

Fig. 17. Verdeling van pyriet-gebonden thiolen over twee oppervlakken.

Het de novo gevormde pyriet (vgl. Fig. 14) met de daaraan gebonden thiolen wordt als droog materiaal in een flesje (1a, links) gedaan. Door verhitten komen de componenten vrij; deze bevinden zich dan in de gasfase. In een monster van deze gasfase kunnen de verbindingen kwalitatief en kwantitatief aangetoond worden (flesje 1b) Tijdens het afkoelen hechten de organische componenten zich weer zowel aan het pyriet als aan het glasoppervlak. In de afgekoelde gasfase zijn dan geen organische componenten aantoonbaar. De oppervlaktebindingen kunnen door zuiver mechanische handelingen (bijvoorbeeld droog uitvegen van het flesje of uitspoelen met water) niet verbroken worden. Tijdens het overbrengen van het pyriet naar het lege flesje (2) gaan de aangehechte componenten zonder verlies mee. Het overgebrachte pyriet wordt weer verhit, zodat de componenten weer vrijkomen en in de gasfase aangetoond kunnen worden. Ook het lege flesje (1b) wordt weer verhit, waardoor de aan het glas gebonden componenten loslaten en aangetoond kunnen worden.

invalshoeken benaderd. Nieuwe gegevens komen zowel vanuit de meer chemisch georiënteerde richtingen als van de geologische en mineralogische kant, vooral ook uit combinaties daarvan. Met name het onderzoek naar zelf-ordening en zelf-organisatie van organische componenten aan mineraaloppervlakken - ondermeer eiwitten en andere polymeren - heeft de voorstellingen over de ontwikkeling van structuren ingrijpend veranderd, en wel in die mate dat het oersoep-model niet meer voldoet. Dit gaf aanleiding tot nieuwe benaderingen van de vraagstellingen. De daaruit voortvloeiende onderzoeksresultaten geven nu steeds duidelijker inzichten in een *chemisch-structurele co-evolutie* - dus de parallelle ontwikkeling van zeer complexe organische verbindingen, simultaan met de opbouw van structuren - die gebaseerd is op de reacties van zuiver anorganische start-componenten: *mineralen en gassen*.

## Literatuur

- Fenter, P., Eberhardt, A., Eisenberger, P.: 1994, Self-assembly of n-alkyl thiols as disulfides on Au (111), Science 266, 1216-1218

Zie ook de literatuurlijst bij deel I.

Hartelijk dank aan Dr. C. Stumm, die met veel deskundigheid, toewijding en geduld de foto's voor dit artikel geleverd heeft, en aan mev. A.M. Lauwers voor redactionele hulp. De SEM-opnamen werden gemaakt door J.W. Gerritsen, experimentele vaste stoffysica 2, KU Nijmegen.

# Fossiele algen, stromatolieten en wat daarmee samenhangt

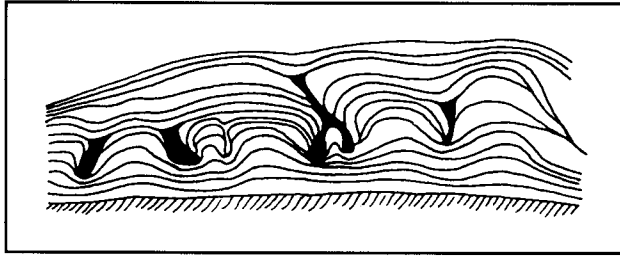
door Wim P.N. Vlasveld en Annyta F. Vlasveld-Pijlman

De meeste mensen kennen algen alleen vanwege hun ongunstige eigenschappen, zoals het veroorzaken van gladde flagstones, troebele aquaria en dichtgegroeide vijvers, vergiftigde mossels en zwaar verontreinigde kusten.

Over het algemeen hebben amateur-geologen weinig belangstelling voor algen en evenmin voor de door deze organismen veroorzaakte kalkstructuren, zoals stromatolieten en onkoiden. Hun belangstelling gaat meer uit naar trilobieten, ammonieten en zeeëgels. In hun verzamelingen treft men dan ook meestal geen fossiele algen aan. Ook in musea vindt men bij de plantenfossielen weinig wat met algen heeft te maken.

## Betekenis voor het leven op aarde en voor de geologie

Toch zijn algen van veel betekenis voor de geologie, zowel heden ten dage als in het verleden. Met name in het verre verleden, het Precambrium, is hun belang van de grootste orde. Aangenomen wordt dat de blauwgroene algen - tegenwoordig cyanobacteriën genaamd - de eerste organismen waren die door middel van fotosynthese vrije zuurstof konden ontwikkelen, waardoor een zuurstofbevattende atmosfeer kon ontstaan. Geschat wordt dat ook nu nog de algenpopulaties tezamen ongeveer de helft van de huidige zuurstofproductie voor hun rekening nemen.



Afb. 1. Verticale doorsnede van een **stromatoliet**. Archaeicum (vanaf ± 3,5 miljard jaar geleden) tot Recent. Breedte ± 15 cm.

Reeds in het vroege Precambrium begon de vorming van **stromatolieten**, die toegeschreven moeten worden aan de activiteit van blauwgroene algen (cyanobacteriën) al dan niet in samenwerking met andere bacteriën en algen. Afb. 1. Ook recent zijn algen betrokken bij het sedimentatieproces, maar ook bij andere processen. Zo hebben **onkoiden** (algenknollen) en **tufa's** hun ontstaan aan algen te danken.

Verschillende algengroepen vormen het **fytoplankton**, zowel in zeeën en oceanen als in zoet water. Na hun dood zakken de miljarden microscopisch kleine skeletjes - met name van diatomeën en coccolithoforen - naar de bodem, waardoor in de loop der tijden dikke afzettingen ontstaan.

Het samengaan van stromatolieten en opeenhopingen van mineralen wijst op biologische processen bij het ontstaan van bepaalde ertsafzettingen, waarbij ook algen zijn betrokken. Ook bekend zijn de enorme gelaagde ijzerafzettingen - de zgn. **banded iron formations** (B.I.F.'s) - die tijdens het vroege Precambrium ontstonden tengevolge van de door de blauwgroene algen (cyanobacteriën) in gang gezette zuurstofontwikkeling.

Aardolie, met name de zware aardolie, is ontstaan uit organisch materiaal afkomstig van algen en bacteriën.

Hoe merkwaardig het wellicht klinkt, zelfs bij het ontstaan van koraalriffen spelen algen een belangrijke rol, vooral de rode en groene algen. Bovendien bestaat er een symbiose tussen de poliepen van de rifkoralen en **dinoflagellaten** - de zgn. **zoöxanthellen** - waardoor de kalkproductie van de koralen wordt gestimuleerd.

Enkele algensoorten zijn waardevol bij het opstellen van een biostratigrafie. Russische onderzoekers gebruiken voor een stratigrafische indeling van het Laat-Proterozoicum het voorkomen van verschillende stromatolietvormen.

Omdat algen afhankelijk zijn van verschillende fysische, chemische en biologische factoren, kunnen algenafzettingen worden gebruikt als indicatoren voor het bepalen van het milieu waarin sedimenten in het verleden werden gevormd (paleo-ecologie).

Fossiele algen en stromatolieten leveren veel gegevens op voor het fossielenarchief, o.a. met betrekking tot de ontwikkeling van het leven op aarde.

Tenslotte moeten naast de opbouwende activiteiten van algen ook hun destructieve eigenschappen genoemd worden. Borende algen dringen kalksedimenten binnen en zorgen voor biologische erosie, waardoor het sediment tenslotte uiteenvalt. Dit is een van de wijzen waarop het calciumcarbonaat weer in de kalkkringloop ter beschikking komt.

Het is na deze voorbeelden wel duidelijk, dat algen van buitengewoon grote betekenis zijn en zijn geweest. Maar wat zijn algen eigenlijk? Aangezien in de meeste door amateur-geologen geraadpleegde handboeken over fossielen weinig aandacht aan algen wordt besteed, is het voor een goed begrip gewenst er eerst het een en ander over te vertellen.

## Algen: een heteroog begrip

Algen zijn fotosynthetiserende, plantaardige organismen, die echter geen wortels, stengels en bladeren bezitten. Ook vaatbundels ontbreken. Hun groene massa wordt **thallus** (= loof) genoemd. Vandaar de naam **Thallophyta** voor de groep organismen waarin de algen vroeger werden samengebracht.

Hoewel over algen wordt gesproken als een groep - zoals over mossen en varens - vormen zij geen duidelijk begrensde gemeenschap. Er worden verschillende fyta (enkelvoud: fylum = stam) onderscheiden, die onderling sterk verschillen en vaak geen enkel verband met elkaar hebben.

Het merendeel van de algen leeft marien, dus in zeeën en oceanen, maar er zijn ook soorten die in zoet en brak water voorkomen en zelfs op het land.

Men onderscheidt o.a. **benthische algen**, die vastgehecht op de zeebodem of op gesteenten in het water bij de kusten leven, meestal niet dieper dan 150 meter in verband met het licht, en **planktonische algen** die vrij in het water zweven.

Hun afmetingen variëren sterk. Zo zijn er microscopisch kleine ééncellige algies, vaak rond van vorm - de zgn. **coccoïde algen** - ter grootte van enkele microns; draadvormige algen, met ketens van identieke cellen; maar ook zeer grote méércellige algen met een lengte van enige meters, die meestal wieren worden genoemd. Maar in principe is er geen verschil tussen de begrippen alg en wier.

Algen bevatten verschillende pigmenten (kleurstoffen) die voor de fotosynthese zorgdragen. Door middel van deze fotosynthese zorgen zij voor hun voedingsstoffen. Deze levenswijze noemt men **autotroof**.

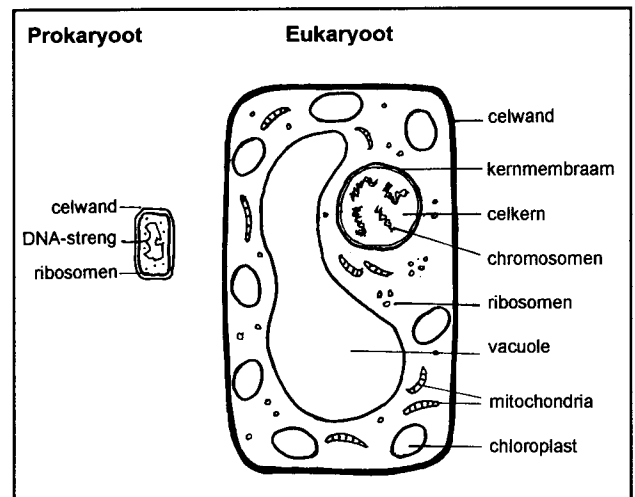
## Systematiek van organismen

De oude indeling van de organismen in planten en dieren voldoet niet meer. Er zijn bijvoorbeeld ééncellige algen die moeilijk van dieren te onderscheiden zijn. Bij aanwezigheid van licht vertonen ze fotosynthese, maar in het donker houden zij zich in het leven met het verschalken van een prooi, wat op dierlijke eigenschappen wijst. Ook bij andere organismen is het vaak niet duidelijk waarbij ze moeten worden ingedeeld. Schimmels (zoals paddenstoelen) werden tot de planten gerekend, terwijl ze notabene géén bladgroen hebben!

Volgens een nieuwe indeling van de organismen worden er vijf rijken onderscheiden:

**Monera, Protisten, Planten, Fungi** (schimmels) en **Dieren**.

In het eerste rijk - de **Monera** - zijn alle organismen ondergebracht die in hun cellen géén celkern hebben, de zgn.

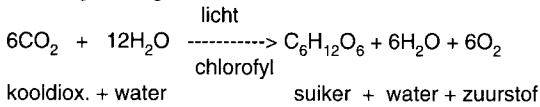


Afb. 3. Schematische bouw van (links) een prokaryotische cel (bacterie) en (rechts) een eukaryotische cel (hogere plant).

## Fotosynthese

Fotosynthetiserende organismen zijn in staat om onder invloed van licht met behulp van chlorofyl (de groene kleurstof) uit kool-dioxide en water, koolhydraten (suikers) te maken. Bij dit proces wordt zuurstof ontwikkeld, dat aan de atmosfeer wordt afgegeven.

Stralingsenergie van licht wordt omgezet in chemische energie in de vorm van suiker (glucose), dat weer in zetmeel wordt omgezet. Chemisch gezien wordt de waterstof uit het water afgesplitst en aan het kooldioxide overgedragen, dat als "ontvanger" fungeert:



De gevormde suiker wordt gebruikt voor andere levensproce-sen, zoals ademhaling en groei, en bovendien ook voor het maken van reservestoffen, zoals zetmeel. De betekenis van de fotosynthese moet niet worden onderschat. In feite berust ons gehele bestaan op aarde op deze reactie. Vrijwel al het op aarde aanwezige organische materiaal is direct of indirect via fotosynthese ontstaan. Men noemt dit proces wel de **primaire productie**.

Alle heterotrofe organismen, die dus niet zelf hun voedsel kun-nen maken - alle dieren, inclusief de mens - profiteren daarvan.

### Pigmenten

Behalve over het groene **chlorofyl** beschikken de verschillende algengroepen nog over andere pigmenten, zoals over **carote-noiden**, waartoe het oranjekleurige caroteen behoort (bekend van de peen) en diverse **xanthofylverbindingen** (geel, bruin). De blauwgroene algen (cyanobacteriën) en de rode algen bezitten bovendien nog twee **billiproteïnen**: fyco-cyanine (blauw) en fyco-erythrine (rood). Deze pigmenten worden accessorische pigmenten genoemd. Zie Tabel I.

Overheerst het chlorofyl dan zijn de algen groen gekleurd. Dat bruinwieren bruin zijn komt doordat daar het chlorofyl wordt overheerst door de bruine xanthofylverbinding fuco-xanthine.

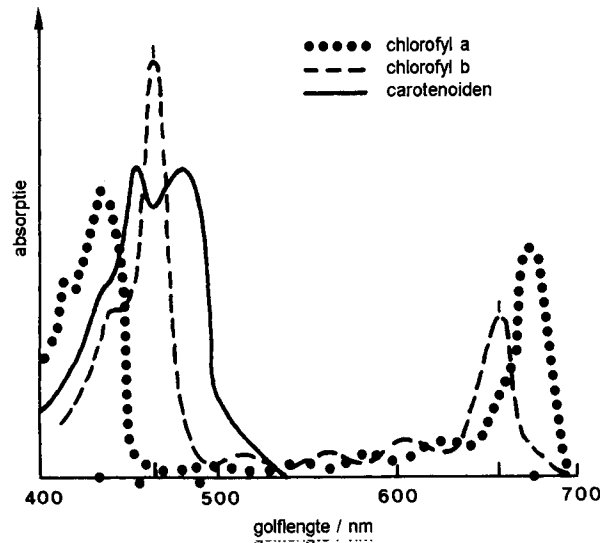
Tabel I. De pigmenten van de algen

	bl.gr. algen	rode algen	groene krans algen	bruine wieren	brui-ne algen	cocco-lieten	diato-meeën	dino-flag.	hogere planten
chlorofyl a	+	+	+	+	+	+	+	+	+
chlorofyl b	-	-	+	+	-	-	-	-	+
chlorofyl c	-	-	-	-	+	-	-	-	-
β - caroteen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
xanthofylverb.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
fyco-cyanine	+	±	-	-	-	-	-	-	-
fyco-erythrine	±	+	-	-	-	-	-	-	-

**PROKARYOTEN.** Ook andere celorganen ontbreken, zoals de mitochondriën. Bij prokaryoten ligt het DNA als een ring in het protoplasma (celinhoud). Afb. 3 links .

Tot dit rijk behoren alle bacteriën, maar ook de blauwgroene algen. De elektronenmicroscop heeft hun prokaryotische cel-organisatie onthuld. Zij worden daarom tegenwoordig cyano-bacteriën genoemd.

Bij alle andere organismen - de **EUKARYOTEN** - is het DNA verpakt in chromosomen, die in een **celkern** liggen. Afb. 3 rechts. Alle ééncellige eukaryoten - dus zowel de plantaardige als dier-lijke - zijn in het rijk der **Protisten** verzameld, terwijl de schimmels een apart rijk - de **Fungi** - vormen.



Afb. 2. Absorptiespectra van chlorofyl a en b en carotenoiden.

Bij de blauwgroene en rode algen overheersen meestal de billiproteïnen.

Het gewone licht is samengesteld uit een aantal kleuren met verschillende golflengten. Dit zgn. lichtspectrum loopt van violet (400 nm) via blauw, groen, geel, oranje naar rood (760 nm). Het chlorofyl absorbeert hieruit voornamelijk het violetblauwe licht (400-450 nm) en het oranje-rode licht (600-680 nm). Het door de planten teruggekaatste licht bevat deze lichtcomponen-ten niet meer, zodat de plant voor ons groen gekleurd lijkt te zijn. Het voordeel van de accessorische pigmenten is nu dat zij licht van andere golflengten kunnen absorberen en door-geven aan het chlorofyl, dat er gebruik van maakt, zodat dat licht niet voor de fotosynthese verloren gaat. Afb. 2.

Algen kunnen uitsluitend leven als ze over licht beschikken. In het water neemt de lichtsterkte in verhouding tot de diepte be-trekkelijk snel af, afhankelijk van de helderheid van het water. Op 5 meter diepte is reeds de helft van het licht door het water geabsorbeerd, op 10 meter diepte is over het algemeen nog slechts 25% beschikbaar. Het licht met de langste golflengte, dus het rode licht, wordt het eerst geabsorbeerd. Het violet-

blauwe licht, met de kort-ste golflengte, dringt het diepst in het water door. De aanwezigheid van de pigmenten in de algen be-paalt dus de diepte waar-op zij nog kunnen leven. In het algemeen leven de groene en de rode algen meer in het ondiepe water, terwijl blauwgroene algen op grote diepte kunnen worden aangetroffen.

Het gevolg van deze nieuwe indeling is dat de verschillende algengroepen in verschillende rijken zijn geplaatst (zie Tabel II). De hoger ontwikkelde algengroepen - de rode, bruine en groene algen, met inbegrip van hun ééncellige soorten - behoren bij het Plantenrijk, de typische ééncelligen, zoals de coccolithoforen, diatomeeën en dinoflagellaten, tot de Protisten.

Bij de groepsindeling is de kleur van de algen niet de doorslag-gevende factor. De kleur is afhankelijk van de aanwezige pigmen-ten. Zo heeft de Rode Zee zijn rode kleur te danken aan het vaak overvloedig voorkomen van de roodgekleurde blauwgroene alg *Trichodesmium rubescens*!

## Tabel II. Indeling van de algengroepen

De groepen die belangrijke fossilisaties hebben opgeleverd zijn genummerd en zullen achtereenvolgens worden beschreven.

Rijk	Fylum	Klasse	Nederlandse naam	
<b>Monera</b>	Cyanobacteria (= Cyanophyta)	(Cyanophyceae)	cyanobacteriën = blauwgroene algen	(1)
<b>Protista</b>	Chrysophyta	Chrysophyceae	goudbruine algen	(2)
		Xanthophyceae	geelgroene algen	
		Bacillariophyceae	diatomeeën	
		Eustigmatophyceae		
		Chloromonadophyceae		
	(Haptophyta)	Haptophyceae	coccolithoforen	(3)
	Dinophyta	Dinophyceae	dinoflagellaten	(4)
Cryptophyta	Cryptophyceae			
Euglenophyta	Euglenophyceae			
<b>Plantae</b>	Rhodophyta	Rhodophyceae	rode algen	(5)
	Phaeophyta	Phaeophyceae	buinwieren	(6)
	Chlorophyta	Chlorophyceae	groene algen	(7)
		Prasinophyceae		
			Charophyceae	kranswieren

groene algen worden namelijk omgeven door een gelatine-achtige massa - de **slijmschede** - die bescherming biedt tegen ongunstige omstandigheden. Algen die geen kalk afscheiden heten **skeletloze algen**.

2. Vooral skeletloze algen zijn actief, en actief geweest, in het neerslaan van sediment, vooral kalksediment. Ze zijn geologisch gezien zeer belangrijk in verband met de rol die zij in het verre verleden bij de vorming van kalkconstructies, met name de **stromatolieten**, gespeeld hebben. Dit is een mechanisch proces, waarop later nader wordt ingegaan.

3. Bepaalde blauwgroene algen die zelf geen kalk afscheiden kunnen in zoet en brak kalkrijk water zgn.

In handboeken worden verschillende systematische indelingen gebruikt. In oudere handboeken worden vaak alle algengroepen als "lagere planten": **Thallophyten**, tot het Plantenrijk gerekend, inclusief de blauwgroene algen (cyanobacteriën).

Welke indeling men ook hanteert, vrijwel altijd worden er 15 klassen onderscheiden, ondergebracht in 8, 10 of 15 fylya. Een achttal klassen zijn voor de geologie van belang. Deze zullen nader worden besproken.

## Kalkalgen

In Tabel I ontbreken de kalkalgen, die juist als fossiel zo belangrijk zijn. De reden hiervan is dat zij - in tegenstelling tot bijvoorbeeld de kiezelalgen - geen taxonomische eenheid vormen. Zij vormen geen fyllum of klasse, maar zijn verspreid aanwezig in de verschillende fylya. Ze vormen een kunstmatige groep, die als een gemeenschappelijke eigenschap het afscheiden of neerslaan van calciumcarbonaat (kalk) heeft. Ook bepaalde **kalkconstructies** die een gevolg zijn van de activiteit van algen worden tot de kalkalgen gerekend.

Er kunnen drie categorieën worden onderscheiden:

1. Benthische en planktonische algen die het vermogen bezitten langs biochemische weg kalk af te scheiden.

Geschat wordt dat van de 8000 thans levende benthische, mariene algen ongeveer 8% die eigenschap bezitten. Het zijn vooral rode algen, waarvan ongeveer 15% kalk produceert, en groene algen waarvan ongeveer 10% kalk afscheidt. Slechts enkele soorten recente blauwgroene algen (cyanobacteriën) en bruinwieren kunnen dit ook. In zoet en brak water zijn alleen enkele blauwgroene algen en de kranswieren ertoe in staat. Hoe deze kalkafscheiding in zijn werk gaat is nog een onopgelost probleem. Verondersteld wordt dat de fotosynthese ermee te maken heeft, maar dan komt direct de vraag naar voren waarom dan niet alle algen kalk afscheiden.

Deze kalkafscheidende algen worden **skeetalgen** genoemd omdat na hun dood de kalkcontouren achterblijven. De kalk, die als calciumcarbonaat wordt afscheiden, is in het algemeen bij de rode algen calciet; bij de groene algen daarentegen aragoniet. De kalk kan op verschillende plaatsen worden afgezet: in de cellen, in de celwand, in het slijmerige omhulsel van de alg en zelfs aan de buitenkant daarvan. Blauwgroene algen en ook veel

**tufa's** vormen. Tengevolge van hun fotosynthese wordt kooldioxide uit het water opgenomen, waardoor calciumcarbonaat neerslaat.

Men noemt dit wel passieve kalkvorming. De gevormde structuren kunnen op **onkoiden** (vrij op het substraat liggende stromatolieten) lijken, maar ze zijn langs biochemische weg ontstaan. Op stromatolieten, tufa's en onkoiden komen we in een volgende aflevering terug.

## 1. Blauwgroene algen = cyanobacteriën

Zoals onder "Systematiek" reeds werd gezegd zijn de blauwgroene algen prokaryoot en worden ze thans tot de bacteriën gerekend, vandaar de naam cyanobacteriën. Ook in andere eigenschappen komen ze meer met bacteriën overeen dan met de andere algengroepen. Zo bestaat hun celwand uit **muriene**, die van de andere algen overwegend uit cellulose. Ze zijn net als bacteriën gevoelig voor antibiotica en zijn in staat vrije stikstof uit de atmosfeer te binden, iets wat sommige bacteriën wel kunnen, maar planten niet. Zij beschikken hiertoe over een speciaal type cellen - **heterocysten** genaamd - die gekenmerkt zijn door een dikke wand. Dit is noodzakelijk aangezien het stikstofbindingsproces uitsluitend onder anaerobe omstandigheden verloopt, dus bij afwezigheid van zuurstof. Dit wijst naar het verre verleden, toen de cyanobacteriën nog in staat waren in een zuurstofvrije atmosfeer te leven. Evenals bacteriën kunnen ze tegen hoge temperaturen. Hun vermenigvuldiging vindt uitsluitend op ongeslachtelijke wijze plaats, via een eenvoudige celdeling. Na het vormen van een tussenschot wordt de celinhoud gelijkmatig verdeeld over beide helften.

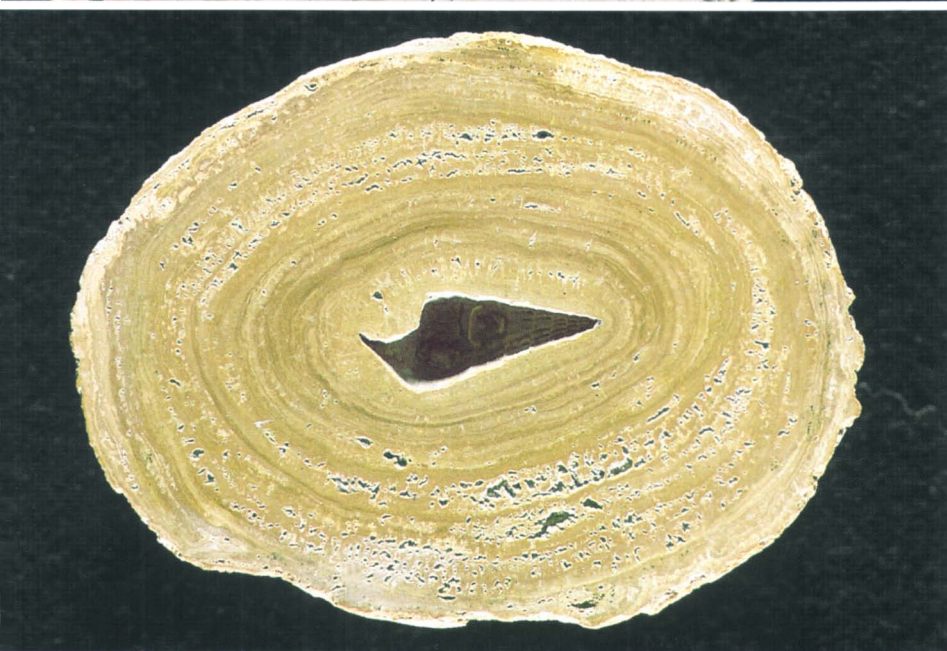
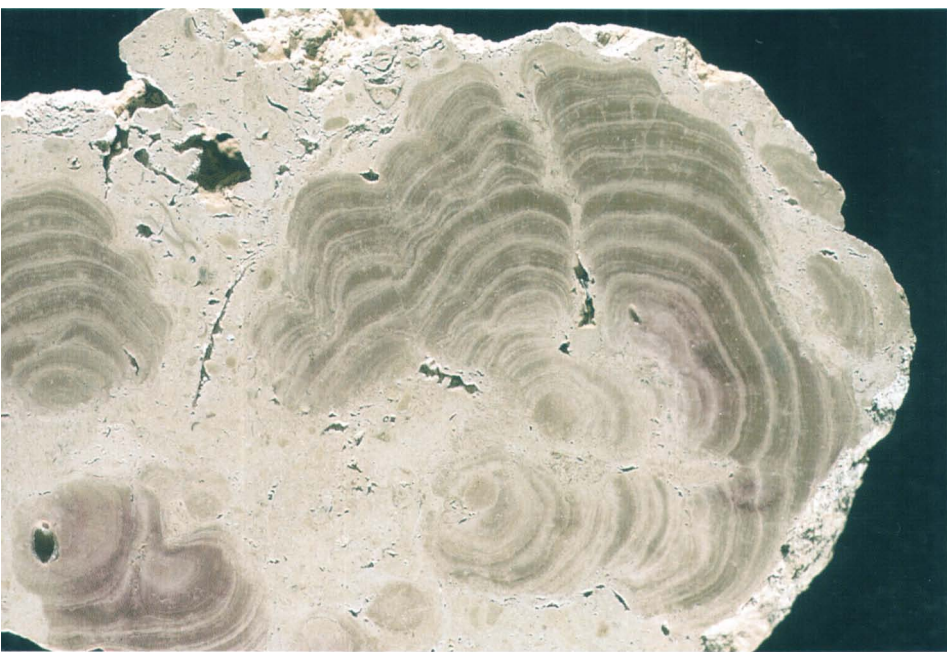
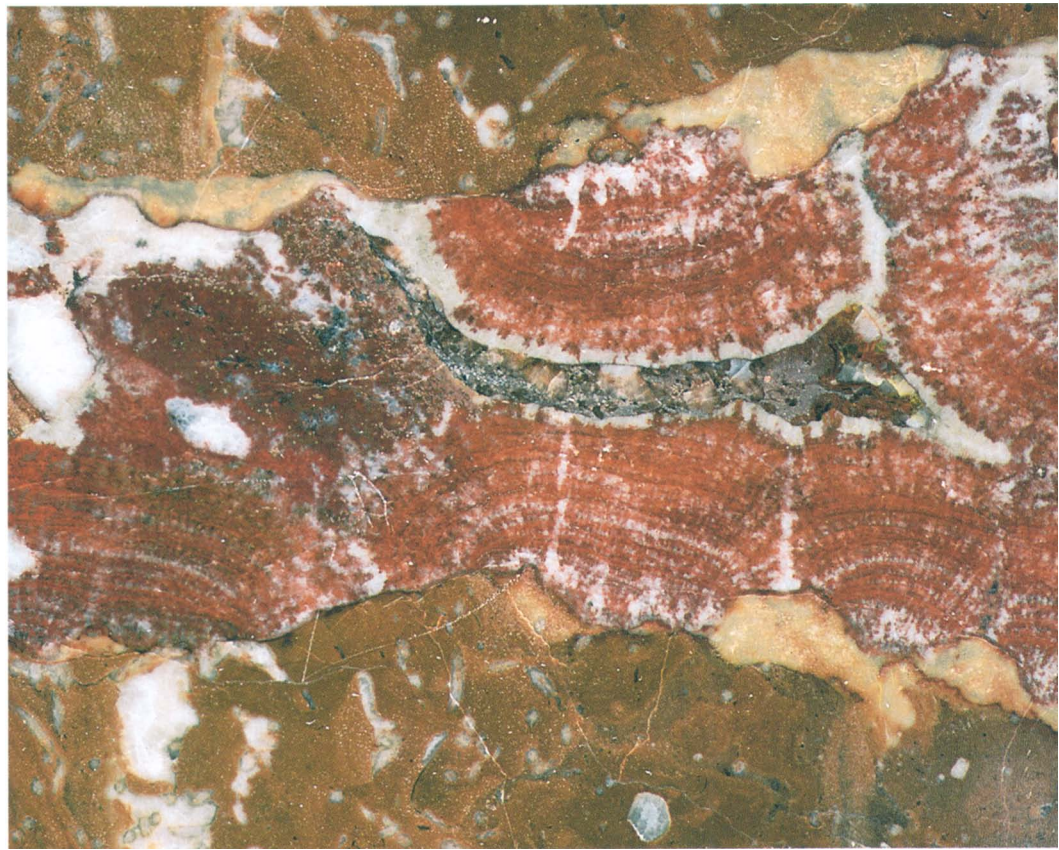
Er zijn ronde, ellips- en staafvormige ééncellige cyanobacteriën, die solitair of in kolonies leven, en méércellige, draadvormige soorten. Gewoonlijk wordt rondom de cellen en draden een slijmachtige, gelatineuze stof afgescheiden, die bij sommige soorten nog door een wand wordt omgeven, de **slijmschede**. Bij koloniserende ééncelligen worden de zich voortdurend delende cellen door deze slijmmaassa bijeengehouden, zodat fraaie bollen ontstaan.

Bij de draadvormige soorten wordt eveneens een slijmerig omhulsel gevormd. Zo'n slijmschede kan meer dan één algendraad (**trichoom**) omhullen, met behulp waarvan ze glijdende bewegingen kunnen maken.

A



B



D

A. Cyanobacterie "Sphaerocodium", gegroeid om een cephalopode. Ronehamn, Gotland, Siluur, 40 x 70 mm.

B. Cyanobacterie Renalcis sp. (?), gepolijst oppervlak, afm. 84 x 66 mm, Devoon, Vodecée, omgeving Philippeville, België.

C. Rode alg Solenopora jurassica, gepolijst oppervlak. Malm (Boven-Jura), Novion Porcien, N-Frankrijk; afm. 120 x 80 mm.

D. Rode alg Lithothamnion. Boven-Krijt, Zuid-Limburg. De alg op het handstuk meet 4 1/2 x 3 cm.

E. Rode alg. Rhodoide: algengroei met kalkafscheiding rondom gastropode. Oligoceen; Krskopolje, Slovenië, afm. 8 1/2 x 6 1/2 cm.

E

Bepaalde cyanobacteriën kunnen zgn. **matten** vormen van variërende dikte. Deze "matvorming" en het "kruipen" zijn belangrijke factoren voor de vorming van de later te bespreken stromatolieten.

De drie soorten pigment waarover cyanobacteriën beschikken liggen zowel in de cel als in het slijmerig omhulsel. Het overheersende pigment bepaalt de kleur, zodat er naast blauwgroene, ook rode, bruine, gele en zelfs zwarte soorten zijn.

Het grote voordeel van de aanwezigheid van verschillende soorten pigment is dat de cyanobacteriën maximaal van licht kunnen profiteren. Behalve in het volle daglicht groeien ze ook in bijna volledige duisternis, zelfs in grotten die slechts enkele uren per dag voor toeristen worden verlicht. Ze kunnen overal voorkomen, zowel in water als op het land, in de meest uiteenlopende biotopen. Ze worden in zout, zelfs zeer zout water aangetroffen; in tegenstelling tot in het Precambrium bevinden de meeste zich tegenwoordig in zoet water. Ze zweven in de lucht, zitten in en op (vochtige) aarde, waar zij dankzij hun vermogen om stikstof te produceren de bodemvruchtbaarheid verhogen. Ze kunnen leven bij zeer extreme temperaturen: op gletsjers, in antarctische meren, maar ook in woestijnen en heetwaterbronnen tot wel 85°C. Dank zij hun slijm laag kunnen zij goed tegen droogte.

## Fossiele cyanobacteriën

In de geologische geschiedenis hebben zowel skeletvormende als skeletloze cyanobacteriën een grote rol gespeeld bij het ontstaan van kalksedimenten. De skeletloze algen zijn zeer belangrijk doordat zij reeds vroeg in het Precambrium betrokken waren bij de vorming van **stromatolieten**. Ze zijn daarin uitsluitend als fossiel bewaard gebleven als ze in vuursteen (*chert*) werden opgesloten. In de kalksteen zijn hun organische resten geheel vergaan. Hierover later bij het hoofdstuk "Stromatolieten" meer. Daarentegen komen de resten van de skeletalgen veel als fossiel voor, dank zij hun vermogen kalk af te scheiden. Vermoedelijk is deze eigenschap pas kort voor het Cambrium verkregen, ongeveer in dezelfde periode dat de met kalkskeletten uitgeruste Metazoa tot ontwikkeling kwamen.

Zelfs voor vakgeologen zijn fossiele kalkcyanobacteriën moeilijk te identificeren. Ze zijn microscopisch klein en alleen met behulp van slijpplaatjes te determineren. Bovendien zijn vaak verschillende soorten door elkaar gegroeid of zijn andere organismen omhuld, zoals foraminiferen.

Men onderscheidt daarom geslachten die met zekerheid affiniteit vertonen met recente cyanobacteriën en zgn. "problematische", waarvan de aard niet met zekerheid bekend is. Een andere moeilijkheid bij het determineren is het feit dat de kalk veelal aan de buitenkant van de omhullende slijm laag werd afgezet, waardoor de oorspronkelijke celstructuren niet goed zijn te herkennen.

Het Cambrium was een gunstige periode voor de ontwikkeling van kalkcyanobacteriën. Vooral vanaf het Midden-Cambrium werd veel algenkalksteen gevormd, zowel in Europa als in Amerika en Azië.

Een van de belangrijkste soorten is *Girvanella*, die een lang geologisch traject heeft, namelijk van het Cambrium tot Midden-Krijt. *Girvanella* wordt gekenmerkt door zijn ronde, kronkelige filamenten (draden), bestaande uit relatief dikke cellen. Ze liggen vaak doorelkaarheen gekronkeld en vormen kleine bolletjes, vandaar dat *Girvanella*-kalksteen wat korrelig aandoet.

Beter bekend bij amateur-geologen is de zgn. "Sphaerocodium"-kalksteen uit het Siluur van Zweden, met name van Gotland. Stukken hiervan worden in Nederland als zwerfsteen aangetroffen. Plaatselijk komen op Gotland enkele centimeters grote algenknollen voor, die als onkoiden worden beschouwd. Ze zijn ontstaan door het omgroeien van een kern, bijvoorbeeld een fragment van een koraal of brachiopode.

In de buurt van Ronehamn vonden wij een langgerekt "algenpijpje". Bij het doorzagen daarvan bleek dat deze "Sphaerocodium" rondom een cephalopode was gegroeid! Kleurenfoto A.

"Sphaerocodium" is een omstreden cyanobacterie. De soort zou van *Girvanella* verschillen door een dichotome (gaffelvormige) vertakking van de draden. Er wordt echter ook verondersteld dat

dit veroorzaakt wordt door milieu-omstandigheden en in dat geval worden beide geslachten als identiek beschouwd. Ook wordt gedacht aan een samengroei met een foraminifeer.

"Sphaerocodium" komt voor vanaf het Cambrium tot in het Trias, met name in de Karnische Alpen, vanwaar hij het eerst werd beschreven door Rothpletz. Tegenwoordig wordt hij naar hem *Rothpletzella* genoemd, wat voor de nodige verwarring zorgt. Twee "problematische" cyanobacteriën zijn *Renalcis* en *Epiphyton*. Ze komen algemeen voor en kunnen o.a. worden aangetroffen in het zgn. "Belgische marmer", een Devonische kalksteen die tot voor kort in de Ardennen werd gewonnen. Kleurenfoto B. Ze waren in het Cambrium reeds aanwezig, maar komen na het Devoon niet meer voor.

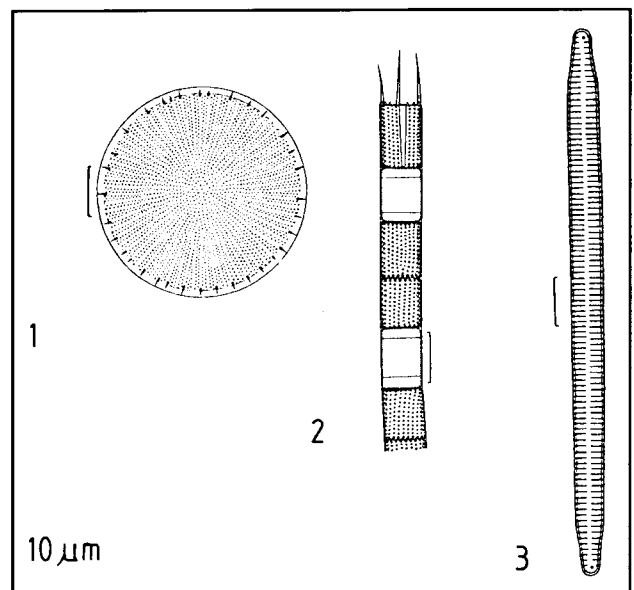
## 2. Diatomeeën (*Bacillariophyceae*) = kiezelalgen

Dit zijn ééncellige algen zonder zweepdraden, waarvan de celwand voornamelijk uit kiezelzuur bestaat. Ze zijn vooral gekenmerkt door de typische bouw van hun celwand. Deze bestaat uit twee delen: het **epitheca** en het **hypotheca**, die doosvormig in elkaar passen. Het geheel is vaak fraai versierd met patroontjes. De kleur van de algen is meestal bruin, doordat het groene chlorofyl gemaskeerd wordt door het bruine pigment **fucoxanthine**. Zowel het fytoplankton van zeeën en oceanen als dat van zoet water bestaat voor een groot gedeelte uit diatomeeën. Ze zijn zeer belangrijke zuurstofleveranciers. Nadat ze zijn gestorven, komen grote hoeveelheden kiezelskeletjes op de bodem terecht. Plaatselijk, o.a. in kustgebieden met een overheersende afluiddige wind, kunnen hierdoor grote opeenhopingen ontstaan, het zgn. diatomeeënslik, ook wel diatomeeënaarde genaamd. Daarin zijn de skeletjes terug te vinden, maar vaak zijn de doosjes uiteengevallen. Afb. 4.

Ze zijn belangrijk als milieu-indicator; aan de hand van de aangetroffen soorten kan men vaststellen of ze in zout, zoet of brak water hebben geleefd.

Hoewel sommige soorten een lange geologische geschiedenis hebben - er zijn soorten die vanaf het Krijt tot recent voorkomen - zijn er ook verscheidene kortlevende soorten geweest, die voor de biostratigrafie bruikbaar zijn.

Diatomeeën zijn van de Jura bekend; ze hadden hun bloeitijd in het Krijt. Nadat vele soorten bij de overgang Krijt-Tertiair waren uitgestorven verschenen spoedig nieuwe soorten, die in het



Afb. 4. Diatomeeën: 1. *Stephanodiscus astraea*, 2. *Melosira granulata* en 3. *Synedra ulna*. Eemien, Pleistoceen, bij Lüneburg, Dld. Tekening: Eep van Diggelen.

Tertiair in groten getale naar voren kwamen.

De reeds genoemde diatomeeënarde is een veel geëxploiteerde delfstof. In Californië is een groeve waar jaarlijks meer dan 300.000 ton wordt gewonnen. Het materiaal wordt gebruikt voor verschillende doeleinden: vulstof voor de verfindustrie, als slijpen- en polijstmiddel, voor het maken van filters en bij het samenstellen van dynamiet.

Enigszins verharde diatomeeënarde wordt **diatomiet** genoemd. Op sommige plaatsen kunnen hierin fraaie fossielen worden aangetroffen, o.a. in de Ardèche bij St.-Bauzile.

Ook in Nederland komt diatomeeënarde voor, zoals aan de zuid- en ooststrand van de Veluwe. Bij de Renkumse Beek is indertijd een groeve geweest, die tijdens de Eerste Wereldoorlog werd geëxploiteerd. Ook bij Apeldoorn en Rozendaal (Gld.) wordt diatomeeënarde aangetroffen. Verondersteld wordt dat daar de alges in zoetwaterplassen hebben geleefd, die door beken werden gevoed.

Diatomeeën spelen een belangrijke rol bij het vastleggen van sediment in de slijmerige microbiële matten ("algenmatten"), waarvan zij deel uitmaken.

### 3. Coccolithoforen (*Haptophyceae*)

Coccolithoforen zijn éencellige, voornamelijk mariene algen, die twee levensfasen doormaken, nl. een beweeglijke, waarbij de cel twee zweepdraden heeft, en een onbeweeglijke, zonder zweepdraden. Tijdens de laatstgenoemde fase wordt de gehele celwand omgeven door een groot aantal microscopisch kleine kalkplaatjes, soms wel 30 per cel. Ze bestaan uit calcietkristallen van slechts enkele microns en worden **coccolieten** genoemd. Afb. 5.

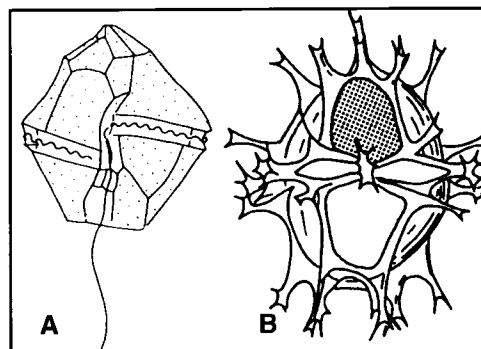
Vanaf het Trias zijn coccolithoforen goed bekend; vooral tijdens het Krijt beleefde deze algengroep zijn hoogtepunt. De meeste soorten stierven uit bij de overgang van het Krijt naar het Tertiair. Recent vormen zij een hoofdbestanddeel van het mariene fytoplankton. Met de kalkresten van de miljarden gestorven coccolithoforen zijn tijdens het Krijt enorm dikke kalksedimenten opgebouwd. Deze worden o.a. in Denemarken (Fakse), Zuid-Zweden, Zuid-Engeland en in Noord-Duitsland aangetroffen, maar ook plaatselijk in Limburg. In 1 mm<sup>3</sup> kalk komen miljoenen coccolieten voor, volgens sommige onderzoekers wel miljarden.

Het echte schrijfkrijt bestaat grotendeels uit coccolieten. Ze zijn echter zeer klein - 2-20 micron - en uitsluitend met behulp van de elektronenmicroscopie te bekijken. Verondersteld wordt dat de afzettingen van de gelaagde Solnhofense Plattenkalk (Malm, Jura) zijn ontstaan tengevolge van een jaarlijks terugkerende bloei van coccolithoforen, gevolgd door een massaal afsterven. In bepaalde gebieden zijn coccolieten te gebruiken bij het opstellen van een biostratigrafie.

### 4. Dinoflagellaten (*Dinophyceae*)

Algen van de klasse van dinoflagellaten zijn overwegend éencellig en worden gekenmerkt door twee ongelijke zweepdraden. De ene bevindt zich aan het uiteinde van de cel en dient voor de voortbeweging, terwijl de andere, die wat langer is, rondom de cel ligt en voor een draaiende beweging kan zorgen. De kleur van de algen is oranjerood tot bruin, wat wordt veroorzaakt doordat het chlorofyl overheerst wordt door een overvloed van andere pigmenten, met name het bruine **piridinine**, een xanthofylverbinding. Sommige soorten bevatten echter helemaal geen pigment. Zij kunnen dus niet fotosynthetiseren en zijn aangewezen op een **heterotrofe** levenswijze.

De meeste dinoflagellaten vertonen een asymmetrische celstructuur: een ronde rugzijde en een vlakke, soms wat ingedrukte



Afb. 6. Dinoflagellaten. A. Theca van *Gonyaulax*, Recent, hoogte 0,04 mm, met zweepdraden (naar W.R. Evitt).

B. Dinocyste van *Hystrichosphaera*, Jura - Recent, hoogte 0,06 mm (naar G. Leflandre e.a.)

buikzijde. Hun habitus kan zeer verschillend zijn, o.a. bolvormig of naaldevormig. Hun omhulsel is een soort pantser en is opgebouwd uit platen die van stekels zijn voorzien; het wordt **theca** genoemd. Afb. 6 A.

Verschillende dinoflagellaten, met name de soort *Gymnodinium microadriaticum*, leven endosymbiotisch: ze vormen met andere organismen, zoals sponzen, koralen, foraminiferen en weekdieren, een levensgemeenschap waarbij de organismen van elkaar profiteren. Deze bruine symbionten worden **zoëxanthellen** genoemd.

Onder voor hen gunstige levensomstandigheden kunnen dinoflagellaten zich sterk vermenigvuldigen. Er ontstaan dan zulke grote hoeveelheden dat het water er roodbruin door wordt gekleurd. Men spreekt dan over **zeebloei** (*red tides*). Slierten dinoflagellaten strekken zich dan over honderden kilometers uit en veroorzaken - vaak mede door het afscheiden van een giftige stof - op grote schaal afsterven van vissen en invertebraten (ongewervelden).

Bepaalde soorten, die o.a. als voedsel voor mosselen dienen, scheiden stoffen af waardoor de mosselen voor de mensen giftig worden. Zodra dit verschijnsel wordt waargenomen, wordt de vangst tijdelijk gestopt.

Weer andere dinoflagellaten produceren licht wanneer hun cellen worden geprikkeld. Zoals door de branding, waardoor op warme avonden het "lichten van de zee" kan worden waargenomen.

Wanneer fossiele dinoflagellaten in grondmonsters worden aangetroffen heeft men te maken met de zogenaamde cysten. Dit zijn de ruststadia van de algen, die zich bij ongunstige omstandigheden uit de mobiele stadia ontwikkelen. Deze cysten - **dinocysten** genaamd - zijn zeer resistent. Ze zijn uit twee lagen opgebouwd. Afb. 6 B. Men onderscheidt een drietal groepen dinocysten, volgens welke groepen de fossiele dinoflagellaten zijn geclassificeerd. Deze dinocysten moeten niet worden verward met **acritarchen**, die erop lijken maar een onzekere herkomst hebben. Enkele fossiele dinoflagellaten zijn vanaf het Siluur bekend, maar pas in de Jura en vooral in het Krijt komen ze algemeen voor. Voor bepaalde afzettingen in het Mesozoïcum en in het Tertiair zijn ze van stratigrafische betekenis.

### 5. Rode algen (*Rhodophyceae*)

De meeste rode algen zijn meercellige, bentisch levende mariene algen; slechts een klein aantal soorten komt in zoet water voor. Hun thallus is vaak ingewikkeld van samenstelling en meestal rood gekleurd door het rode pigment fyco-erythrine. Ze bezitten geen zweepdraden. De meeste rode algen leven net als de bruinwieren vastgehecht aan een stevige ondergrond, zoals rotskusten, dijken, op stenen onder water en zelfs op schalen van weekdieren.

Ongeveer 8% van de soorten kan in hun celwanden kalk afscheiden in de vorm van calciet. Wat fossielen betreft zijn er twee belangrijke families: de **Solenoporaceae** en de **Corallinaceae**.



F



G



H

I



J

F. Rode alg, Rhodoide: Lithothamnion calcareum. Recent, Noorwegen; afm. rechter ex. 3½ x 2½ cm, linker ex. tussen de uiteinden 42 mm.

G. Bruine alg Prototaxites. Devoon. Zwerfsteen van Arcen, Limburg. Afm. 7½ x 5½ cm.

H. Groene alg Palaeoporella variabilis in Palaeoporellenkalk. Caradoc (Ordovicium), Øland, Zweden; afgebeelde hoogte 25 mm.

I. Groene alg. De knikkeralg Coelosphaeridium, met lateralen. Ordovicium, Hamar-district, Noorwegen; afgebeelde breedte 66 mm.

J. Groene alg. Receptaculites neptuni, Ordovicium, Øland, Zweden; het organisme meet 20 x 20 mm.

De gefotografeerde handstukken zijn uit de collectie van de auteur. Foto's: P. Stemvers.



De eerstgenoemde familie is een uitgestorven groep van mariene organismen, die reeds in het Cambrium aanwezig was. Ze hebben het lange tijd volgehouden maar zijn in het Vroeg-Tertiair verdwenen. Het waren belangrijke gesteentenbouwers. O.a. in Noorwegen kan men dikke Ordovicische kalkafzettingen aantreffen - zoals in de omgeving van Hamar - waarin talrijke knolletjes van *Solenopora compactum* zitten. Ook in het Siluur van Gotland komt *Solenopora* veel voor, hij vormt daar typische algenballen. In verscheidene groeves in Noord-Frankrijk, o.a. bij Novion Porcien (kleurenfoto C), kunnen fraaie, paarsrood gekleurde fossielen van *Solenopora jurassica* worden gevonden. De gezoeneerde groeiwijze van deze alg doet aan een elfenbankje denken. Het geheel lijkt wat op een stromatoliet, maar is dat beslist niet. In de Devoongroeve van Koneprusy (Tsjechië) wordt een witgekleurde *Solenopora*-soort aangetroffen.

Na de Jura nam de belangrijkheid van de Solenoporaceae sterk af. Hun posities werden meer en meer ingenomen door soorten van de Corallinaceae. Deze familie is vanaf de Jura bekend; bepaalde geslachten uit die periode zijn recent nog aanwezig, zoals *Lithothamnion* en *Lithophyllum*. Verschillende groeiwijzen van deze algen doen zich voor: rechtopgaande, omkorstende en sterk vertakkende. De koralliene algen - ook wel **koraalalgen** genoemd - waren in het Cenozoicum in tropische wateren in sterke mate betrokken bij de opbouw van riffen. Zij overkorstten de koraalkolonies en de sedimenten, die werden samengekit tot stevige structuren. Een bekende overkorstende groeiwijze van *Lithothamnion* kan in de kalkgroeven van Zuid-Limburg aangetroffen worden. Het wijst erop dat in de Krijt-zee kleine riffen werden gevormd. Kleurenfoto D.

## Rhodoiden

Ook bekend zijn de *algenballen* of *algenknollen*, die **rhodoiden** of **rhodolieten** worden genoemd. Tijdens buitenlandse excursies worden ze graag verzameld. Ze zijn voornamelijk afkomstig uit het Eoceen en het Mioceen: voorkomens liggen bij Korytnica (Polen), Sopron (Hongarije) en Brno (Tsjechië), maar ook in veel andere landen worden ze gevonden. Zo zijn in het Oligoceen van Slovenië bij Krskoplje fraai concentrisch gelaagde rhodoiden te vinden, die een slakje als kern hebben. Kleurenfoto E.

Rhodoiden ontstaan op dezelfde wijze als onkoiden: de alg groeit om een kern, losliggend op een substraat. Tengevolge van voortdurende kalkafscheiding worden om de kern vaak concentrische lagen afgezet, later ook kolommen. Door de beweging van het water worden ze voortdurend heen en weer gerold - vaak in de getijdenzone - waardoor de ronde vormen ontstaan. De vorm van de rhodoïde geeft goed de turbulentie van het water weer. Men onderscheidt ronde, ellipsvormige, langgerekte en platte vormen. Tot de rhodoiden worden ook vertakte kalkstructuren gerekend, die een min of meer bolvormig uiterlijk hebben. Het zijn verkalkte algenhallussen. Dergelijke grillige kalkstructuren komen ook recent aan de kusten van de Atlantische Oceaan voor: Bretagne, Ierland en Noorwegen bijvoorbeeld. Ze worden veroorzaakt door *Lithothamnion calcareum*. Kleurenfoto F. Hun Bretonse naam is *maerl*, hetgeen de internationale geologische naam ervoor geworden is. De tere, vaak roze gekleurde algen liggen vrij op de bodem van inhammen van zeeën en oceanen, vanaf de Noordelijke IJszee tot in de tropen. De soort *Lithothamnion* is afhankelijk van de breedtegraad. Grote oppervlakten van de zeebodem kunnen met deze merkwaardige rhodoiden zijn bedekt; voor de Noorse kust worden kilometers lange banken waargenomen. Ze worden vaak opgevist om als kalkmeststof te worden gebruikt.

## 6. Bruine algen (*Phaeophyceae*) = bruinwieren

Alle bruine algen zijn meercellig. Ze variëren sterk in grootte: er zijn microscopisch kleine, draadvormige soorten, maar ook soorten die meer dan 60 meter lang kunnen worden. Deze grote

soorten worden meestal bruinwieren genoemd. Hun *thallus* is zeer uiteenlopend van vorm: veterachtig, bladvormig, buisvormig vertakt, terwijl er ook soorten bestaan met enkele zeer uiteenlopende onderdelen, die een eigen functie hebben. Veel bruine algen zijn voorzien van luchtblazen. Hun bruine kleur hebben zij te danken aan de grote hoeveelheden bruine en gele pigmenten, met name het overheersende fucoxanthine, een xanthofylverbinding. Recente bruinwieren leven voornamelijk in de getijdenzone aan stenige kusten, waardoor de stenen erg glad worden. Slechts een klein deel leeft vrij, zoals *Sargassum*, die enorme zeeoppervlakten kan bedekken.

Aangezien slechts enkele bruine algen in staat zijn kalk af te scheiden of daartoe in staat zijn geweest, worden ze zelden als fossiel gevonden. Wel zijn een aantal verkieselde algen als fossiel bekend, zoals de *Prototaxites*-soorten. Deze vertonen zowel gelijkenis met bruine als met rode algen, maar worden tegenwoordig tot de eerstgenoemde groep gerekend. Ze kunnen worden aangetroffen tussen de zuidelijke zwerfstenen bij zand- en grindzuigerijen, o.a. in Arcen, de Havikerwaard en Azewijn. Ze lijken sterk op fossiel hout en worden daarmee vaak verward, maar bij een goede beschouwing is er geen houtstructuur waar te nemen. Bij sommige exemplaren kan men bij een sterke vergroting een dichte massa van dikwandige buizen waarnemen. Tussen de grote buizen - met een diameter van omstreeks 70 micron - bevinden zich grote aantallen dunne buisjes met een doorsnede van ongeveer 7 micron. Bij sommige stukken worden elkaar afwisselende zwarte en witte banen onderscheiden, die enigszins aan jaarringen doen denken, maar het niet zijn (kleurenfoto G). Ook doen de dikke, knolvormige prototaxieten vaak denken aan kwartsieten.

Er zijn zeer grote exemplaren gevonden. Zo ligt er één in het museum van het Oberbergische Land in het Slot Homburg in Nümbrecht, dat op een boomstam lijkt. De in Nederland te vinden exemplaren zijn sterk gerold door het transport in het rivierwater. Op de zijvlakken komen vaak ribbels voor.

De Prototaxieten worden wel beschouwd als landbewoners, waarvan de vestiging is mislukt.

Als herkomst van de zwerfstenen komen de omgeving van Uckerath in het Bergische Land, verder de Hunsrück, het Bergische Land en het Westerwald in aanmerking. In dat geval zijn ze van Devonische ouderdom.

## 7. Groene algen (*Chlorophyceae*)

De algen van deze klasse zijn groen gekleurd omdat het chlorofyl domineert. De soortenrijkdom is groot. Hun grootte varieert sterk, van 1 à 2 micron tot wel één meter. Er zijn ééncellige groene algen met twee zweepdraden, die door regelmatige delingen karakteristieke kolonies opbouwen van wel meer dan 5000 exemplaren. Andere soorten zijn meercellig en hun thallus bestaat uit vertakte en onvertakte draad- of lintvormige filamenten, de zgn. **trichomen**.

De meeste soorten leven in zoet water; ongeveer 15% is marien. De classificatie van de groene algen loopt in de verschillende handboeken nogal uiteen, zeker wat de indeling van de fossiele soorten betreft. Met betrekking tot de fossielen zijn twee orden belangrijk:

- A. de **Caulerpales**, vroeger Siphonales geheten en
- B. de **Dasycladales**.

### A. Caulerpales

De thallus van de Caulerpales bestaat uit vertakte, in elkaar gevlochten filamenten, die geen dwarswanden bezitten, waardoor ze in feite één grote cel vormen, de *coenocyt*, met verscheidene kernen.

Tot de Caulerpales behoort de familie **Udoteaceae**, vroeger **Codiaceae** genaamd - de enige van de 7 families met kalkafscheidende soorten. Hiertoe behoort o.a. de bekende *Palaeoporella*. Kleurenfoto H. Verschillende soorten van dit geslacht kwamen in het Ordovicium voor en zijn ook van het Siluur bekend. Als zwerfsteen kan men deze alg in Noordoost-Nederland en westelijk

Afb. 7. Groene alg. Schema van de bouw van knikkeralgen.  
 A: *Bornetella*; *Recent*; B: *Cyclocrinites*; *Ordovicium*.  
 CA = centrale as; 1L = primaire lateraal; 2L = secundaire lateraal;  
 G = verdikt uiteinde (*globellum*).

Duitsland nogal eens aantreffen, vermoedelijk afkomstig uit het Baltische gebied. In Zweden kan de alg *in situ* worden aangetroffen, o.a. in de kalksteengroeven van het Siljangebied. Het loof bestaat uit gelede buisvormige stengels, die vertakt zijn. Deze verkalkte filamenten vallen echter uiteen, zodat men in de zwerfstenen talrijke merkwaardige figuurtjes aantreft.

Andere bekende geslachten van deze familie zijn *Halimeda* en *Penicillus*, beide aanwezig vanaf het Boven-Krijt tot recent. Deze algen kunnen enkele decimeters hoog worden. De thallus van *Halimeda* - een geslacht met wel 25 soorten - bestaat uit segmenten die sterk verkalken, hun verbindingen daarentegen niet. Nadat de alg is afgestorven valt ze geheel uiteen, zodat niets als fossiel aangetroffen wordt. Evenals *Penicillus*, die het uiterlijk heeft van een scheerkwast, is *Halimeda* met een knolvormige voet aan de bodem gehecht. Beide algen zijn enorme sediment-leveranciers. Onderzoek heeft aangetoond dat *Penicillus*-algen bij zes "oogsten" per jaar wel 25 gram en *Halimeda*-soorten zelfs 90 gram calciumcarbonaat per m<sup>2</sup> opleveren, in de vorm van aragoniet. Men noemt dit wel "koraalzand".

## B. Dasycladales

Wat de Dasycladales betreft, de thallus van deze algen bestaat ook uit één grote coenocyt, maar hier is slechts één kern aanwezig. Vanaf het Vroeg-Ordovicium zijn ze bekend, maar na het Trias neemt hun betekenis sterk af. Het recente geslacht *Bornetella* staat model voor de constructie van de fossielen van de superfamilie *Cyclocriniteae*, waartoe enkele families behoren, die de bekende "knikkeralgen" bevatten: *Cyclocrinites*, *Coelosphaeridium*, *Mastopora* en *Apidium*.

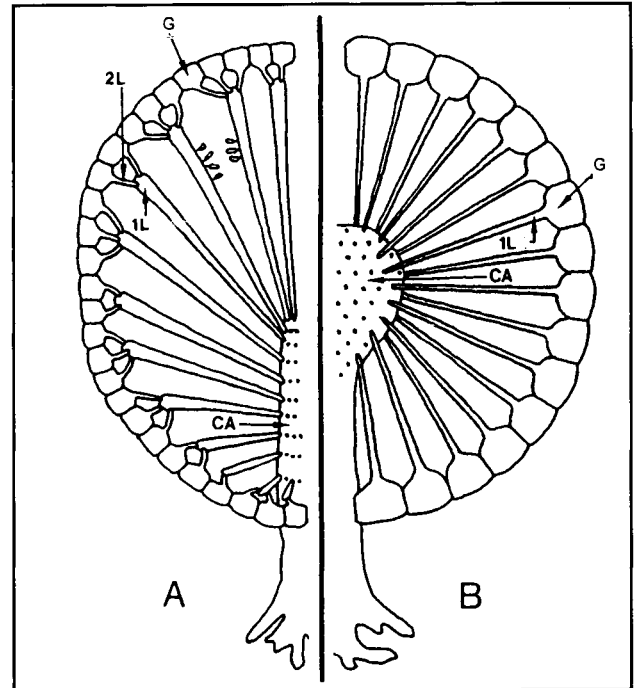
*Cyclocrinites*-soorten variëren sterk in grootte, van ongeveer 1 cm tot wel 5 cm. Hun thallus is opgebouwd vanuit een knotsvormig verdikte hoofdas, waaruit naar alle kanten zijtakjes stralen - de zgn. **lateralen**. De uiteinden hiervan (de **globella**) zijn verdikt en liggen tegen elkaar aan, waardoor een bolvorm ontstaat. Afb. 7. Meestal worden steenkernen gevonden waarop de hexagonale afdrucken van de lateraal-uiteinden goed zijn waar te nemen, evenals op de tegenkanten in het gesteente waaruit de alg afkomstig is.

Veel fraaier zijn de *Coelosphaeridium*-fossielen, die meestal in fragmenten worden aangetroffen. Daardoor valt hun opbouw goed waar te nemen. Kleurenfoto I. Vanuit de knotsvormige hoofdas stralen de dikke lateralen naar alle kanten.

*Mastopora* zou zo groot zijn als een sinaasappel, maar is voor zover mij bekend nooit als zodanig aangetroffen. Wel worden er brokstukken gevonden, maar het meest opvallend zijn bij dit fossiel de fraaie hexagonale afdrucken met middenin een stip. Vaak worden hierop ook nog de verdikte hexagonaalvormige lateraaluiteinden aangetroffen.

*Apidium* is veel minder bekend, vermoedelijk door zijn nietigheid. Het fossieltje is peervormig, vaak met sediment gevuld en door limoniet bruin gekleurd.

Deze fossielen zijn nog steeds, zij het met de nodige moeite, te vinden in de grindhopen van zandzuigerijen in Noordoost-Nederland en het aangrenzende Duitse gebied: Ulsen en omgeving. Ze hebben hun oorsprong in het Baltische gebied en bevinden zich voornamelijk in de zgn. "baksteenkalk" uit het boven Midden-Ordovicium. Nog enkele andere algen kunnen in de "baksteenkalk" worden aangetroffen zoals *Vermiporella*, maar ze zijn nauwelijks met het blote oog waar te nemen. De hierboven besproken algen kunnen ook in Noorwegen *in situ* worden aangetroffen, o.a. in de verweerde, kalkige zandsteen op het Nes-schiereiland in het Hamar-district. Behalve zeer kleine *Cyclocrinites*-bolletjes hebben wij ook talrijke *Coelosphaeridium*-algen gevonden, die veel groter zijn dan die uit de "baksteenkalk". Vermoedelijk zijn de Noorse van een andere soort. Kleurenfoto J.



Hoewel de Dasycladales reeds vroeg in het Paleozoïcum aanwezig waren, werden ze later veel belangrijker.

Talrijke nieuwe soorten verschenen in het Carboon en Perm. Fraaie Carbonische algen kunnen in de Karawanken (Slovenië) worden gevonden, zoals *Anthracoporella spectabilis*, met zijn ronde, ringvormig verdikte trichomen, die dikke wanden hebben en waarop de littekens van de inplantingen van de zijscheuten goed zijn waar te nemen.

In het Perm en Trias komt *Diploporella annulata* sterk naar voren. Deze alg heeft een rechtopstaande stengel gehad, die op doorsnede in het gesteente ronde en ellipsvormige figuurtjes laat zien. Deze alg wordt vrij algemeen in het Permo-Trias van de Karawanken en in de Karnische Alpen van Oostenrijk gevonden. Tijdens het Midden-Trias hadden de Dasycladales hun hoofdbloei, maar daarna nam hun betekenis af.

Wel kwamen er in het Krijt weer nieuwe soorten, evenals in het Tertiair. Toen verscheen ook een fraaie alg die nog steeds recent aanwezig is: *Acetabularia*, die op een paddestoeltje met een lange steel lijkt. Goede zoekers kunnen in het Bekken van Parijs op verschillende plaatsen fraaie, kleine algenskeletjes verzamelen, zoals van *Dactylopora* en *Neomeris*, o.a. in Auvers-sur-Oise en Fercourt.

## Receptaculieten

Een hoofdstuk apart vormen de veelgezochte **receptaculieten**. Het is een groep uitgestorven organismen, waarvan de identiteit lang onduidelijk is geweest en nog steeds aanleiding geeft tot discussie. Ze worden thans algemeen tot de algen gerekend, meestal tot de Dasycladales, maar in verband met hun inwendige structuur daarin als een aparte familie beschouwd. Het zijn mariene organismen, die vanaf het Ordovicium tot en met het Devoon belangrijk waren. Ze waren rifvormend en worden o.a. in de biohermen van het Belgische Devoon - vooral in het Frasnien - aangetroffen. Hun uiterlijk kan sterk variëren en is afhankelijk van de soort. Meestal zijn ze discus-, bol- of peervormig tot langgerekt elliptisch. Vaak is er een opening aanwezig. Of deze nu aan de onder- dan wel aan de bovenzijde lag, is een punt van discussie; mogelijk afhankelijk van de soort.

In principe bestond de alg uit een centrale as, die lang en hol was en niet verkalkt. Rondom deze as waren zijtakken ingeplant, meestal spiraalsgewijs. Deze zijtakken worden **meromen** genoemd. In vergelijking met de lateralen van de knikkeralgen zijn ze dik tengevolge van kalkafscheiding. De meromen bestaan uit een bij de centrale as gelegen voetje, een zultje en aan het

uiteinde daarvan niet een speciale verdikking, maar een plaatje. Deze plaatjes zijn vaak vierhoekig van vorm en vormen zo de buitenkant van het fossiel, zoals het wordt gevonden. Bij sommige geslachten sluiten de plaatjes niet geheel tegen elkaar aan, maar zijn er openingen tussen. Vandaar dat men ze vroeger voor sponzen heeft gehouden.

Een bekende als zwerfsteen in ons land gevonden receptaculiet is *Ischadites*, afkomstig uit een zuigerij in Westerhaar; deze ligt in het museum Natura Docet in Denekamp. Het is lange tijd het enige exemplaar gebleven. Later zijn er in de Groningse keileem een groot aantal receptaculieten gevonden, wat aanleiding is geweest tot een diepgaand onderzoek, waaruit bleek dat men te maken had met de soort *Tetragonis sulcata*.

Een andere soort, *Receptaculites neptuni* kan (kon) in het Ordovicium van Öland worden aangetroffen en ook in het Siluur van Gotland. Zie kleurenfoto K.

Verdere vondstmogelijkheden liggen in de Belgische en Franse Ardennen; in de omgeving van Couvin komt *Receptaculites neptuni* voor en in Trelon (Fr.) *Sphaerospongia tessellata*.

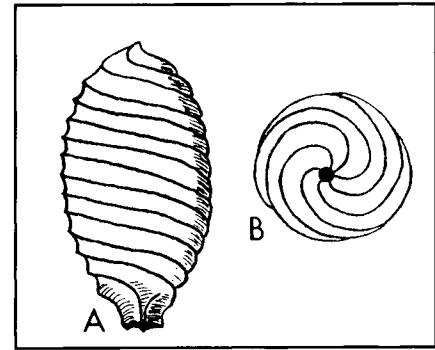
## 8. Kranswieren (*Charophyceae*)

Meestal worden de interessante kranswieren als een klasse van de groene algen beschouwd, omdat ze in het bezit zijn van dezelfde pigmenten en dezelfde reservestof zetmeel. Ze vormen echter een groep die zowel morfologisch als fysiologisch sterk verschilt met de andere klassen van de groene algen.

De kranswieren zijn rechtop groeiende, vertakte thallusplanten, bestaande uit een hoofdas met afwisselend knopen en internodiën. Ze zijn met **rhizoïden** aan het substraat verbonden. Door hun uiterlijk met knopen en geleidingen werden ze in het verleden wel als paardenstaarten beschouwd. Elke knoop draagt een krans van "zijscheuten", waaraan zich de voortplantingsorganen ontwikkelen. Door hun sterke gelijkenis met hogere planten, ook wat de pigmenten betreft, worden ze wel als intermediair tussen algen en mossen gezien. Vandaar dat sommige onderzoekers de kranswieren als een apart fylum beschouwen.

Hoewel er tijdens het Devoon talrijke families waren en ze tijdens het Krijt hun bloeitijd hadden, bestaat er tegenwoordig nog maar één familie: de **Characeae**, met als belangrijkste geslacht *Chara*. Zie de voorplaat.

Afb. 8. Kranswier.  
*Gyrogoniet van Palaeochara acadica*.  
A: van opzij gezien;  
B: van boven.  
Tertiair.  
Hoogte ± 0,3 mm.



Het zijn voornamelijk zoetwaterplanten, die bij voorkeur in stilstaand water van vijvers, sloten en meren leven. Een enkele soort komt nog in brak water voor, in marien milieu zijn ze onbekend. Verondersteld wordt, dat de fossiele soorten in overeenkomstige niet-mariene milieus hebben geleefd.

Zowel het loof als, met name, de vrouwelijke geslachtsorganen: de **oögoniën** - verkalken in de vorm van calciet. Na de bevruchting ontstaat een sporangium, die door een harde wand is omgeven; deze wordt gevormd door vijf cellen, die er spiraalsgewijs omheengroeien. De gecalcificeerde vruchten worden **gyrogonieten** genoemd. Afb. 8. Deze worden gefossiliseerd gevonden in afzettingen vanaf Silurische ouderdom.

Andere verkalkte delen van de kranswieren zijn fossiel niet bekend. Wel komen ze recent massaal voor: ze werden vroeger wel gebruikt als meststof.

De gecalcificeerde gyrogonieten zijn karakteristiek voor de soort. Aangezien vele soorten een snelle evolutie doormaakten, worden gyrogonieten gebruikt voor het opstellen van een biostratigrafie, met name voor het Trias.

Omdat de gyrogonieten slechts ongeveer één millimeter groot zijn, kunnen ze alleen worden verzameld door sediment van bekende vindplaatsen te zeven. Vooral in Tertiaire afzettingen komen ze voor, zoals in het Bekken van Parijs, o.a. bij La Chapelle en Serval (Eoceen) en in de zanden van Boutersem (Oligoceen) in België.

Wordt vervolgd

# Amethist, citrien en ametrien

Ernst A.J. Burke  
Faculteit Aardwetenschappen  
Vrije Universiteit Amsterdam

## Inleiding

Chemisch zuivere kwarts, puur  $\text{SiO}_2$ , zonder insluitels is kleurloos en doorzichtig: deze relatief zeldzame verschijningsvorm van kwarts wordt bergkristal genoemd. Andere variëteiten van kwarts zijn gekleurd, en wel door twee verschillende mechanismen, namelijk door kleurcentra of door insluitels. Kwartsvariëteiten die hun kleur door insluitels verkrijgen zijn bv. melkkwarts (door fluïde insluitels), praas of prasem (insluitels van actinoliet), blauwe kwarts (Tyndall effect door insluitels van toermalijn of rutiel), saffierkwarts (insluitels van riebeckiet) en aventurin (insluitels van verschillende glimmers of hematiet).

Kwartsvariëteiten die hun kleur aan kleurcentra ontleen zijn citrien (geel tot bruin), amethist (paars), ametrien (afwisselend geel en paars), rookkwarts en morion (donkerbruin tot zwart), prasioliet (groen) en sommige roze kwarts.

Voor het ontstaan van kleur in kwarts door kleurcentra moet aan twee voorwaarden worden voldaan: de aanwezigheid van andere elementen dan silicium (op de plaats van de siliciumatomen in het kristalrooster en/of ertussen) en blootstelling aan ioniserende straling of warmte.