

Literatuur

Breck, D.W. (1974) *Zeolite Molecular Sieves*, Wiley-Interscience, New York, 771 p.

Doornveld, H.Y. (1987) Enkele mineraalvoorkomens in de Eifel, Themanummer De Eifel, *Gea* 20 (1987), 32-36.

Meier, W.M. (1968) *Zeolite structures*, in *Molecular Sieves*, Society of Chemical Industry, London, 10-27.

Vries, W.C.P. de (1977) Vulkanen in de Eifel, themanummer Laacher See, *Gea* 10 (1977), 2-5.

Vries, W.C.P. de (1987) Het vulkanisme van de Eifel, *Gea* 20 (1987), 27-31.

Van Tichelen, W. (1983) Zeolieten; speciaal nummer van *Geonieuws*, 8 (1983), nr. 10.

Fossiele algen, stromatolieten en wat daarmee samenhangt

deel II: Stromatolieten

door W.P.N. Vlasveld en
Annyta F. Vlasveld-Pijlman

Over stromatolieten zijn al veel congressen gehouden en boeken geschreven, waaruit naar voren komt dat men het lang niet altijd met elkaar eens is.

Een belangrijke oorzaak hiervan is de gebruikte terminologie, die vaak aanleiding geeft tot verwarring en onbegrip, om te beginnen al bij het omschrijven van het begrip stromatoliet. Vaak is het niet eens duidelijk wat een onderzoeker eigenlijk onder stromatoliet verstaat in het artikel dat hij publiceert.

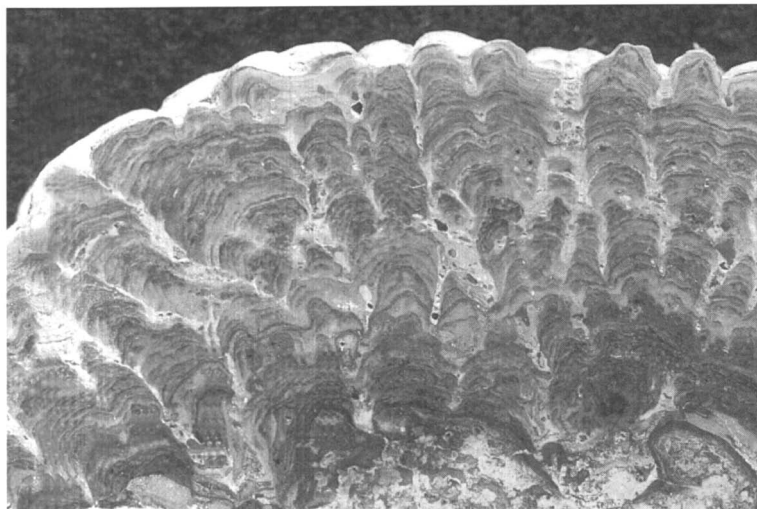
Stromatoliet wil zeggen "gelaagd gesteente", maar uiteraard zijn lang niet alle gelaagde gesteenten stromatolieten. Afb. 1. Het definiëren van het fenomeen stromatoliet kan van twee kanten benaderd worden: een beschrijving van 1. het gesteente zelf en 2. de oorzaak van zijn ontstaan. In de loop der jaren werden regelmatig nieuwe resultaten van onderzoekingen gepubliceerd, die het noodzakelijk maakten de definitie drastisch te herzien.

Het is interessant eerst een historisch overzicht te geven.

Historie

In 1825 beschreef **Steele** een oölitische formatie in Cambrijsche kalksteenafzettingen van Greenfield bij Saratoga Fields in de staat New York (USA). Het betrof een halve meter dikke laag, waarin veel kalkconcreties voorkwamen met een eigenaardige structuur. Afb. 2. De meeste waren halfbolvormig, maar sommige ook bolvormig, met een diameter variërend van 1,5 cm tot 60 cm. De sedimenten waren opgebouwd uit een aantal lagen die min of meer parallel liepen, bestaande uit kalksteen en dolomiet. Dit was in feite de eerste beschrijving van een geologisch fenomeen, dat van Kalkowsky in 1908 de naam stromatoliet kreeg.

In 1847 beschreef **Hall** soortgelijke structuren, die volgens hem op zeeplanten leken. Enige tijd later (1883) wees hij op de onregelmatige concentrische lagen, die hem aan stromatoporen deden denken, maar dat beslist niet waren. Daarom stelde hij de naam *Cryptozoön* voor (Grieks voor "verborgen dier") als veroorzaker van het verschijnsel. Dit type stromatoliet - want dat was



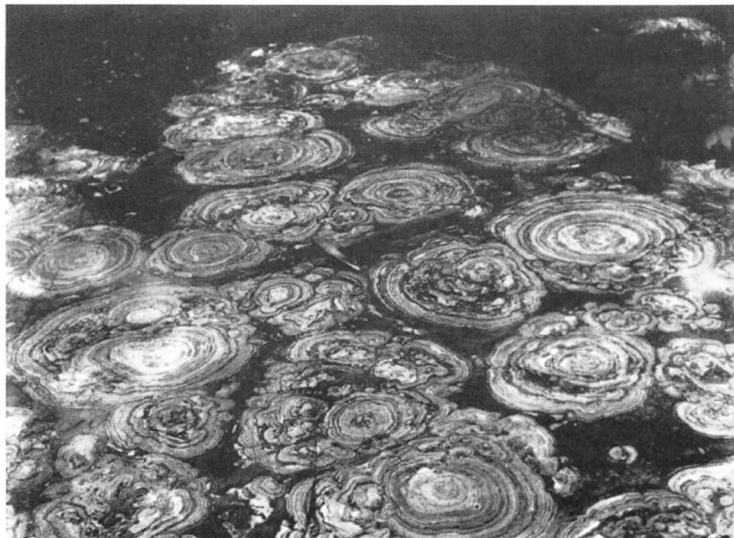
Afb. 1. Gelaagde opbouw bij een stromatoliet van Thüste, Weserbergland (Dld.) Ouderdom: Malm (Boven-Jura). Afm. 71 x 45 mm. Foto P. Stemvers.

het namelijk - is tegenwoordig bekend onder de naam *Cryptozoön proliferum*.

Gürich (1906) verwierp alle veronderstelde oorzaken. Hij voerde een nieuwe familie van de **Protozoa** (Eencelligen) in, genaamd Spongiostromataceae. Deze protozoën zouden de oorzaak zijn van deze typische, concentrische structuren. De naam **Spongiostromata** bleef in de geologische literatuur gehandhaafd om algenstructuren aan te duiden zonder organische overblijfselen. Algenstructuren met organische resten kregen de naam **Poro-stromata**.

Zoals gezegd introduceerde **Kalkowsky** de naam stromatoliet. Dit naar aanleiding van verschijnselen in oölitische kalkafzettingen in de Bontzandsteen (Onder-Trias), de bekende *Rogenstein*, die op verschillende plaatsen noordoostelijk van de Harz, o.a. in de Elm, voorkomt. Hij dacht aan mossen en blauwgroene algen als oorzaak.

Walcott (1914) vergeleek Proterozoische stromatolieten van de Belts Series in Montana (Canada) met zgn. "algenballen"



Afb. 2. Rif, opgebouwd uit **Cryptozoon proliferum**. Cambrium; Saratoga Fields, New York, USA. (Uit: W. Goldring, 1938: *Algal Barrier Reefs in the Lower Orzarkian*.)

tengevolge van activiteiten van microbiële matten, die door hun morfologie, fysiologie en rangschikking in ruimte en tijd een wisselwerking hebben met een fysisch-chemisch milieu, om een gelaagd patroon te vormen dat in de uiteindelijke gesteentestructuur bewaard is gebleven". Dit is een ingewikkeld verhaal, maar kort samengevat komt het erop neer dat stromatolieten géén fossielen zijn, maar sedimentaire kalkstructuren, ontstaan door het vangen, neerslaan en vastleggen van sediment in matten, gevormd door micro-organismen, voornamelijk cyanobacteriën, die zelf ook nog kalk kunnen afscheiden.

Microbiële matten

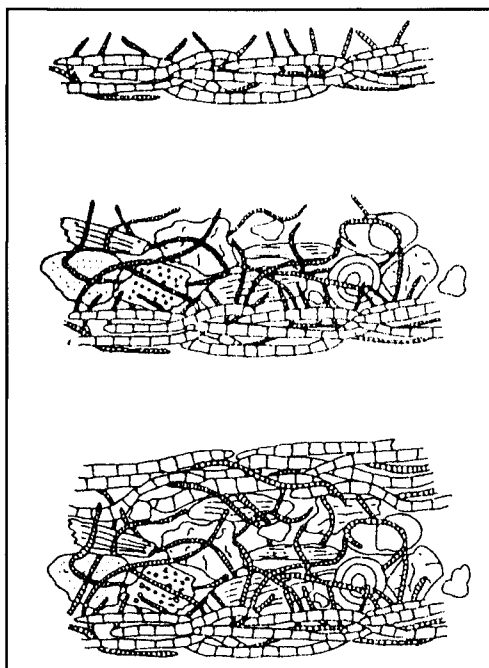
De microbiële matten werden vroeger - en nu nog wel - "algenmatten" genoemd, omdat men dacht dat ze uitsluitend uit blauwgroene algen bestonden. Ze bestaan voornamelijk uit filamenten - ketens van cellen (trichomen), omgeven door een gelatineuze schede van polysacchariden - van cyanobacteriën. Slechts bij uitzondering maken schimmels en eukaryotische algen er deel van uit; diatomeeën kunnen echter wel een belangrijke rol spelen.

Recent komen ze over de gehele aarde voor, van de equator tot de beide polen, variërend in grootte van enkele vierkante centimeters (in thermale bronnen) tot enkele vierkante kilometers. Ook kan hun dikte sterk variëren: meestal zijn het dunne films van enkele millimeters, maar er komen ook massieve accumulaties voor van meer dan een meter, zoals in de Perzische Golf. Deze gezelschappen van organismen groeien op het scheidingsvlak van sediment en water, tezamen met hun stofwisselingsproducten - een slijmerige laag van polysacchariden (suikers) - die de mat bijeenhouden. Afb. 3.

Deze slijmerige matten vangen grote hoeveelheden anorganisch materiaal (sediment) op, een proces dat dag en nacht doorgaat. De cyanobacteriën zijn alleen overdag actief, aangezien zij van licht afhankelijk zijn. Zij groeien en kruipen dan door de 's nachts gevormde laag sediment heen en vormen weer een nieuwe mat. Hierdoor ontstaat de kenmerkende gelaagdheid van de stromatolieten: het ene laagje bevat voornamelijk sediment, het andere

laagje sediment met organisch materiaal, afkomstig van de cyanobacteriën. De laagjes waaruit een stromatoliet is opgebouwd worden **stromatoiden** genoemd.

Zoals reeds gezegd kunnen cyanobacteriëndraden via een glijdende beweging door het sediment dringen. Bepaalde soorten die veel in de matten voorkomen, zoals *Microleus chthonoplastes*, vormen bundeltjes filamenten die door een gemeenschappelijke slijmschede zijn omgeven. Bij het omhoog bewegen blijft deze slijmschede in het sediment achter. Afb. 4. Het overwegend organische laagje



Afb. 3. Dag/nacht-ritme bij recente stromatolietvorming door microbiële mat:

boven: gedurende de dag verticale groei van **Schizotrix**-filamenten naar het licht; midden: idem, met opvang van sediment; onder: gedurende de nacht horizontale groei van **Oscillatoria**-filamenten met binding van sediment. Naar Gebelein

(biscuits), die in het Meer van Michigan waren gevormd. Hij vond inderdaad in de gesilicificeerde lagen van de Proterozoïsche stromatolieten organismen, die sterk op blauwgroene algen leken. Zijn conclusie was dat de stromatolieten gevormd werden door blauwgroene algen die kalk afscheidten, zoals tegenwoordig in een zoetwatermilieu plaats vindt. Hij beschreef verschillende vormen van Proterozoïsche stromatolieten, die hij met de binominale nomenclatuur van Linnaeus aanduidde, zoals *Collenia* en *Newlandia*, namen die nog steeds voor bepaalde typen stromatoliet worden gebruikt.

Sedert die publicatie kwam veel onderzoek op gang.

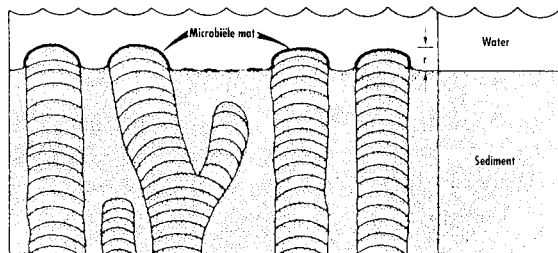
Black (1933) kwam tot een drietal stellingen: stromatolieten zouden ontstaan als een product van mechanische sedimentatie in "algenmatten", die zich in de getijdenzones van marien en brak water bevinden. De kalk zou niet van algen afkomstig zijn, maar was uitsluitend sediment. Ook silt, zand en slib zouden aan dit sedimentatieproces deelnemen. Hij beschreef een aantal typen algenmat die zich onder verschillende milieu-omstandigheden gevormd hadden, waaraan hij de conclusie verbond dat de vorm van de stromatolieten werd bepaald door het milieu.

Ginsburg (1955) wees als eerste op de recente stromatolietvorming, zoals die in de hypersaliene lagune van de Hamelin Pool van de Shark Bay in West-Australië plaats vindt, analoog aan de Proterozoïsche stromatolieten. Sindsdien vindt daar veel onderzoek plaats, o.a. door **Logan** en

Walter, wat veel nieuwe inzichten heeft opgeleverd. Zo blijkt dat stromatolieten ook onder de getijdenzone worden gevormd, zelfs op grote diepte. Verder bleek dat ook de samenstelling van de "algenmatten" invloed had op hun vorm en dat niet uitsluitend cyanobacteriën meededen, maar ook een groot aantal andere bacteriën. Het is dus juist te spreken van **microbiële mat** in plaats van algenmat.

Definitie

Het ligt voor de hand dat de definitie van "stromatoliet", gezien het vele onderzoek, in de loop der tijden nogal eens moest worden bijgesteld. Men wil de "klassieke" stromatoliet duidelijk onderscheiden van andere organische kalkstructuren en tevens zowel het gesteente als de oorzaak duidelijk beschrijven. Een van de laatste definities in de literatuur is die van **Krumbein** (1983) en luidt: "stromatolieten zijn gelaagde gesteenten (sedimenten), ontstaan



Afb. 4. Schematische voorstelling van het ontstaan van zuilvormige stromatolieten. Naar Hofmann.

verdwijnt echter in de loop der tijden, tenzij gelijktijdig met het groeien van de mat silicificatie optrad, waardoor het in vuursteen (*chert*) bewaard bleef. Helaas heeft dit slechts in een beperkt aantal gevallen plaatsgevonden, met als gevolg dat er zo weinig fossielen in stromatolieten worden aangetroffen.

In warmwaterbronnen van het Yellowstone National Park (USA), met watertemperaturen tot 59 °C, worden de matten gedomineerd door de draadvormige cyanobacterie *Phormidium tenue* var. *grandiferum*, tezamen met de bacterie *Chloroflexis aurantius*. Deze mat is de "bouwer" van de bekende stromatolietvorm "Conophyton", een puntige, rechtop staande constructie. Deze stromatolietvorming heeft men in het laboratorium in een petrischaal kunnen nabootsen.

Ontstaan van stromatolieten

Stromatolieten kunnen uitsluitend onder bepaalde omstandigheden worden gevormd:

- het milieu moet geschikt zijn voor de groei van de juiste micro-organismen;
- de groeisnelheid van deze matvormende organismen moet groter zijn dan hun afbraak, zoals door grazende en borende organismen en eroderende krachten, bijvoorbeeld stormen;
- er moet voldoende sedimentatie zijn;
- er moet niet te veel sedimentatie zijn, anders sneeuwt de mat onder en verstikt.

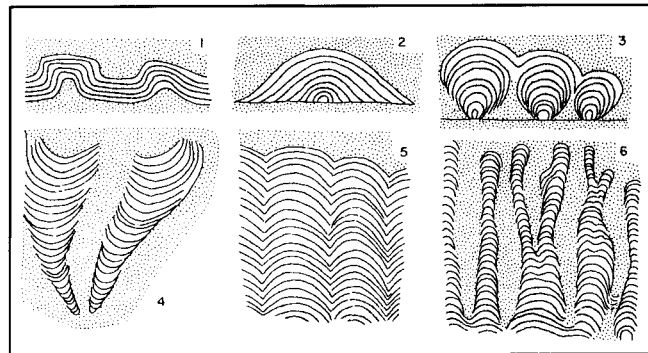
Vormen

De vorm van stromatolieten kan zeer verschillend zijn: koepelvormig, zuil- en kolomvormig, omgekeerd kegelvormig, bloemkoolachtig, de kolommen kunnen vertakt zijn, etc. Ook hun afmetingen variëren sterk: van enkele millimeters tot exemplaren met een hoogte van 20 meter en een lengte van 80 meter. Afb. 5. De groeisnelheid van de stromatolieten in de Shark Bay (Australië) bedraagt ongeveer 1 mm per jaar; er zijn echter talrijke exemplaren die niet meer groeien of zelfs kleiner worden tengevolge van erosie door voortdurende golfslag.

De meeste stromatolieten zijn samengesteld uit calcium- en magnesiumcarbonaten, maar ook wel uit vuursteen (*chert*), ijzer- en mangaanzouten, opaal en kwartszand.

Wat bepaalt de vorm?

Volgens Black zou de uiteindelijke vorm van de stromatolieten door het milieu worden bepaald. Uit het onderzoek in de Shark Bay kwam echter naar voren dat ook het type mat een belangrijke rol speelt en wel de biologische samenstelling daarvan. Daar werden zeven typen mat aangetroffen, waarvan slechts drie stromatolieten vormden; een vlakke mat, een puistvormige - beide in de getijdenzone - en een colloforme mat, die onder de getijdenzone voorkwam. De dominerende soorten van deze matten waren respectievelijk *Entophysalis maja*, *Schizotrix helva* en *Microcoleus tennerrimus*. Op de sublitorale shelf werden tot ongeveer twee meter onder het gemiddelde zeeniveau door hetzelfde colloforme mattype stromatolieten met verschillende vormen opgebouwd. Het omgekeerde werd ook waargenomen: verschillende



Afb. 5. Verscheidenheid van vormen bij stromatolieten: 1. *Weedia* (Walcott); 2. *Collenia* (Walcott); 3. *Cryptozoon* (Hall); 4. *Cryptozoon boreale* (Dawson); 5. *Archaeozoon* (Matthew); 6. *Gymnosolen* (Steinmann). Naar J. Pia, 1927.

matttypen vormden eenzelfde stromatoliet!

Het is dus niet de ene of de andere oorzaak, maar beide factoren zijn vormbepalend. Immers de biologische samenstelling van de microbiële matten hangt onder meer af van de heersende milieu-omstandigheden zoals licht, aanwezigheid van zuurstof, golfslag, chemische samenstelling en zuurgraad van het water. Het staat nu wel vast dat een samenspel van milieu- en biologische invloeden de vorm en de structuur van de stromatolieten bepaalt. De grove vorm wordt door het milieu bepaald, met name door de waterbeweging, terwijl de microstructuur en de gelaagdheid gerelateerd zijn aan de aard van de microbiële mat. De gelaagdheid van de stromatolieten geeft informatie met betrekking tot de oorspronkelijke microbiële matten die hen hebben gevormd.

Stromatolieten in de loop der tijden

Precambrium

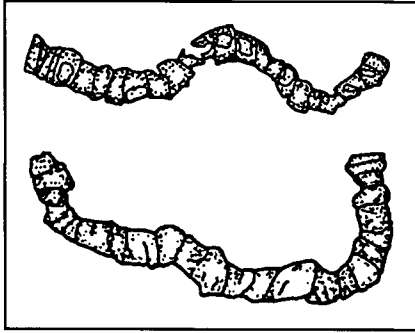
Zeker 3,5 miljard jaar geleden was de zeebodem reeds pleksgewijs bedekt met microbiële matten; zij lieten stromatolieten voor het Geologisch Archief achter. Zij bouwden riffen zoals tegenwoordig koralen en algen doen en namen deel aan de opbouw van het continentale plat. Deze matten waren zeldzaam en eenvoudig van vorm. De Vroeg- en Midden-Archeïsche matten waren waarschijnlijk opgebouwd uit anaerobe, fototrofe bacteriën inclusief cyanobacteriën. Het blijft echter nog steeds moeilijk deze organismen goed te definiëren. Willen zij als "fossiel" erkend worden, dan moeten zij voldoen aan een aantal criteria:

1. zij moeten aanwezig zijn in de door hen gevormde stromatoliet;
2. er moeten microscopisch zichtbare celstructuren aanwezig zijn en
3. er moet kerogeen aanwezig zijn, dat is organisch gevormde koolstof; dit is aan te tonen met behulp van koolstofisotopen.

Van de 43 meldingen van fossielen uit het Archeïcum (4000-2500 Ma) blijken slechts vier aan de gestelde criteria te voldoen. Ze zijn afkomstig van twee lokaties: de Apex-Basalt en de Towers Formatie van de Warrawoona Groep, onderdeel van de Pilbara Supergroep in West-Australië, ongeveer 3,4 à 3,5 miljard jaar oud en van de Kromberg Formatie van de Onverwacht Groep, onderdeel van de Swaziland Supergroep in Zuid-Afrika, eveneens ongeveer 3,5 miljard jaar oud.

Uit deze vondsten heeft men kunnen vaststellen dat er tenminste 3,5 miljard jaar geleden reeds fototrofe stromatolietvormende organismen waren.

In het Laat-Archeïcum begon de verdere ontwikkeling van de stromatolieten. Ze namen in aantal toe en hun vormverscheidenheid werd groter. Deze ontwikkeling zette zich voort in het gehele Proterozoïcum (2500-570 Ma), vermoedelijk doordat de cyanobacteriën meer zuurstof in de atmosfeer brachten en de organismen zich verder ontwikkelden.



Afb. 6.
Tekeningen van
microfossielen in
slijpplaatjes van
de Apex-chert
(Vroeg-Archei-
cum), West-
Australië, die
sterke gelijkenis
vertonen met
recente cyano-
bacteriën.
Afm. $\pm 0,05$ mm.
Naar Schopf.

Er verschenen steeds meer stromatolietvormen, zoals de karakteristieke kegelvormige *Conophyton*, evenals vertakte vormen. Uit dit eon zijn weinig kalksteenafzettingen zonder stromatolieten bekend. Zij bereikten hun climax, zowel wat hun aantallen als vormdiversiteit betreft, in het Midden- en Laat-Proterozoïcum. Er zijn uit die tijden wel 180 vormgenera bekend. Talrijk zijn dan ook de meldingen van fossielvondsten afkomstig uit Proterozoïsche stromatolieten. Momenteel zijn er meer dan 1100, waarvan de meeste als "echt fossiel" erkend zijn.

De meeste gevonden organismen zijn benthische, kolonie-vormende ééncelligen, gelijkende op de huidige *Chroococcales* en draadvormige soorten als de huidige *Oscillatoriales*. Afb. 6. De sterke toename in diversiteit van de stromatolieten ongeveer 1700 Ma geleden wordt toegeschreven aan de komst van eukaryotische algen, die ook deel gingen uitmaken van de matten. Omstreeks 675 Ma geleden ondergingen de stromatolieten een sterke terugval, zowel in diversiteit als in aantallen. Algemeen wordt verondersteld dat het verschijnen van de eerste Metazoa hiervan de voornaamste oorzaak is. De microbiële matten werden vanaf die tijd beschadigd door grazende en borende organismen. Ook andere oorzaken zouden echter een rol gespeeld kunnen hebben. Tengevolge van het verschijnen van steeds meer organismen met een harde schaal verminderde het calciumgehalte van het zeewater, zodat er minder sediment voor de vorming van stromatolieten overbleef. Ook de concurrentie met macroalgen om een plaats in het milieu, wordt wel als oorzaak aangevoerd, evenals sterke temperatuursdalingen die zich omstreeks die tijd hebben voorgedaan.

Fanerozoïcum

Tijdens het begin van het Fanerozoïcum ging de stromatolietvorming nog wel enige tijd door, hoewel toen overwegend **thrombolieten** gevormd werden; dat zijn stromatolieten zonder gelaagdheid. Verondersteld wordt dat verandering in de samenstelling van de microbiële matten hiervan de oorzaak geweest is. Tegelijkertijd met het verschijnen van de eerste Metazoa met kalkschalen verschenen namelijk cyanobacteriën die zélf kalk kunnen afscheiden. Zij gingen deel uitmaken van de microbiële matten. Sedert die tijd worden er dan ook gecalcificeerde filamenten, afkomstig van die kalkalgen, in de thrombolieten aangetroffen.

Waren tot het Cambrium de cyanobacteriën de enige rifbouwers, vanaf het Cambrium koloniseerden archeocyaten, stromatoporen en tabulate korallen grote delen van de zeebodem; zij werden de belangrijkste rifbouwers.

De rol van de cyanobacteriën werd beperkt; ze werden begeleidende organismen, vormden onkoiden en overkorstingen.

Hoewel er tijdens het Cambrium en het Vroeg-Ordovicium onder gunstige omstandigheden nog stromatolietvorming plaatsvond, veroorzaakte de massale ontwikkeling van de Metazoa tijdens de rest van het Ordovicium wederom een sterke achteruitgang. Na die tijd zijn voorkomens van stromatolieten zeldzaam.

Afb. 7. Overzicht van een recent stromatolietvoorkomen in de Shark Bay, West-Australië. Foto: Schopf.

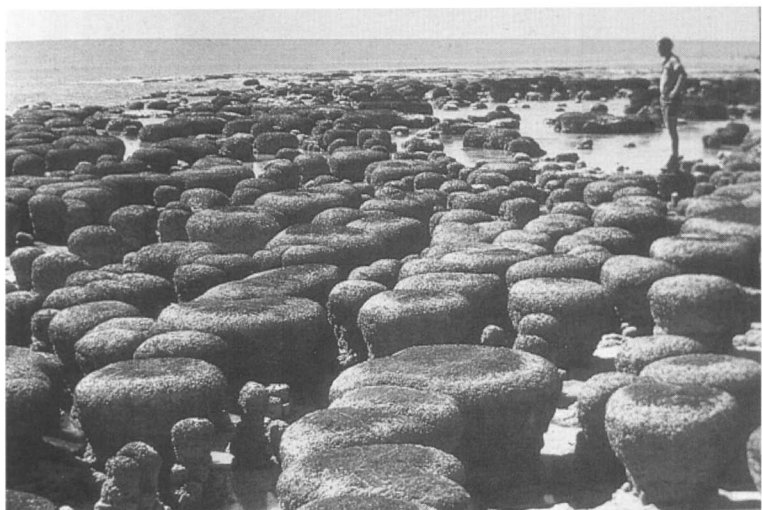
Recent

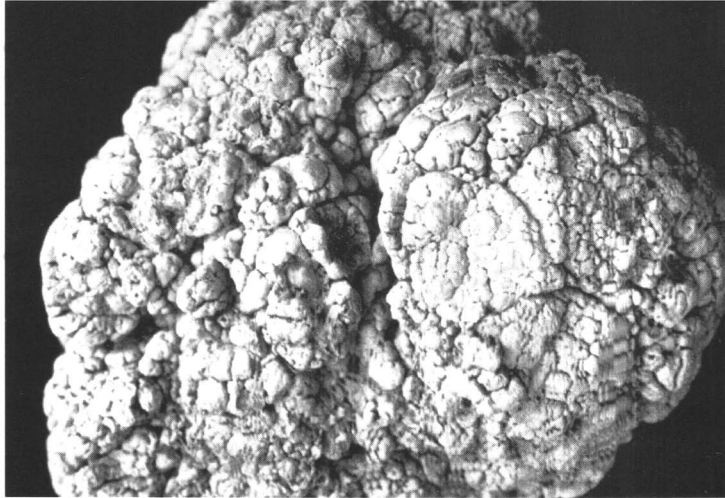
Recent vindt nog uitsluitend stromatolietvorming plaats waar bacteriën, cyanobacteriën en algen betrekkelijk ongestoord kunnen leven, zoals in hypersaliene wateren, in heetwaterbronnen en op diepzeebodems. Afb. 7.

Tegenwoordig bestaan de microbiële matten niet meer uitsluitend uit bacteriën en cyanobacteriën, maar zijn het gecompliceerde systemen geworden, waarbij ook eukaryotische algen en zelfs Metazoa zijn betrokken. Dit wordt ook waargenomen in de Shark Bay, waar ondanks het hypersaliene karakter van het zeewater - in tegenstelling tot wat vaak in de literatuur wordt vermeld - een groot aantal dieren actief is, zoals vissen, wormen, foraminiferen en diverse mollusken. Er bestaat een evenwichtig systeem, waarbij de matten intact blijven.

De evolutie van de stromatolieten is in de loop der tijden afhankelijk geweest van de evolutie van de benthische organismen die hen vormden. In detail is het echter een ingewikkeld samenspel tussen organismen en milieu dat nog steeds niet geheel duidelijk is.

Behalve de recente stromatolietvorming in de Shark Bay (West-Australië) vindt deze nog slechts op enkele plaatsen over de wereld plaats, o.a. in de Perzische Golf en in het Caribische gebied. Activiteit van microbiële matten kan ook dicht bij huis worden waargenomen, namelijk in de Waddenzee op plaatsen met een zeer vlak verloopende getijdenzone, of op plaatsen die zelfs bij vloed vaak niet onder water komen te staan. De matten aldaar bestaan voornamelijk uit cyanobacteriën, waarvan de draadvormige *Oscillatoria limosa* wel de belangrijkste is. Aangezien deze soort een goede stikstofbinder is, kan hij het wad goed koloniseren. In een later stadium zijn andere soorten in de mat belangrijker, zoals *Microcoleus chthonoplastes* en de spiraalvormige *Spirulina*. Deze zorgen voor een viltige mat. Kenmerkend voor *Microcoleus* is dat bij deze soort bundeltjes filamenten door een slijmschede omhuld zijn, waardoor hij goed tegen uitdrogen bestand is. Dergelijke microbiële matten vangen sediment, dat in dit geval fijn zand is, dat door water en wind aangevoerd en in de mat vastgelegd wordt. Nieuwe filamenten groeien steeds weer door het neergeslagen sediment heen, waardoor een sediment met veel organisch materiaal ontstaat. Diverse bacteriesoorten breken dit organische materiaal af, met name de sulfaatreducerende bacteriën. De daarbij gevormde zwavelwaterstof (H_2S) wordt enerzijds gebruikt bij de fotosynthese van de purperen zwavelbacteriën. Met hun paarsrood gekleurd fotosysteem (bacteriofyt en carotenoiden) wordt onder invloed van het licht dat de groene cyanobacteriënmat doorlaat - o.a. infrarood, 800-900 nm - energie geproduceerd onder vorming van zwavel uit de zwavelwaterstof. Deze purperbacteriën vormen een paarsrode laag. Anderzijds reageert zwavelwaterstof met het ijzer dat in dit milieu aanwezig is tot ijzersulfide (FeS) dat slecht oplosbaar is, neerslaat en een typische zwarte kleur aan het wad geeft.





Afb. 8. "Levende steen": recente "stromatoliet" op bryozoën-rif in meertje van Rockanje. Afmeting ± 8 cm.

en hun evolutionaire ontwikkeling. Ook komt er in de literatuur de nodige begripsverwarring voor.

In 1916 introduceerde Heim de term "onkoïde", afgeleid van het Griekse woord *onchos*, dat knol betekent. Hij wilde hiermee omhulde kernen (*coated grains*) aanduiden, die geen oïden zijn. Ze verschillen daarmee in hun opbouw. Om een kleine kern - een steentje of een stukje fossiel - worden door activiteit van organismen laagjes kalk afgezet. Deze laagjes zijn echter niet zoals bij oïden fraai concentrisch om elkaar heen gelegen, maar veel onregelmatiger. Bovendien zijn onkoïden veel groter; hun diameter kan wel 25 à 30 cm bedragen, hoewel ze meestal kleiner zijn. Oïden daarentegen zijn slechts enkele millimeters groot. De meeste oïden zijn rond en hebben vaak een zandkorreltje als kern, terwijl de vorm van onkoïden sterk varieert:

rond, ellipsvormig, nier- en discusvormig, vaak afhankelijk van de vorm die hun kern heeft. Afb. 9.

Tot voor kort werd aangenomen dat onkoïden van biogene oorsprong zijn, terwijl oïden langs chemische weg ontstaan. De laatste tijd wint de gedachte, dat sommige oïden ook van biogene oorsprong kunnen zijn, steeds meer terrein. Om de zaak nog ingewikkelder te maken: soms fungeren oïden als kern voor onkoïden.

Een gesteente dat onkoïden bevat wordt **onkoïet** genoemd, analoog aan **oïet** als gesteente opgebouwd uit oïden.

Naamgeving

De term onkoïde burgerde in Europa snel in, daarentegen niet in de Angelsaksische literatuur. Men vindt daarin talrijke termen zoals *algal balls*, *nodules*, *algal pellets*, *biscuits*, etc. die alle als onkoïden kunnen worden beschouwd.

Onkoïden, dus biogene omkorstingen van kernen, kunnen door verschillende organismen worden gevormd; meestal door cyanobacteriën, zoals bij de bekende *Sphaerocodium*-knollen uit het Siluur van Gotland. Deze worden beschouwd als een product van een samenwerking tussen de cyanobacterie *Rothpletzella* en de foraminifeer *Wetheredella*; het kan echter ook een omkorsing zijn geweest.

Evenals in stromatolieten kunnen in onkoïden al dan niet resten van hun veroorzaker worden aangetroffen; men spreekt dan respectievelijk van **porostromate** en **spongiostromate** onkoïden. Bij de porostromate onkoïden - gevormd door kalkafscheidende zgn. "skeletalg" - is het veroorzakende organisme vaak goed te determineren doordat de verkalkte contouren achterblijven. Ze krijgen dan de naam van hun veroorzaker en men spreekt

Tengevolge van de activiteiten van dit ingewikkelde ecosysteem ontstaat het zgn. *Farbstreifen Sandwatt*: groen - rood - zwart, met daarbovenop een dun laagje geel zandsediment. Indien de omstandigheden voor dergelijke microbiële matten gunstig zijn: geen erosie door storm of ijsgang, geen consumptie en voldoende sediment - kunnen via deze zandplaten tenslotte eilanden ontstaan. Het Duitse eiland Mellum, tegenover Wilhelmshafen gelegen, is daar een mooi voorbeeld van.

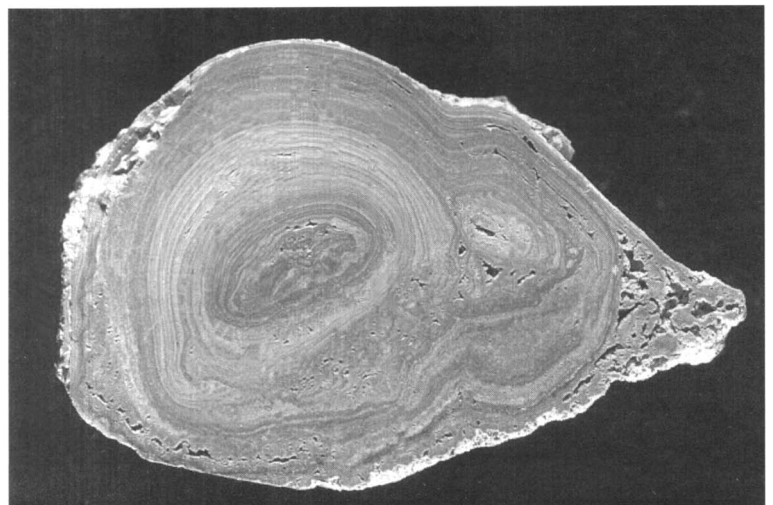
In brakke binnenmeertjes in Zuidwest-Nederland komen - in grootte variërende - bryozoënriffen voor, veroorzaakt door *Crustulenta*. Deze zgn. *ectoproktenriffen* zijn bekend als "levende stenen"; regionale namen zijn kaaskens, palingbrood, ziltsteen, zouterik. Op enkele plaatsen vertonen deze "stenen" een bloemkoolachtige korst van kalk, die op doorsnede een duidelijke gelaagdheid laat zien en wel stromatoliet genoemd wordt. Afb. 8. Hoe deze "stromatolieten" precies gevormd worden, is nog steeds niet geheel duidelijk. Twee processen kunnen hier een rol spelen. Er worden matten van cyanobacteriën waargenomen, waarvan de draadvormige *Lyngbya semiplana* en de klauwvormende *Lyngbya nana* de belangrijkste zijn. Vangen deze matten sediment erend kalk uit het water en leggen zij dat vast in hun matten, of scheiden ze zelf kalk af, dan is er sprake van een echte stromatoliet. Het kan echter ook zijn dat tengevolge van de fotosynthese door de cyanobacteriën - waarbij kooldioxide (koolzuur) uit het water opgenomen wordt - kalk uit het met kalk verzadigde water neerslaat. In dat geval kan beter van een "tufa" gesproken worden. Verondersteld wordt dat beide processen plaatsvinden.

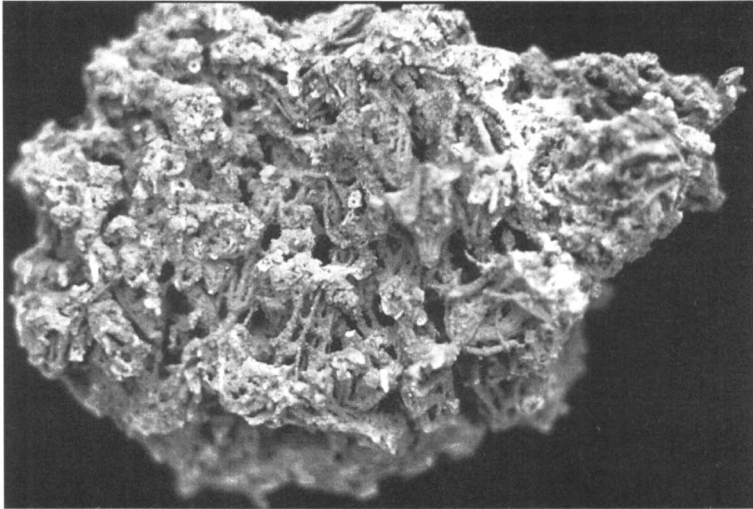
Onkoïden

Vaak wordt volstaan met de mededeling dat onkoïden stromatolieten zijn, die vrij op het substraat liggen; stromatolieten zitten daarop vast. Ze worden gevormd op de bodem van ondiepe zeeën en zoetwatermeren door gehavende microbiële matten van voornamelijk cyanobacteriën, die rondom een kern opgevangen sediment neerslaan of zelf-afgescheiden kalk. In de getijdenzone of daar vlak onder worden ze door de waterbeweging heen en weer bewogen, tengevolge waarvan rondom de kern min of meer regelmatige lagen kalk worden gevormd. De opbouw van onkoïden kan echter ook zeer onregelmatig van structuur zijn. In zoetwatermeren zorgen instromende rivieren en wind voor de waterbeweging.

Ten opzichte van stromatolieten is er relatief minder onderzoek verricht, zowel met betrekking tot hun ontstaan als omtrent het milieu waarin ze voorkomen

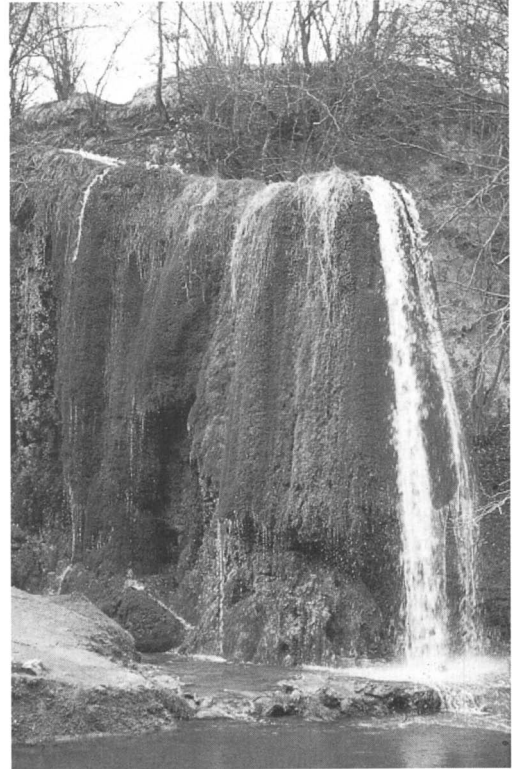
Afb. 9. Onkoïde uit Stenhouse Bay, Zuid-Australië, Holoceen (Subrecent), afm. 85 x 55 mm, foto P. Stemvers.





Afb. 10. Travertijn-afzetting rondom kranswieren (*Charophyceae*); Bad Langensalza (Dld.); afm. 14 x 7 cm.

Afb. 11. (Rechts) Vorming van travertijn door ontsnapping van CO_2 uit bergwater, in de omgeving van Ahütte (Dld.)



bijvoorbeeld van *Girvanella*-onkoiden. De spongiostromate onkoiden - veroorzaakt door "skeletloze algen", die uitsluitend sediment opvangen en neerslaan - worden vaak aangeduid met de binominale nomenclatuur van Linnaeus, hoewel ze vanzelfsprekend geen organismen zijn. Regelmatig komt men in de literatuur geslachtsnamen als *Osagia* en *Pycnostroma* tegen.

Riding wil de onkoiden indelen volgens de aard van zijn verwekker. Worden ze gevormd door kalkafscheidende cyanobacteriën, dan zou men van "cyanoiden" moeten spreken, zoals "rhodoiden" door rode algen worden gevormd. Voor de sporadische gevallen dat een groene alg een rol speelt wordt de term "chloroide" voorgesteld.

Recente onkoiden

Aangezien tegenwoordig ongeveer 80% van de cyanobacteriën in zoet water leeft, worden recente onkoiden voornamelijk daar aangetroffen, zoals in het Bodenmeer en het Meer van Michigan. Ze zijn enkele centimeters groot.

Er worden twee typen onderscheiden: gladde, harde, veroorzaakt door *Schizothrix*, en zachte, sponsachtige, meestal gevormd door *Phormidium* in samenwerking met *Calothrix* en andere cyanobacteriën. Het zijn alle draadvormige soorten, behorende tot de families Oscillatoriaceae en Rivulariaceae.

Ook in marien, hypersalien en brak water worden nog wel onkoiden gevormd, maar er zijn geen recente cyanobacteriën die in marien water kalk kunnen afscheiden.

Fossiele onkoiden

Daarentegen kwamen in het Fanerozoïcum vanaf het Cambrium tot ongeveer Midden-Krijt kalkafscheidende cyanobacteriën overvloedig voor in marien water. De bekendste soort is *Girvanella*, vanaf het Midden-Ordovicium, waarvan de type-lokaliteit ligt bij het plaatsje Girvan in zuidwest Schotland, vandaar de naam.

Andere bekende onkoiden (cyanoiden) worden gevonden in het Onder-Carboon van Engeland, zoals *Ganwoodia* en *Ortonella*. Volgens **Peryt** zouden porostromate onkoiden hun bloeitijd hebben gehad vanaf het Cambrium tot de Jura, waarna de spongiostromate onkoiden de overhand kregen. Vanaf het Krijt en vooral in het Tertiair hebben deze weer plaats moeten maken voor rhodoiden, die door rode algen worden gevormd.

Onkoiden komen in Europa op grote schaal voor, o.a. in Frankrijk, met name in de Provence, in Spanje o.a. in de omgeving van Tremp, in Griekenland, in de Dinarische Alpen van Kroatië en in Slovenië.

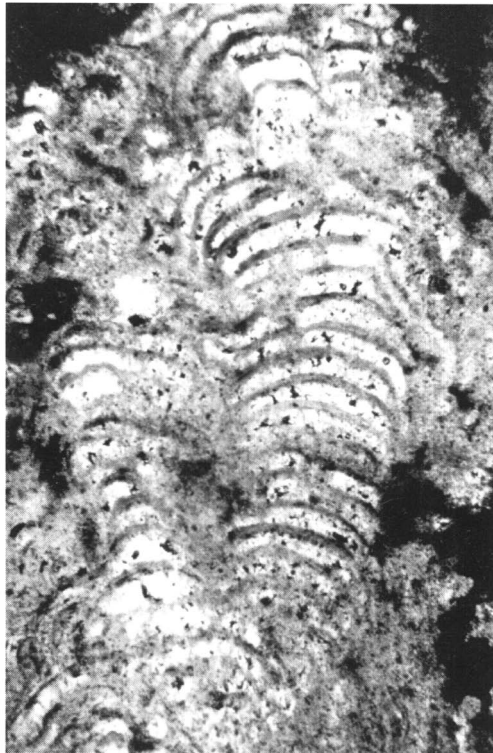
Organisch of anorganisch?

De hierboven beschreven organogene vorming van stromatolieten wordt door de meeste geologen als de juiste beschouwd. Er is echter een meer dan 50 jaren oude discussie over de vraag of de oude stromatolieten mogelijk van anorganische oorsprong zouden kunnen zijn. Een recent Amerikaans onderzoek deed deze discussie weer opleven. Daaruit bleek, dat dit inderdaad mogelijk is tengevolge van een samenspel van een viertal abiotische processen. Dit houdt echter niet in dat de oude stromatolieten werkelijk abiotisch zijn. Dit lijkt zelfs onwaarschijnlijk aangezien in vrijwel alle oude stromatolieten bij nauwkeurige microscopische analyse restanten van organismen zijn aangetroffen.

Travertijn

Er moet nog worden gewezen op bepaalde kalkconstructies die geheel op anorganische wijze - meestal chemisch - gevormd zijn, dus zonder dat een of ander organisme een rol heeft gespeeld. Deze structuren ontstaan tengevolge van het neerslaan van kalk (calciumcarbonaat) uit een met kalk oververzadigd, koolzuurrijk zoet water. In zuiver water is kalk slecht oplosbaar; bij 25 °C bevat het ongeveer 50 milligram per liter. Is het water kouder, bevat het zuren en/of staat het onder druk, dan kan het veel meer kalk bevatten, zoals grondwater in kalkrijke bodems. Tengevolge van de ademhaling van de bodemfauna en plantenwortels en door ontleding van humus ontstaat koolzuur (kooldioxide), dat in het grondwater oplost, zodat dit veel meer kalk kan bevatten, vooral als het ook nog onder druk staat. Komt dit met kalk oververzadigde grondwater in de buitenatmosfeer, dan neemt het koolzuur in het water dezelfde, veel lagere dampspanning van de buitenlucht aan: 0,035% of 0,00035 atmosfeer. Het koolzuur ontsnapt uit het water, waardoor de oplosbaarheid afneemt en kalk neerslaat, o.a. in de vorm van travertijn, op aanwezige waterplanten zoals kranswieren. Afb. 10. Hierdoor ontstaan fraaie kalkconstructies, die o.a. in verschillende groeves in Thüringen (D) waar travertijn wordt gewonnen, verzameld kunnen worden.

Een fraai travertijngordijn, dat nog steeds aangroeit, is te zien bij de bekende fossielenvindplaats Ahütte (D), waar grondwater uit een berg ontspringt en de kalk zich op de in de beek aanwezige plantengroei afzet. Afb. 11.



In grotten vindt een soortgelijke reactie plaats, waardoor stalagmieten en stalagtietsen ontstaan. De concentrische ringenstructuur van de doorsnede doet vaak denken aan die van een onkoïde.

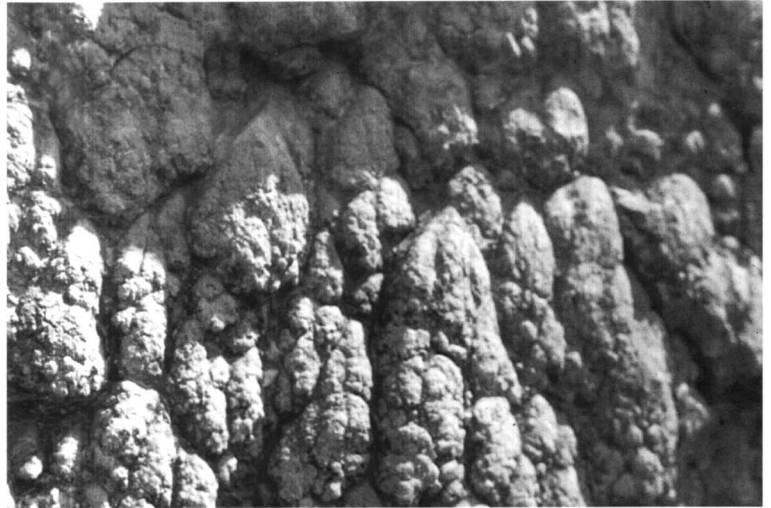
Biostratigrafie

Russische onderzoekers, met name Maslov en Semikhatov, hebben met succes getracht stromatolieten te gebruiken voor biostratigrafische doeleinden. Hun onderzoek was gebaseerd op de aanname dat de biologische, genetisch bepaalde, eigenschappen van de stromatolietbouwers de morfologische structuur van de stromatolieten hebben bepaald. Evolutionaire veranderingen en uitsterven van soorten zouden in de stromatolieten tot uiting komen. Milieu-invloeden kunnen wel voor enige variatie zorgen, maar spelen een ondergeschikte rol.

Voor het gestelde doel was het een eerste vereiste de verschillende stromatolietvormen goed te beschrijven. Vooral een geometrische constructie volgens de methode-Krylov bleek hiervoor zeer geschikt te zijn. Deze berust op het maken van een groot aantal opeenvolgende coupes, gemaakt van de stromatoliet en van zijn eventuele vertakkingen. De classificatie van de vormen berust op een aantal kenmerken, zoals de algemene, grove habitus, wijze van vertakking, laminatie en op de structuur en randen van de kolommen. Er werden drie vorm-genera onderscheiden ("geslachten"), die weer in een aantal vormspecies ("soorten") werden onderverdeeld. Ze kregen een Latijnse naam volgens de binominale nomenclatuur van Linnaeus, zoals vroeger reeds door Walcott was toegepast. Hoewel hiertegen bezwaren werden aangevoerd, werd deze terminologie toch vrij algemeen gehandhaafd.

Vooral de stromatolieten met een groot aantal vertakkingen waren moeilijk te beschrijven. Bij hun naamgeving traden moeilijkheden op, doordat bepaalde onderdelen van zo'n samengestelde stromatoliet volgens hun kenmerken een andere naam kregen dan de stromatoliet zelf. Dit wordt echter niet als een groot bezwaar beschouwd; immers ook bij Carboonfossielen hebben onderdelen soms een andere naam.

De Russen deden veel veldonderzoek in verschillende delen van de Sovjet Unie, zoals in Siberië, de Oeral en de Kaukasus. Ze stelden vast dat bepaalde stromatolietgezelschappen uitsluitend in bepaalde streken voorkwamen. In de Oeral werd waargeno-



Afb. 12. (Links) Een zwerfsteentje bij Arenrath (Dld.) bleek bij aanslijpen een stromatoliet te zijn. Sterk vergroot. Slijpplaatje en foto: H. de Kruijk.

Afb. 13. (Boven) Stromatolietvoorkomen bij Solberga (Zweden); Ordovicium. Hoogte van een "omgekeerde kegel" 9 cm.

men dat de vormen van de stromatolieten in de loop van het Laat-Proterozoïcum veranderden. Deze veranderingen bleken irreversibel te zijn: oude vormen verschenen later niet weer. Geconcludeerd werd dat deze veranderingen verband hielden met de evolutie van de micro-organismen die voor hun bouw verantwoordelijk waren. De nieuwe stromatolietvormen verschenen in Siberië in dezelfde volgorde als in de Oeral en op andere plaatsen. Uit hun onderzoek kwam naar voren dat zowel in de Oeral als in Siberië in de laatste miljard jaar van het Proterozoïcum vier stromatolietcomplexen konden worden vastgesteld, die zich over grote afstanden uitstrekten. Naar aanleiding van deze resultaten werden vier perioden onderscheiden: het Onder-Riphien (1700-1350 m.j.), het Midden-Riphien (1350-950 m.j.), het Boven-Riphien (950-680 m.j.) en het Vendien (680-570 m.j.). Correlatie met Noord-Amerika, India, Afrika en Australië bleek mogelijk te zijn, hoewel niet in alle gevallen. Radiometrische dateringen volgens de kalium/argon-methode bevestigden de resultaten van het onderzoek.

Het verzamelen

Het verzamelen van stromatolieten is geen eenvoudige zaak. Er zijn geen excursieverslagen met vindplaatsen, weinig medeverzamelaars om mee te ruilen en slechts een enkele keer is er op een beurs wat te vinden.

Mogelijkheden bieden regionale gidsen, met name de Franse, en artikelen in wetenschappelijke tijdschriften.

Soms heb je geluk bij het zoeken van fossielen en gesteenten. Zo lieten twee kleine, onaanzienlijke zwerfsteentjes - afkomstig uit zuigerijen in Azewijn en Arenrath (D) - na doorzagen en polijsten fraaie zuilvormige stromatolieten zien, hoewel er aan de buitenkant niets was te zien wat erop leek. Afb. 12.

Op de beurs zijn nu en dan zeer oude stromatolieten te koop: we bemachtigden er één afkomstig uit de Bivabik Formatie in Montana (USA), een *Collenia undosa*, met een ouderdom van 2,3 miljard jaar, en verder één uit Bolivia, een prachtig golvend bruin-zwart gestreept gesteente, dat 2,5 miljard jaar oud zou zijn.

Frankrijk

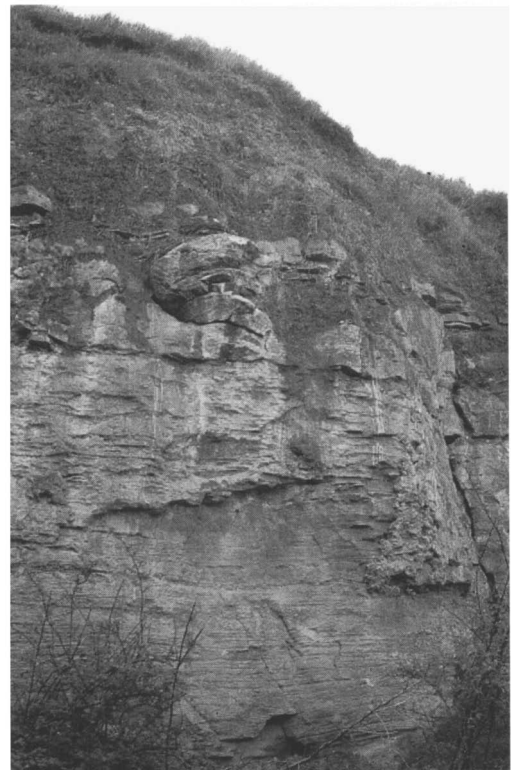
In "Normandie" door F. Doré e.a., uit de serie Guides géologiques régionaux, worden drie regio's aangegeven waar stromatolieten voorkomen: Cotentin, la Vallée de l'Orne en Maine.

Inderdaad vonden wij op het strand te Carteret in het water enkele afgeplatte, ellipsvormige stenen met een lengte van ongeveer 15 cm, die aan de buitenkant een duidelijke gelaagdheid verto-



Afb. 14. (Links)
"Landscape marble";
gepolijst oppervlak van
kalksteen met boomvor-
mige algenstructuren en
horizontale stromatoliet-
banden, afkomstig van
Cotham, Bristol, GB; Trias,
afmeting: 44 x 62 mm.
Collectie E. Keuker-
Hardenberg,
foto P. Stemvers.

Afb. 15. (Rechts)
Duidelijke gelaagdheid in
het stromatolietvoorkomen
van de Heeseberg bij
Jerxheim (Dld.). Het betreft
hier het beroemde profiel
van de Rogenstein
(Bontzandsteen, Onder-
Trias).



nen en bovenop min of meer ronde knobbels, kenmerken voor een stromatoliet. Ze zijn afkomstig uit de schalies en zandstenen van St.-Jean de la Rivière, onderdeel van het Onder-Cambrium van Carteret. Bij Val de Laize zijn eveneens Onder-Cambrische stromatolieten van het *Collenia*-type waar te nemen, die als een geologisch monument beschermd worden. In Launay (Maine) zijn in een oude steengroeve stromatolieten te vinden in een uniek rif. Dit rif is opgebouwd uit verschillende lagen calciet van variabele dikte, afgewisseld met dolomietlagen. Hiertussen bevinden zich fragmenten van stromatolieten. Helaas is deze groeve met een hekwerk omgeven en het storten van vuilnis was begonnen.

Zweden

In Zweden ontdekten wij in het Siljangebied in twee groeves - Solberga en Jutjärn - zeer fraaie wanden, voorzien van een groot aantal omgekeerd kegelvormig verloopende kalkstructuren. Afb. 13 Deze "druipsteenachtige" afzettingen waren volgens een geoloog, verbonden aan het geologisch museum te Rättvik, stromatolieten in Boda-kalksteen. Thuis was na het doorzagen en polijsten van enkele meegebrachte structuren duidelijk een gegolfde streping in het gesteente waar te nemen. Jammer dat niet een van de wanden als geologisch monument bewaard blijft! Elders in de groeve van Jutjärn werden nog een aantal kleine stromatolieten in een groene kalksteen aangetroffen. De ouderdom van de kalksteen in beide groeves is Laat-Ordovicium. Andere vindmogelijkheden in Zweden doen zich voor aan de oostelijke oever van het Vättermeer, in de omgeving van Gränna en wat noordelijker bij de Omberg. Hier zijn grote stromatolieten te vinden, zowel op de smalle oevers als in het water. Ze zijn afkomstig uit de Precambrische Visingsö Beds, met een ouderdom van 700 à 600 miljoen jaar. Via ruiling bemachtigden we een van de oudste Europese stromatolieten, 2,4 miljard jaar oud, afkomstig van de Zweedse oostkust bij Kalix.

Engeland

Van Engeland is bekend dat stromatolieten voorkomen in de Jurassische Purbeck Beds van Dorset en in de bovenste Trias (Rhätien) van zuidwest Engeland, o.a. in de omgeving van Bristol. Daar komt een eigenaardige stromatolietontwikkeling voor in de Cotham Beds, die daar *landscape marble* wordt genoemd. Deze sedimentstructuur werd tot 1961 aan anorganische oorzaken toegeschreven, totdat werd verondersteld dat algen wel eens een rol

zouden kunnen hebben gespeeld. Nader onderzoek bevestigde dat. Op dwarse doorsnede van het gesteente ziet men enkele 2-4 cm dikke gelaagde banden, die hier en daar koepelvormig verlopen. Deze stromatolietbanden worden afgewisseld door een ongeveer 5 cm dikke sedimentlaag, voorzien van fraaie, dendrietachtige figuren, die aan boompjes doen denken, vandaar de naam "landschapmarmer". Dit gesteente wordt wel op beurzen aangeboden. Het is in kleur afgebeeld op het omslag van het nummer "Steenbewerking" van Gea, dec. '81. Afb. 14.

De twee verschillende groeifasen zijn het resultaat van een gecompliceerd samenspel van een aantal processen, zoals het gedrag van de microbiële mat, veranderende milieuomstandigheden en commensalisme, een soort parasitisme. Wat dit laatste betreft, in de stromatolietlagen worden zeer kleine gangetjes (0,5 mm doorsnede) aangetroffen, vermoedelijk veroorzaakt door een klein, 2 mm lang wormpje, *Microtubus communis*. Het samengaan van deze aantasting en de microbiële mat zou de typische struikachtige figuren tot gevolg hebben.

Op de Orkney Eilanden komen Devonische stromatolieten voor bij Yesnaby.

Duitsland

Meer mogelijkheden biedt Duitsland. Aan de zuidwestkant van de Harz bevindt zich een aantal riffen die indertijd in de Centraal-Europese Zechstein-zee gevormd werden tijdens het Laat-Perm. Enkele rifpartijen laten duidelijk hun opbouw uit stromatolieten zien: zowel fraaie gelaagde kolommen als koepelvormige. Het gesteente bestaat uit dolomiet.

In ontsluitingen van de Ries-krater bij Nördlingen (Z-Dld.) komen naast algen ook stromatolieten voor, van Tertiaire ouderdom. Een groeve in de omgeving van Thüste heeft ons indertijd een zeer fraaie stromatoliet opgeleverd, waarvan in vele verzamelingen stukken aanwezig zijn. Afb. 1. Tussen de min of meer waaier-vormig uitstralende stromatolietzuilen komt hier en daar pyriet voor. Deze stromatolieten zijn afkomstig uit de Malm (Boven-Jura) en ze zijn vrij zeker van het *Collenia*-type.

Tenslotte nog iets over de fraaie, nog steeds te bewonderen stromatoliet-afzettingen in het Onder-Bontzandsteen ten noordoosten van de Harz, op de Heeseberg bij Jerxheim. Zie afb. 15. In het rode gesteente bevinden zich de bekende *Rogenstein*-banken, een oölitisch gesteente, waarin de vrij grote oöiden zeer vast aan elkaar gekit zijn. Dit gesteente werd vroeger dan ook als

bouw materiaal gewonnen en is in de muren van de kerk en van verscheidene boerderijen te zien. In de wanden van de vaak dichtgegroeide groeves zijn gelaagde kolommen van de stromatolieten waar te nemen, evenals hier en daar afgeplatte koepelvormige kalkconcreties.

Behalve bij de Heeseberg zijn nog op een aantal andere plaatsen in het gebied stromatolieten te vinden: o.a. bij Vienenburg, Asse en Wernigerode. Er kunnen verschillende groeivormen worden aangetroffen.

In dit gebied deed indertijd Kalkowsky zijn onderzoek naar het gelaagde gesteente dat hier voorkomt en waaruit de naam stromatoliet afkomstig is.

Tot slot

Dit artikel beoogt méér belangstelling te wekken voor algen - inclusief cyanobacteriën - en hun constructies.

Niet alleen het zoeken naar en het verzamelen van fossiele algen, stromatolieten en onkoiden biedt veel genoeg, maar wie zich met deze materie bezighoudt wordt tevens geconfronteerd met verschillende facetten van de geologie, biologie, paleontologie en chemie, wat de hobby extra boeiend maakt. Daarbij zal duidelijk worden hoe groot de betekenis van algen is, zowel voor onze aarde als voor ons eigen bestaan.

De foto's bij dit artikel zijn van Annyta Vlasveld, tenzij anders is aangegeven. De handstukken van afb. 1, 8, 9, 10 en 12 zijn uit de collectie-Vlasveld.

Literatuur

1. Beadly, S.C. - 1988. Dasyclads, cyclocrinoids and receptaculitids; comparative morphology and paleoecology. *Lethaia* 21.
2. Bengtson, S. (ed) - 1994. Early Life on Earth. Nobelsymposium nr. 84, Columbia U.P., New York.

3. Bosellini, A. & Gindsburg, R.N. - 1971. Form and internal structure of recent algal nodules (Rhodolites). *Journ. Geol.* 79.
4. Byrma, J. & Boekschoten, G.J. - 1985. Recent Bryozoan Reefs and Stromatolite Development in brackish inland lakes. *Senckenbergiana mar.* 17.
5. Flügel, E. (ed) - 1977. *Fossil Algae*. Springer Verlag, Berlin.
6. Goldring, Winifred - 1938. *Algal Barrier Reefs in het Lower Ozarkian of New York*. New York State Museum, Albany.
7. Hadding, A. - 1959. Silurian Algal limestones of Gotland. *Lunds. Univ. Arsskrift*. N.F. 56.
8. Hoek, C. van der, - 1984. *Algen*. G. Thieme Verlag, Stuttgart.
9. Kalkowsky, E. - 1908. Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. *Z. Deut. Geol. Ges.* 60.
10. Keeton, W.T. - 1980. *Botanical Science*. Norton Comp., New York.
11. Krumbein, W.T. - 1985. Stromatolites; the Challenge of a term in space and time. *Precambrium Res.* 20.
12. Krylov, I.N. - 1976. Approaches to the classification of stromatolites. In *Stromatolites*, zie 23.
13. Margulis, L. & Schwarz, K.V. - 1982. *Five Kingdoms*. Freeman, San Francisco.
14. Meyen, V. - 1987. *Fundamentals of Palaeobotany*. Chapman and Hall, London.
15. Monty, C. (ed) - 1951. *Phanerozoic Stromatolites*. Springer Verlag, Berlin.
16. Peryt, T.M. (ed) - 1981. *Coated Grains*. Springer Verlag, Berlin.
17. Pia, J. - 1927. *Thallophyta*. In: Hirmer, M. *Handbuch der Palaeobotanik*, Bd. I.
18. Riding, R. (ed) - 1991. *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer Verlag, Berlin.
19. Round, F.E. - 1973. *The Biology of the Algae*. Arnold, London.
20. Schopf, J.W. - 1983. *Earth's Earliest Biosphere*. Princeton Univ. Press.
21. Stal, L.J. & Gemerden, H. van - 1984. *Microbiële matten*. Natuur en Techniek, Maastricht.
22. Walcott, Ch. D. - 1914. Pre-Cambrium Algonkian Algal Flora. *Smithsonian Miscell. Coll.* 64.
23. Walter, M.R. (ed) - 1976. *Stromatolites*. *Developments in Sedimentology* 20. Elsevier, Amsterdam.
24. Wray, J.L. - 1977. *Calcareous Algae*. Elsevier, Amsterdam.

GEOCOMpositie 5

Is de Andes wel een gebergte?

De Andes bestaat uit een keten van meer dan 9000 km lang, met talrijke hoge toppen (tot 6900 m). Wie zou dus twifelen aan het gebergte karakter van de Andes? Maar is de Andes wel een gebergte in geologische zin? Geologen zijn tot de conclusie gekomen dat er in ieder geval niet, zoals tot nu toe werd aangenomen, sprake is van een relatief simpel gebergte met een ontstaansgeschiedenis die te vergelijken is met die van de andere huidige hooggebergten.

Sinds een jaar of twintig is bekend dat schollentektoniek voor veel grootschalige processen verantwoordelijk is. Zo kan op de grens van twee botsende schollen de aardkorst door de grote laterale druk ter plaatse worden gerimpeld; de Alpen en de Himalaya's zijn de klassieke voorbeelden. En ook voor de Andes werd tot nu toe zo'n ontstaanswijze aangenomen. Maar dat berustte voor een belangrijk deel op gebrek aan kennis: de Andes is zeer slecht toegankelijk voor onderzoek, er zijn relatief weinig mijnbouwactiviteiten en het gebied is dun bevolkt.

Pas sinds enkele jaren wordt er, dankzij nieuwe fondsen, veel geologisch onderzoek uitgevoerd. Daaruit komt een beeld naar voren dat het idee van een uniform gebergte doet vervagen: de Andes blijkt eerder te bestaan uit een toevallig (?) aaneengesloten complex van afzonderlijke tektonische eenheden. Die eenheden zijn vaak ook veel gecompliceerder dan tot nu toe gedacht; er komen bijvoorbeeld betrekkelijk jonge dekbladen voor (minder

dan 18 miljoen jaar oud). De diverse tektonische fasen die te onderscheiden zijn blijken ook niet gelijktijdig door de gehele Andes te zijn opgetreden. Vulkanisme, dat tot nu toe beperkt was gedacht tot twee fasen (80-100 miljoen jaar geleden en omstreeks 15 miljoen jaar geleden), blijkt vaker op grote schaal te zijn voorgekomen, onder meer in de periode van 32-45 miljoen jaar geleden.

De kennelijk gecompliceerde geschiedenis van de Andes geeft, zoals werd uiteengezet op het *19th Annual Systematics Symposium*, ook een verklaring voor een deel van de regionaal uiteenlopende ontwikkelingen van de biodiversiteit in het gebergte. Waar in het geologisch verleden een deel van de Andes al uit een diep-ingesneden gebergte bestond, waren elders nog laagvlakten of plateaus aanwezig. Daardoor komen van tal van planten- en diersoorten lokale populaties voor die sterk afwijken van naburige populaties.

De gebleken regionaal verschillende ontwikkelingen van de Andes worden in verband gebracht met een complex beeld van lithosfeerschollen. Aan de westkust van Zuid-Amerika schuift niet één grote schol in een subductiezone weg onder de continentale schol, maar is sprake van een complex van kleinere schollen, die alle hun eigen (relatieve) beweging kennen. Het precieze patroon daarvan wordt nu in kaart gebracht.

Moffat, A.S., 1996. Biogeographers take a new view of the ancient Andes. *Science* 272, p. 1420-1421.

A.J. van Loon