los van elkaar en waren ze veeleer van diagenetische oorsprong. De lage temperaturen zijn toe te schrijven aan glaciële of periglaciële (glendonieten N.S.Wales en holebeerschedel uit Hongarije) omstandigheden. De Eo-cambriëse sedimenten van Schotland zijn wellicht de oudste exemplaren van pseudomorfosen naar ikaïet. Spencer (1971) beschrijft gesilificeerde stervormige groepen waarbij het omgevende sediment aanwijzingen geeft voor lage temperaturen. Het zou dus van ikaïet oorsprong kunnen zijn. In een onderzeese omgeving die niet direct glaciëel is zouden ijskoude onderstromen verantwoordelijk kunnen zijn. Dit speelt bijvoorbeeld bij de ikaïetkristallen van de bodem van de Ant- arctische zeeën, waar de temperatuur onder nul was. Vele pseudomorfosen zijn volgens paleografische waarnemingen op hoge breedtegraden neergeslagen, waar koude stromen kunnen worden aangenomen. Andere oorzaken voor de verlaging van de temperatuur van sedimenten zijn niet uit te sluiten. Koeling door de expansie van gassen die ontsnappen uit koolwaterstofrijke sedimenten is een mogelijk mechanisme. Voor de ikaïet uit de Nankai-trog is dit waarschijnlijk want in de sedimenten uit de boorkern werd gas geconstateerd. De gennoishi van Noord-Japan liggen in diepwatersedimenten waarvoor de temperaturen van ontstaan met de huidige zijn te ver-

gelijken. Hier echter bevatten de sedimenten het olie en gas dat aldaar wordt gewonnen. Recente diepzeeboringen (Hesse en Harrison, 1981) toonden bewijzen van zeer lage temperaturen in de vorm van clathraatmethaanrijk ijs. Het is duidelijk dat, hoewel lage temperaturen nodig zijn voor het ontstaan van ikaïet, dit niet steeds door klimatologische omstandigheden behoeft te zijn. Browell's verslag over de jarrowieten van Jarrow Slake vermeldde dat ze werden gevonden bij uitgravingen voor dokken. Huidige vindplaatsen zijn niet bekend, maar het is aan te nemen dat het slib waarin ze gevonden zijn een deel vormen van de alluviale Tyne bedding dat weer rust op het Tyne-Wearcomplex. De sedimenten waren vermoedelijk fluviatiel, wellicht echter marien, hoogstens 10.000 jaren oud. Er kan weinig twijfel over bestaan dat ikaïet het moedermineraal is van deze en vele soortgelijke pseudomorfosen, die mineralogen en geologen zo lange tijd voor raadsels hebben gesteld. Het is paradoxaal om daarbij in herinnering te brengen, dat Pelouze in 1831 calcium carbonaat hexahydraat kunstmatig samenstelde, slechts enkele jaren nadat Freiesleben in 1827 de eerste der raadselachtige pseudomorfosen beschreef. Het duurde sindsdien bijna anderhalve eeuw voordat de relatie tussen deze twee vastgelegd werd. Hoewel het belang van de lage temperaturen onderkend wordt, wijst recent onderzoek erop dat door klimaat beïnvloede temperaturen niet de enige voorwaarden zijn en enkele recente en vroegere voorbeelden mogelijk gerelateerd zijn aan het ontsnappen van gassen.

Dankwoord

Wij spreken onze dank uit aan Alan McGugan en Kaseno Chihara die ons, hoewel aan de andere zijde van de Aardbol, jaren geleden in deze wereld van de pseudomorfosen introduceerden. Het Hancock Museum van Newcastle-on Tyne bracht de één en de cruise op de Glomar Challenger de ander tot gelijke conclusies. Wij danken N.J. Shackleton en Carol Stein voor het isotopen-onderzoek en Tony Brown voor de zorgvuldig gemaakte tekeningen. Tenslotte bedankt de redactie van Grondboor en Hamer de heer F.B. van Dam voor zijn zorgvuldige vertaling van het artikel in het Nederlands en de heer Walkeuter voor het verzorgen van de tekeningen.

Summary

The pseudorphs known as jarrowite which were found during the middle

part of the last century in muds at Jarrow Lake on the river Tyne are now identified as being pseudomorphs after crystals of the mineral ikaite. Ikaite, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, is a metastable mineral in sedimentary rocks. It crystallizes at near to zero Celsius, but breaks down at normal temperatures to form calcium carbonate and water. Jarrowites are pseudomorphed in calcite which appeared to have been generated by redistribution of the calcium which appears to have been generated by redistribution of the calcium carbonate formerly present in the parent ikaite. The high porosity of the jarrowites is the result of the decrease in volume which accompanied the change. The paper reviews the known occurrences of pseudomorphs of jarrowite-type (pseudogaylussite, thinolite, White Sea hornlets, glendonite, gersternkorner, gennoishi, fundylite and others), the discovery of ikaite and the ways in which the pseudomorphs after ikaite may have a role as palaeometers.

Literatuur

N.B.: Vele van de vroege publicaties zijn moeilijk verkrijgbaar en een aantal zijn niet door de huidige auteurs gelezen. Veel van deze vroege literatuur werd door E.S.Dana in 1884 samengevat in zijn publicatie 'A crystallographic study of the thinolite of Lake Lahontan', dat hieronder is vermeld. Niet gelezen publicaties zijn gemerkt met **

- Boggs, S. Jr. 1972 Petrography and geochemistry of rhombic calcite pseudomorphs from mid-Tertiary mudstones of the Pacific Northwest, USA, *Sedimentology*, 19, 219-35.
Breithaupt** 1836: *Mag. Orykt. Sachsen* 1836, 7, 287.
Brooks, R., L.M.Clark & E.F.Thurston, 1950: Calcium Carbonate and its hydrates. *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser.A*243, 145.

- Browell, E. J. J. 1860. Description and analysis of an undescribed mineral from Jarrow Slake, Tyneside Naturalists Field Club, V, 103-4.
Chihara, K. 1983: Gennoishi from Nogumi, Yahiko Mountain, Niigata prefecture. In *Nature of Niigata*, Govt of Niigata, 274-276 (in de japanse taal).
Dana, E.S. 1884: A crystallographic study of the thinolite of Lake Lahontan. *U.S. Geological Survey Bulletin* nr.12, 429-50.
Dana, J.D. ** 1849: In: *United States Exploring Expedition 1838-1842*, 418 & 656.
David, T., W.Edgeworth, & T.G.Taylor, 1905: Occurrence of the Pseudomorph Glendonite in New South Wales, Part I. *New South Wales Geological Survey Records*, DIII, 162-72.
England, B.M., 1976: Glendonites, their origins and descriptions. *Mineralogical Record*. Mrt-Apr. 1976, 7, nr. 2, 60-68.
Freiesleben** 1827: *Isis*, xx, 335 e.v.
Goto, T., 1979: On the occurrence of gennoishi from the central part of Niigata Prefecture. *Journal of Niigata Society of geological education*, 13, 71-75 (in het Japans).
Haidinger, G. E. 1841: ber eine Localität von Gay-Lussit-Pseudomorphosen. *Poggendorff's Annalen*, LIII, 142.
Herbert, C. & R.Helby, 1980: A guide to the Sydney Basin. *Geol. Survey of New South Wales*, Bulletin 26.
Hesse, R. & W.E.Harrison, 1981: Gas hydrates (clathrates) causing pore water freshening and oxygen isotope fractionation in deep water sediment sections of terrigenous continental margins. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 55, 453-462.
Jones, J.C., 1925: Geologic history of Lake Lahontan. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* nr.352, 1-50.
Kaplan, M. E. 1979. Calcite pseudomorphs (pseudogaylussite, jarrowite, thinolite, glendonite, gennoishi, White Sea hornlets) in sedimentary rocks. *Plenum Publishing Corporation 1980*. Translated from *Lithologiya i Poleznye*, 5, 125-41.
Kemper, E., 1983: ber Kalt- und Warmzeiten der Unterkreide. *Zittelina*, 10, 359-69.
Kemper, E & H. H. Schmitz, 1975. Stellite nodules from the Upper Deer Bay Formation (Valanginian) of Arctic Canada. *Geol. Survey. Can. Pap.* 75-1C, 109-119.
Kemper, E & H.H.Schmitz, 1981. Glendonite-Indikatoren des Polarmarinen Ablage-

rungsmilieus. *Geol. Rundschau* 7 0, 759-73.

- King, C., 1878: Report of the Geological Exploration of the Fourtieth Parallel, 1, 488 e.v.
Marland, G., 1975: Stability of calcium carbonate hexahydrate (ikaite) *Geochim Cosmochim. Acta*, 39, 83-91.
Pauly, H., 1963 a: 'Ikaite', a new mineral from Greenland. *Arctic*, 16, 263-4.
Pauly, H., 1963 b: Ikaite Nytt mineral der danner skaer. *Naturens Verdn*, June 1963, 168-171. & 186-192.
Pelouse J** 1831. *Ann. Chim. Phys.* 48, 311.
Radbruch, D.H., 1957: Hypothesis regarding the origin of the thinolite tufa at Pyramid Lake, Nevada. *Bull. Geol. Soc. Am.* 68, 1683-8.
Rose, G. **, 1841: *Poggendorff's Annalen*, LIII, 144.
Russell, I.C., 1883: Sketch of the Geological History of Lake Lahontan, a Quaternary Lake of northwestern Nevada. *U.S. Geological Survey*, 3d Ann.Report for 1881-1882, 189-235.
Shibuya, M., A study of gen'no-ishi: its mode of occurrence, form and texture. *Journ. Geol. Soc.Japan*, 83, 19-26 (in het Japans).
Smith, D.B., 1981: (in Neale, J. & Flenley, J. eds.) *The Quaternary geology of the Sunderland district, N.E. England*, Quaternary in Britain, Pergamon Press, Oxford, 146-67.
Spencer, A.M., 1971: Late Precambrian glaciation in Scotland. *Mem. geol. Soc. Lond.*, 100p.
Stacy, H. R. & D.R.Grant, 1974: Tidal muds reveal mineral curiosity. *Can. geogr. J.*, 88, 36-38.
Stein, C. & A. J. Smith, in press. Short lived carbonate crystals found at Site 583. *DSDP Reports* Leg 87.
Suess, E., W. Balzer, K.F. Hesse, P.J. Müller, P.J. Ungerer, & G. Wefer, 1982: Calcium Carbonate Hexahydrate from Organic-Rich Sediments of the Antarctic Shelf: Precursor of Glendonites. *Science*, 1216, 1128-31.
Trechmann, Ch. O. 1901: ber einen Fund von ausgezeichneten Pseudogaylussit (Thinolit-Jarowitz-) Krystallen. *Zeitschrift für Kristallographie*, XXV Band, 3 Heft, 283-5.
Woolnough, W. G. & H. G. Foxall, 1905. Occurrence of the Pseudomorph Glendonite in New South Wales, Part II, *New South Wales Geol.Survey Records*, VIII, Part 2, 162-172.

Geovaria

Veel ijzer in de Aarde

De meeste wetenschappers zijn van mening, dat de vorming van ons Zonnestelsel min of meer tegelijkertijd heeft plaatsgevonden, zo'n 4,5 miljard jaar geleden. Zowel de Zon als haar planeten zijn waarschijnlijk uit één grote oernevel ontstaan. Een logische gedachtengang hierbij is, dat de oorspronkelijke samenstelling van alle leden van het Zonnestelsel dan ook gelijk is geweest. Dit meent men af te kunnen leiden uit de samenstelling van meteorieten. Met name de zogenaamde chondrieten dienen hiervoor als maatstaf. Recent spectroscopisch onderzoek van de Zon toont aan, dat er toch wel significante verschillen

bestaan tussen de verhouding van de elementen ijzer en silicium en calcium en aluminium. Vergeleken met de chondritische meteorieten, is hiervan op de Zon zo'n 30 tot 40% meer aanwezig. Aangezien deze zware elementen niet in de Zon zelf gevormd worden, moeten zij al vanaf het begin in de oernevel aanwezig zijn geweest. Dit zou betekenen, dat de steenmeteorieten geen goed samenstellingsbeeld geven van de oorspronkelijke oernevel. Gezien de lange tijdperiode, sinds het ontstaan van het Zonnestelsel, is het natuurlijk mogelijk dat de samenstelling van de chondrieten iets is gewijzigd. Ook zou het mogelijk zijn dat deze kosmische steenbrokken op een heel andere plaats in de oernevel

zijn ontstaan. Kortom een hoop onzekerheden. Onderzoeker Don Anderson van het California Institute of Technology (USA), heeft met behulp van de nieuwe verhoudingen van de elementen waaruit de oerwolk heeft bestaan, de samenstelling van de Aarde opnieuw berekend. Zijn conclusie is, dat de aardmantel ca. 15% meer ijzer moet bevatten dan tot dusver is aangenomen. Hier komt nog bij, dat de structuur van het binnenste van de Aarde in samenhang met de nieuw gevonden samenstelling beter overeen stemt met de resultaten van seismische waarnemingen.

New Scientist, maart 1989

