

afb. 7. *Olenus truncatus*, een trilobiet uit het Boven-Cambrium van Andrarum, Zuid-Zweden, afm. 1 cm, collectie en foto: J. van Diggelen.

GROEILIJNTJES: fossiele en recente organismen leveren belangrijke astronomische gegevens

door Dr. J. van Diggelen

De belangstelling van geologen en geofysici voor groeilijntjes in fossiele en recente organismen ontstond door een idee van Wells (1963). Hij beweerde dat die **groeilijntjes op fossiele koraaltakken dagelijks ontstonden** en dat ze verenigd waren in groepen, die blijkbaar jaarlijkse groeibandjes vormden.

Die jaarlijkse groeibandjes worden naar men denkt veroorzaakt door verandering in de kalkafzetting van de poliep tengevolge van temperatuursinvloeden. Tijdens de koudere periode wordt de kalkafzetting minder of houdt geheel op. Reeds Whitfield stelde in 1898 voor dat de evenwijdige concentrische merktekens op de epitheca (dat zijn de buitenwanden van de skeletten) van goed geconserveerde koralen jaarlijkse groeilijnen zouden zijn, ontstaan tengevolge van seizoenveranderingen van de temperatuur. Wells controleerde het aan de hand van recente koralen. Als de hypothese juist is dan moeten de jaarringen het duidelijkst te zien zijn bij koralen die zover mogelijk van de evenaar af groeien, omdat daar de jaarlijkse temperatuurverschillen het duidelijkst zijn. Omgekeerd moeten bij de evenaar, waar die jaarlijkse temperatuursschommelingen klein zijn, de jaarbandjes afwezig zijn of zeer slecht zijn ontwikkeld. Het is daarom interessant te zien dat koralen uit het Viséen en Namurien uit Noord-Engeland geen aanwijzingen van groeibandjes vertonen. Die groeiden dan ook op plaatsen binnen 10° verwijderd van de evenaar uit het Carboon. De fossiele koralen van Wells met duidelijke jaarbandjes komen van een plaats, die bijna 40° ten zuiden van de Devonische evenaar ligt.

Zijn idee vond gehoor bij de geofysici, die belangstelden in de geschiedenis van het stelsel aarde-maan en in de invloed van de getijdekrachten op de aardrotatie in het geologisch verleden. Ze ontwikkelden de gedachte dat deze gegevens over de invloed van de getijdewerking in het verleden bijeen zouden kunnen worden gezocht door vergelijking van groeiverschijnselen in fossiele en recente organismen. De maan oefent de belangrijkste invloed uit op de getijden en koraalgroeilijntjes zouden dan die getijdeactiviteit weergeven, omdat ze duidelijk laten zien dat de dagen

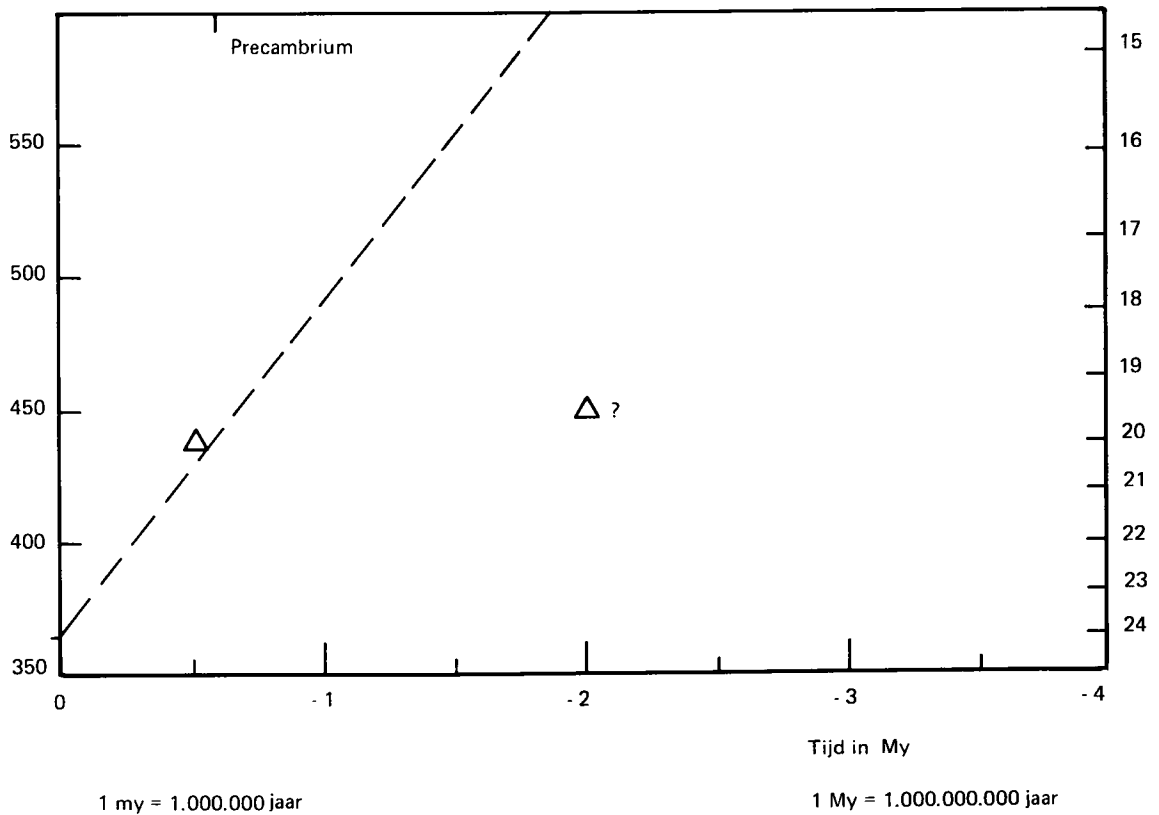
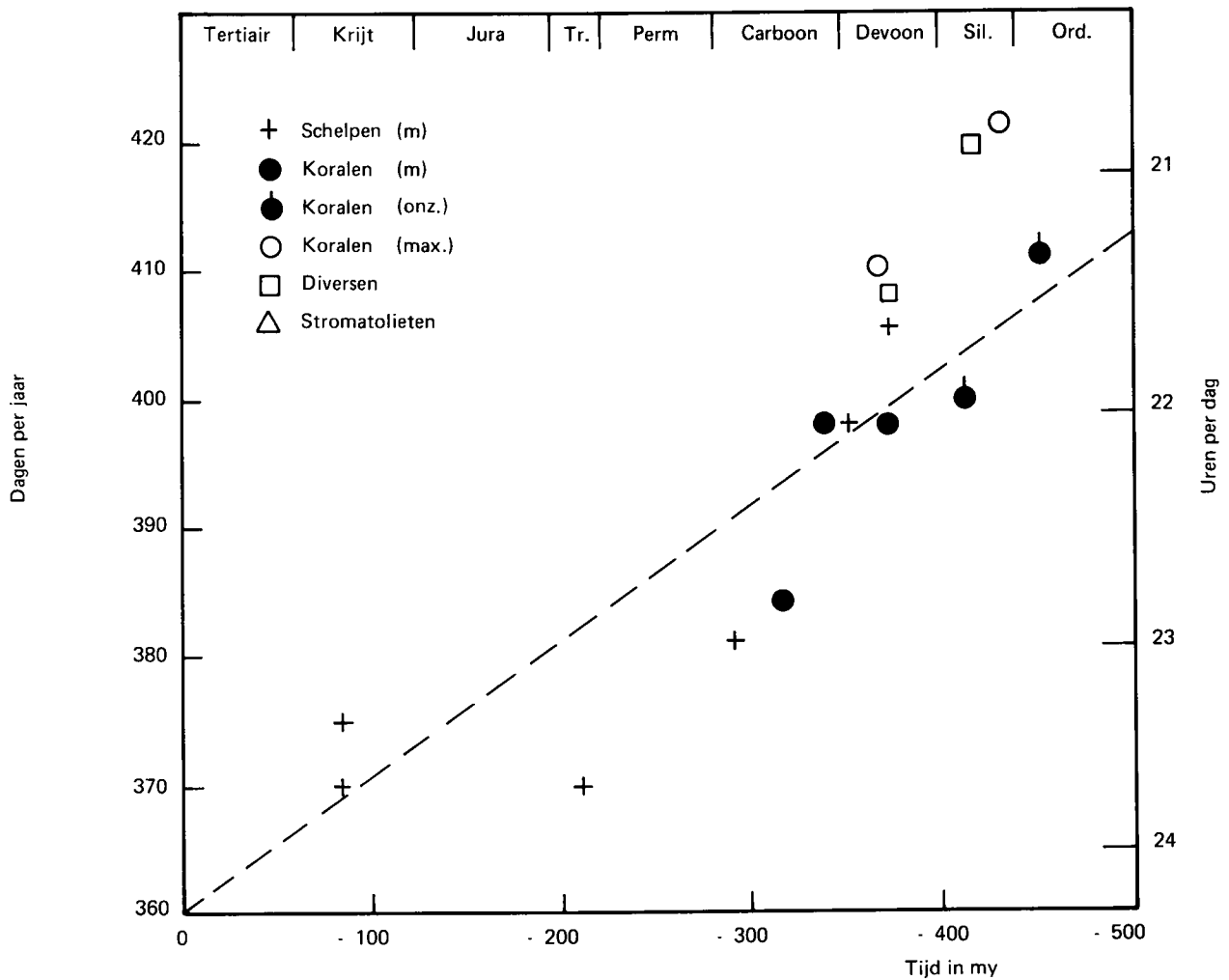
langer zijn geworden omdat het aantal uren in een dag in het geologische verleden minder was dan 24. Zie fig. 1 en 2.

De dagen waren korter

Wells beschikte over weinig experimentele gegevens om daarop zijn denkbeelden te baseren betreffende het dagelijks aspect van de groeilijntjes, die hij waarnam. De belangrijkste steun ondervond zijn idee van de nauwe overeenkomst tussen het aantal groeilijntjes dat in een jaarring geteld werd op bepaalde epitheca van Devonische koralen en het aantal dagen in het jaar in het Devoon dat berekend was uit astronomische gegevens. Die lieten zien dat de rotatiesnelheid van de aarde afnam met 2 sec per dag in 100.000 jaar, geëxtrapoleerd tot in het Devoon. Wells telde ongeveer 400 dagen in het jaar in het midden van het Devoon uit zijn groeilijntjes op koralen en hij wees er op dat dit aantal klopte met de astronomische extrapolatie, aannemende dat de tegenwoordig waargenomen vertraging van de aardrotatie gelijk is gebleven sinds het Paleozoicum.

De grafiek waarin Wells het aantal dagen in het jaar uitzette tegen de geologische tijd was een rechte lijn en daaruit volgt een constante vertraging van de aardrotatie gedurende het Phanerozoicum: 19.29 sec/My (miljoen jaar). (Hij gebruikte radiometrische ouderdomsbepalingen van Kulp uit 1961, die intussen zijn verbeterd door Lambert. Deze revisie reduceert de vertraging van 20.8 tot 19.29).

Met behulp van de tellingen van Johnson en Nudds (1974) kan de vertraging van de aardrotatie tussen nu en het Viséen (Onder-Carboon) worden bepaald en dan vindt men 17.18 sec/My. Blijkbaar was de vertraging ongewoon groot tussen Devoon en Carboon (35.45 sec/My). Een groot deel van die vertraging wordt toegeschreven aan wrijving van de getijden in ondiepe randzeeën en wijde estuariën. Paleogeografie van Boven-Devoon en Onder-Carboon laat een universele mariene transgressie zien, die leidde tot uitgebreide lage kustvlakten en veel ondiepe



randzeeën. De paleogeografische condities waren blijkbaar geschikt voor zeer sterke getijdekrachten tijdens die tijdsperiode en dit zou dan blijken uit een grotere vertraging in de aardrotatie, zoals die bepaald wordt uit de bandjes op de epitheca van de fossiele koralen uit die tijd. Sündermann en Brosche (1978) pakten dit geheel anders aan. Zij berekenden numeriek de getijdewrijving in de oceanen van nu en met behulp van paleogeografische kaarten ook voor diverse geologische tijdvakken in het verleden. Fig. 3.

Niet alleen de dagen waren korter, ook de maanden

Verdere belangrijke vooruitgang maakte Scrutton (1965), die weer met koralen uit het Midden-Devoon werkte. Hij zag de dagelijkse groeilijntjes maar ook regelmatige bandjes van kortere periode dan de jaarlijkse groeistukjes, die hij niet kon identificeren. Door tellen stelde hij vast, dat er gemiddeld 30.59 dagstukjes in ieder van de door hem opgemerkte bandjes zaten. In 1970 berekende hij dat opnieuw en vond er nu 30.66 per bandje. Uit Wells' gegevens volgde dat er 399 dagen in het jaar waren in die tijd. Dat betekent dat er 13.04 bandjes van Scrutton per jaar werden gevormd (met zijn latere gegevens werden dat er 13.01 per jaar) en hij concludeerde dat dit wijst op een **maandelijks effect** op de groei van het koraal. Studies van moderne koralen geven weinig hiervan te zien, maar er zou minder kalk kunnen worden afgezet tijdens volle maan en wanneer de koralen zich voortplanten en er is in sommige gevallen een maandelijks insnoering in de epitheca opgemerkt. Een directe invloed van het getij zou ook een belangrijk gevolg kunnen hebben maar in ieder geval wordt met deze methode geprobeerd de lengte van de **synodische maand** vast te leggen. De synodische maand is het aantal uren tussen volle maan en de daaropvolgende volle maan. Uit het werk van Scrutton volgt dat er 13.01 synodische maanden in het Devonische jaar waren. Nu telt het huidige jaar 12.53 synodische maanden. De synodische maand wordt dus langer. De groei van de koraal *Porites lobata* is bestudeerd door Buddemeier en Kinzie aan de noordwestkust van het Hawaï eiland Oahu in de Grote Oceaan. Variaties traden periodiek op, geassocieerd met de volle maan. De lineaire groeisnelheid toont hoofdzakelijk seizoenvariëaties, waarbij de sterkste groei in de zomer plaats vindt. Buddemeier vindt, dat de periodieke groeivariëaties samenhangen met de fase van de maan en met de hoogte van de getijden. De voedseltoevoer varieert met de maanfase. Mazullo analyseerde verder de groeilijntjes en maandbandjes van Silurische en Devonische koralen en brachiopoden. Zijn getallen komen in het algemeen overeen met vroegere onderzoeken behalve dan dat hij het grootst getelde aantal aanhoudt in plaats van het gemiddelde of de modus van een groep gegevens en zijn uitkomsten zijn dus verhoudingsgewijze aan de hoge kant.

Fig. 1. Het aantal dagen in het jaar was vroeger groter dan nu. Daar het jaar echter wel evenveel uren telde, was de dag korter dan 24 uur. De kruisjes, puntjes, enz. zijn de resultaten van tellingen afgeleid van fossielen (m = mean, d.w.z. gemiddelde waarde, ONZ = onzeker, MAX = maximale waarde). De schuine lijn is de afname volgens de astronomen Muller en Stephenson, afgeleid onder meer uit de verplaatsingen van de totaliteitszone van zonsverduisteringen in de afgelopen dertig eeuwen.

Zodra maandbandjes duidelijk zijn te zien, kunnen twee belangrijke metingen worden uitgevoerd. Allereerst kan het aantal dagen in een maand worden geteld en door dit te vermenigvuldigen met het aantal maanmaanden in het jaar kan ook het aantal dagen in het jaar worden berekend. In de tweede plaats kan de groeisnelheid van de koralen per maand worden bepaald. We noemden al het werk van Johnson en Nudds, die dit deden bij **Lithostrotion**-soorten uit het noorden van Engeland. Ze vonden zo dat er in het Onder-Carboon (in het Viséen) 391.09 dagen in het jaar waren.

Ook schelpen blijken bruikbaar

Het werk van Wells inspireerde en vormde een leidraad voor vele geleerden. Panella en Mac Clintock concludeerden uit hun proeven met recente dieren van de schelpsoort *Mercenaria mercenaria* (die tegenwoordig ook aan de Europese kusten voorkomt) dat ook deze dieren dagelijkse groeilijntjes vertoonden. Zij hebben hun werk uitgebreid tot meer dan 40 soorten **levende en fossiele schelpen** en konden overal daarbij dagelijkse groeilijntjes vaststellen (fig. 4).

Voor een juist begrip van de terminologie die door diverse onderzoekers gebruikt wordt is het goed de volgende begrippen goed uit elkaar te houden en vast te leggen:

1. een **cyclus** is een zich regelmatig herhalende geofysische gebeurtenis, zoals bijvoorbeeld eb en vloed.
2. **rhythme** is een zich regelmatig herhalende fysiologische gebeurtenis in een levend organisme, zoals het open en dicht gaan van een schelp.
3. **periode** is de tijd tussen het beginnen van een gebeurtenis en het opnieuw beginnen er van.
4. **bioklok** is een tijdmechanisme in een organisme dat rhythmische gebeurtenissen in zijn levensprocessen in stand houdt, zowel in aanwezigheid of bij afwezigheid van cyclische gebeurtenissen.

Om te weten te komen of in een organisme een bioklok aanwezig is moet men in dat organisme een of ander levensproces onderzoeken, terwijl het geïsoleerd leeft van diverse cycli. Blijkt er toch rhythmiciteit aanwezig onder constante condities dan heeft het organisme inderdaad een bioklok. Thompson stelde zo vast dat schelpen inderdaad een bioklok bezitten. Dit bleek onder meer uit proeven met *Mercenaria mercenaria*. Deze bioklok controleert het rhythme van het bewegen van de kleppen, bepaalt het open en dicht gaan en het groeien. Onder constante condities ging het regelmatig openen en sluiten van de schelpen voort.

Uit een studie van Evans bleek dat er slechts één uitwendige cyclus is die gelijktijdig met de groeilijntjes op de schelp varieert en dat is het regelmatig boven water komen tengevolge van de getijden. Hij veronderstelt dat wanneer het dier onder water ligt (dus bij vloed) de schelpen zich openen om voedsel op te nemen. Als de schelpen open staan kan de mantel de rand van de schelp overdekken en er kan calciumcarbonaat worden afgezet voor op de rand. Als het beest bij eb boven water komt, sluiten de schelpen zich en dit onderbreekt tijdelijk de groei van de schelp en het pas gevormde laagje calciumcarbonaat wordt bedekt met een zeer dun laagje conchiolin. Dit proces vormt de groeilijntjes.

Sommige soorten openen zich bij voorkeur tijdens de nachtelijke uren, zodat er nu slechts een maal per dag een groeistuk ontstaat. Dit is bijvoorbeeld zo bij *Cerastodema edule*, zoals bleek uit een onderzoek van Whyte, in Pool Harbour in Dorset uitgevoerd. De groeilijntjes die tijdens de vloed overdag hadden moeten ontstaan zijn meestal niet te zien of veel smaller.

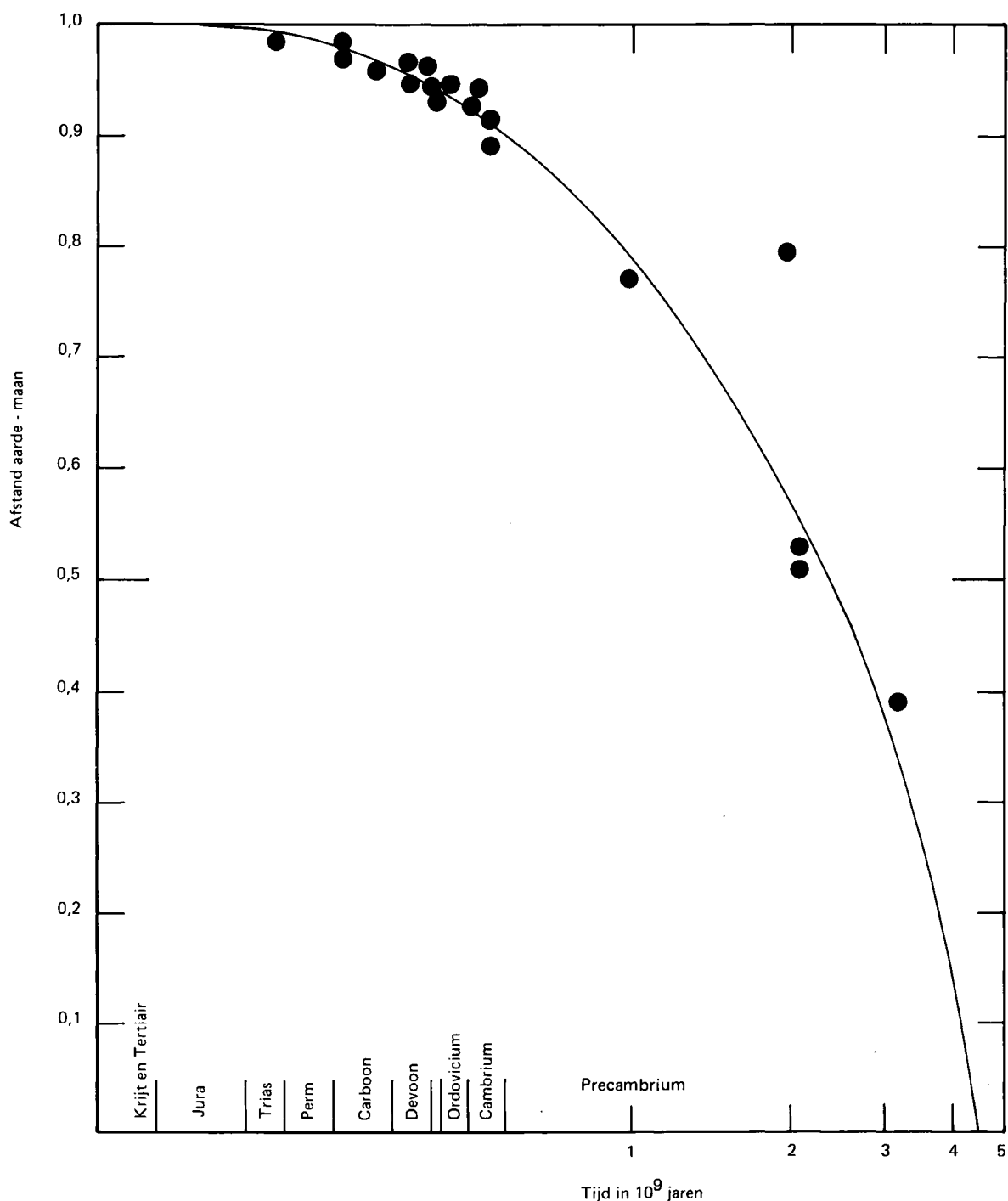


Fig. 2. Het afnemen van het aantal dagen in het jaar gaat gepaard met een toenemen van de afstand aarde-maan in de loop van de afgelopen 4½ miljard jaar.

Getijde-indicatoren

Een fossiel, dat een dergelijk patroon van groeilijntjes vertoont, kan de paleontoloog dus allerlei interessante dingen vertellen. Het dier moet geleefd hebben in het midden van de getijdezone in een zandvlakte, tamelijk beschut tegen de golflslag en tweemaal per etmaal onder invloed van de getijden. Hij weet nu dat uit de lijntjes ongetwijfeld de synodische omlooptijd van de maan afgeleid zou kunnen worden. Hij moet dan het aantal keren tellen waarop springvloed en doottij optraden gedurende een jaar. Ongetwijfeld vormen bepaalde soorten schelpen een van de belangrijkste hulpmiddelen bij

toekomstig geochronometrisch onderzoek. Er zijn een groot aantal experimenten op dit gebied uitgevoerd. Barker (1964) maakte slijpplaatjes van zeer veel recente mossels en andere tweekleppige schelpen van plaatsen langs de oostkust van de Verenigde Staten en zag daarin een aantal reeksen groeilijntjes. Hij wees er op, dat de fijnste groeilijntjes in groepen voorkwamen. Deze groepen vormen ribbels en groeven, die zichtbaar waren op het schelpoppervlak. Een zo'n groef of ribbel bestond meestal uit ongeveer 15, of bij andere soorten 29 of 30 groeistukjes. Hij wees ook op het in groepen voorkomen van groeven op de schelpen van sommige soorten mossels die hij onderzocht. Iedere groep bestond uit 12 of 24 ribbels

of groeven. De groepen van 15 of 29 à 30 fijne groeistukjes waren naar Barkers mening het gevolg van de invloed van de getijden, die een halfmaandelijkse of maandelijkse cyclus vertonen.

De grote groepen groeven zouden bijna gelijk zijn aan groeven die zich een keer per jaar vormden bij het volledig of bijna geheel stoppen van de groei van de schelp in de wintermaanden (bijvoorbeeld bij de Pismo mossel, sommige hartschelpen, kokkels, en *Tellina tenuis*). Een juiste interpretatie van het patroon van de groeilijntjes moet niet alleen rekening houden met de plaats waar het dier leefde maar ook met de plaatselijke getijdesituatie. Langs de kust van de Golf van Californië werden in ondiepe gedeelten stukken afgebakend en bepaalde soorten schelpen verzameld, gemerkt en weer teruggezet. Na 21, 35 en 72 dagen werden steeds enkele opnieuw opgevisst. Het bleek dat er bij iedere vloed een klein getijdestukje werd opgebouwd en de invloed van de twee weken durende getijdencyclus bleek uit groepen fijne groeistukjes.

Chione undatella vormde in de winter een groef. *Cardium edule* doet dat jaarlijks. Farrow (1972) vond bij recente schelpen van *Cerastodema edule* groeionderbrekingen, die een gevolg waren van het droog komen te liggen bij doortij en daarom een synodische periode van 29 dagen vertoonden. Ze hangen samen met een diepe groef op de schelp. Er is weinig groei in de winter tussen november en maart. Getijden tijdens stormen kunnen de dieren storen, zodat er zich storingsringen ontwikkelen, die het onderbreken van de groei voor een of meer getijden aangeven. Ook als de schelpen lang boven water komen of bij vorst ontstaan die.

Clark van de universiteit van New Mexico onderzocht uitvoerig de groeilijntjes bij de familie van de Pectinidae.

Fig. 3. De vorm van de oceaan (gearceerd) en de ondiepe zeeën (gestippeld) in het Perm rondom het toenmalige supercontinent Pangaea volgens de paleografische wereldkaart van Dietz en Holden. Sündermann en Brosche gebruikten dit soort kaarten om de getijden en hun invloed op de aardrotatie te berekenen in de vroegere geologische tijdperken.

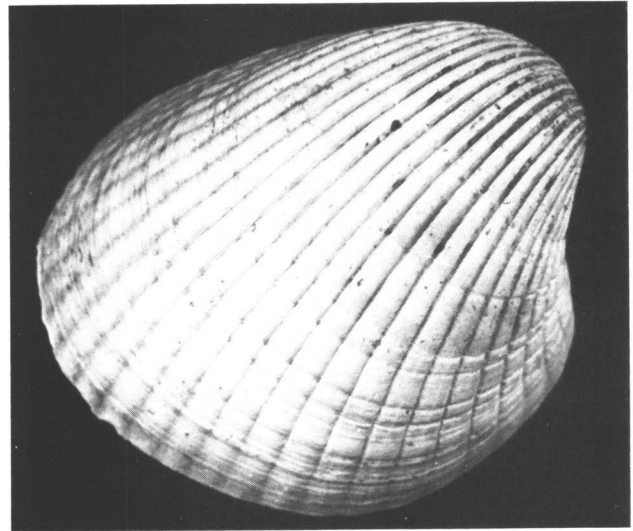
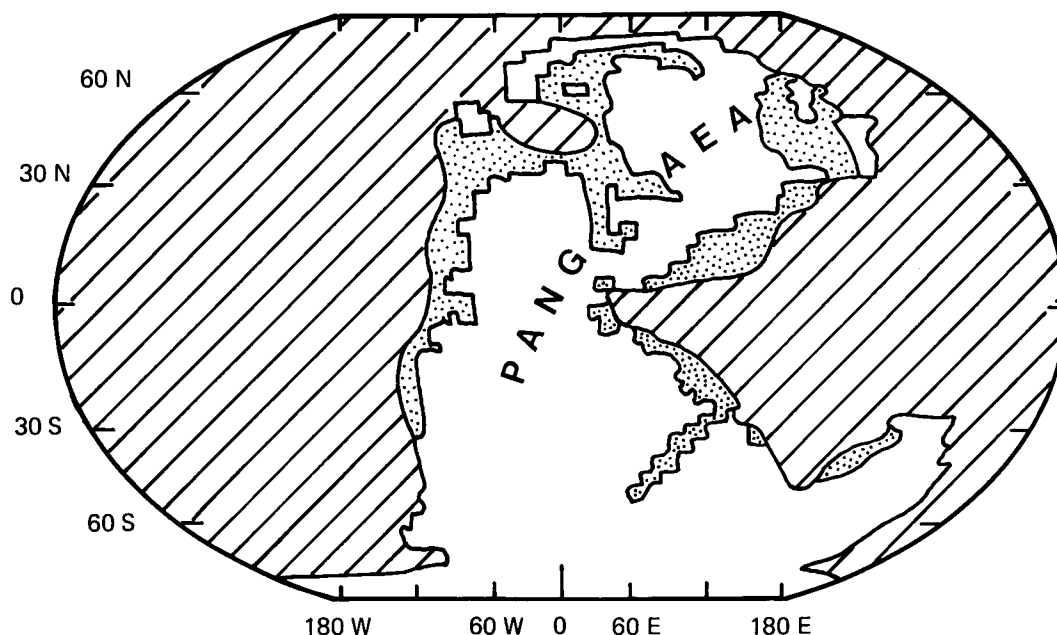


Fig. 4. Ook fossiele schelpen vertonen soms duidelijke dagelijkse groeilijntjes, zoals deze Cardita planicosta uit het Eoceen van Whitecliff Bay. Hoogte van de schelp ± 4 cm.

Bij de supergenera *Pecten* en *Argopecten* zijn de groeilijntjes in het algemeen zeer dunne strookjes of ribbeltjes tussen de echte ribben in. Bij het genus *Chlamys* zijn het rijen uitsteekseltjes op de ribben.

Clark kweekte *Pecten diegensis* in aquaria. De omstandigheden bleken soms minder groeilijntjes dan een per dag te veroorzaken maar nooit meer. Bij een onderbreking in de groei manifesteerde zich dat door storingslijnen. De groei tussen de lijnen varieert met de uiterlijke condities, maar het variatiepatroon is hetzelfde voor alle soorten, die in eenzelfde omgeving groeien, zoals blijkt uit de door Clark vervaardigde groei afstandskrommen. Hij experimenteerde ook met *Pecten vogdesi* (fig. 5), waarvan de rechterschelp diep convex is en de linker plat of concaaf. De rechter is licht gekleurd, de linker donker. De rechter heeft vlakke ronde ribben en geen concentrische sculptuur, behalve

storingslijnen. De linker heeft afgeplatte ribben met fijne concentrische groeiribbels net als *Pecten diegensis*. De resultaten verschilden weinig met die van de vorige soort. Steeds bleken de groeilijntjes daglijnen te zijn. Daarentegen vond hij bij *Argopecten gibbus* onder bepaalde condities twee lijntjes per dag.

Het onderzoek vond plaats in het Kerckhoff Laboratorium in Newport Bay gelegen in een estuarium en het zeewater in het laboratorium varieert met de getijden in hoogte en temperatuur. De dieren werden uitgezet in grote aquaria vlak bij het raam en ontvingen in het algemeen overdag geen kunstlicht. Er ontstonden echter veel meer groeilijntjes bij een belichting van acht uur gevolgd door acht uur duisternis, enz. Blijkbaar zijn ze dus wel in zekere mate een respons op de licht-donker variatie, hun vorming is een biologisch rythme.

Hall Jr. onderzocht de schelp *Callisto chione* uit de noordelijke Adriatische Zee maar ook fossiele exemplaren uit het Pliocene en Pleistoocene van Italië. Het aantal groeilijntjes bleek samen te hangen met de leeftijd van de dieren maar ook met de geografische breedte, zoals onderzoek van dieren van de westkust van Noord-Amerika leerde. Ook vond Dolman dat de groeistukjes kleiner worden naarmate het individu ouder is bij alle diersoorten, die zulke groeilijntjes vertonen, met uitzondering van stromatolieten. Mogelijk is het aantal getelde groeilijntjes in de fossiele exemplaren dus ook een aanwijzing voor een warmere zee in het Pliocene.

Behalve groeipatronen bij schelpen zijn ook groeilijntjes van **cefalopoden** en **stromatolieten** onderzocht. Dit soort werk is uitvoerig besproken door Scrutton en Hipkin, die het hele terrein van fossiele geochronometers bespreken evenals de toepassing van de eruit afgeleide resultaten.

Stromatolieten

Volgens Cloud zijn stromatolieten misschien de oudst bekende biologische organismen. Het zijn fossiele overblijfsels van blauwgroene algen en bacteriën (fig. 6). Omdat in die overblijfsels identificeerbare sporen van periodieke storingslijnen in de omgeving, zoals de dagelijkse getijden, seizoenfluctuaties in temperatuur of lichthoeveelheid zijn vastgelegd, bieden zij de mogelijkheid om onze kennis daarvan uit te breiden tot diep in het verleden.

Het is gemakkelijk te begrijpen, hoe die dagelijkse en jaarlijkse regelmatig terugkerende cycli de algen beïnvloeden, waarvan iedere soort weer anders zal reageren op het wisselen van droge en natte tijd in het jaar en diverse

Fig. 5. Dagelijkse groeilijntjes op de recente schelp *Pecten vogdesi* (hoogte ± 3 cm).

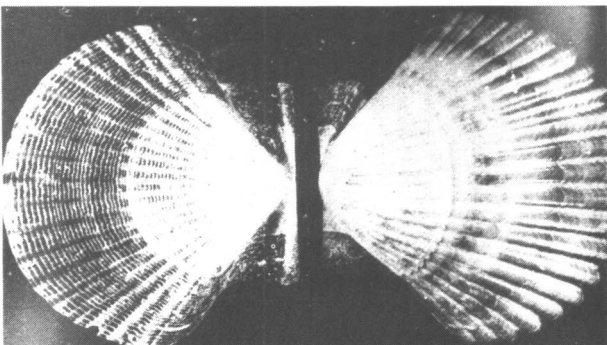


Fig. 6. Stromatolieten zijn grote bolvormige overblijfsels van Precambriëse algen, die nu als fossielen worden gevonden.

andere wisselende condities in zo'n kustgebied. Nadat de algen bedolven zijn onder zand of klei lopen ze tijdens de eb niet alleen het risico van uitdrogen maar ze worden soms ook blootgesteld aan het volle zonlicht. Een doorsnede door een stromatoliet laat duidelijke banden zien met een bepaald rythme, terwijl sommige soorten ook een veertiendaagse periode vertonen (fig. 7). Het uitdrogen of tijdelijk bedolven worden onder zand of klei veroorzaakt merktekens in de laag stromatolieten. Duidelijk ziet men de onderbrekingen, die zijn toe te schrijven aan afsterven, gevolgd door een opnieuw opleven. Die processen kunnen zowel een maandelijkse als een jaarlijkse periode vertonen.

Bij recente algen, de *Dictyota dichotoma*, vonden Umamaheswara en Sreeramulut maandelijkse structuren, die zich ontwikkelden tijdens de springvloed bij volle maan als banden, sori geheten, die dwars door het algenlichaam heen lopen, terwijl de op voortplanting gerichte activiteit tijdens springvloed, bij nieuwe maan, in sterkere mate optreedt. Misschien loopt dit synodische rythme synchroon met het maanlicht (volgens Müller en Vielhaben). Waarschijnlijk treden er in de getijdzone periodiek variërende omstandigheden op tengevolge van de lichtfluctuaties en de temperatuurfluctuaties tijdens de seizoenen. Bij de recente *Rhodophyta* is het proces in het laboratorium onderzocht. Duidelijk blijkt de invloed van de regelmatige lichtwisselingen vooral bij *Bangiophyceae* (Dixon en Richardson).

Op deze wijze kunnen gegevens over het aantal dagen in het jaar en de draaisnelheid van de aarde gedurende het Precambrium worden verkregen. Mohr voerde metingen uit aan 19 stromatolieten. Ze werden verzameld in Minnesota in een twee miljard jaar oude laag. De naam van deze soort stromatolieten is *Gruneris brivabika*. De metingen leverden 12.8 ± 0.3 microbandjes per strook (voor 262 stroken). Als men aanneemt dat de microbandjes dagelijkse groeistukjes voorstellen dan lijkt een halfmaandelijkse periode de beste manier om die duidelijke periodiciteit te verklaren en de synodische maand was dan 25.6 dagen (± 1.2) tijdens het midden van het Precambrium. Het aantal dagen in het jaar moet dan tussen de 700 en 800 hebben gelegen en klopt dan aardig met de lijn van fig. 1.

Nieuwe mogelijkheden

Truswell en Eriksson onderzochten stromatolieten in dolomiet in Transvaal en vonden dat er duidelijke getijde-effecten in zijn terug te vinden. Deze lagen zijn 2.25 miljard jaar oud. In deze dolomiet is een facies, die precies lijkt op wat tegenwoordig te zien is in bepaalde baaien waar eb en vloed sterk optreden. Naast gelaagde stromatolieten zijn er duidelijke **golfribbels**, die wijzen op een sterke getijdewerking.

Zeer moderne analysemethodes zijn toegepast door Dolman zowel bij stromatolieten als bij de schelp *Cardium edule*. Aangezien tellen van groeilijntjes vaak moeilijk is en subjectief, wordt een slijpplaatje met de microfotometer doorgemeten. De zo vervaardigde registratie toont een patroon van lijnen dat geteld zou kunnen worden. De tot nu toe voorgestelde periodes berusten op

- 1) een gemiddelde van een groot aantal dergelijke tellingen,
- 2) de modus van zulke tellingen,
- 3) het maximale aantal getelde lijnen.

Aan alle drie deze gebruikte methodes blijken belangrijke bezwaren te kleven. In 1825 ontwierp de wiskundige Fourier een bekende methode om dit soort tellingen statistisch exacter te analyseren. Met de komst van de computer werd het uitvoeren van deze zogenaamde Fourieranalyse, die vroeger vele uren werk in beslag nam, gereduceerd tot een simpel karweitje. Wiskundig komt het er op neer dat men een waargenomen registratie voorstelt door een analytische functie die is opgebouwd uit een patroon van regelmatige golflijnen (sinus- en cosinusfuncties, ieder met een passende coëfficiënt en een geschikte periode). Die golflijnen zijn dan de grafische voorstellingen van verschillende effecten, die gezamenlijk de verdeling van de groeilijntjes tot passende patronen hebben veroorzaakt. De Fourieranalyse levert van ieder van die

Fig. 7. Door de groeilijntjes in stromatolieten te tellen kan men te weten komen hoeveel keer er vloed optrad tijdens de groeiperiode van de stromatoliet. Daaruit volgt dan hoeveel dagen het jaar telde in die tijd. De afstand tussen de witte punten rechtsboven is 1 mm.

effecten de juiste periode mits men zich niet beperkt tot een exemplaar maar een aantal dieren neemt van dezelfde plaats. Toegepast op recente schelpen blijkt dit inderdaad de manier om in de toekomst met een grote mate van nauwkeurigheid zowel het aantal dagen in de maand te vinden als de hoogte van de getijden, de positie van een individueel exemplaar ten opzichte van de kust en de invloed van plotselinge weersveranderingen en stormen. Zeer nauwkeurige analyse kan het zelfs mogelijk maken niet alleen de lengte van de synodische maand (dat is het aantal uren tussen volle maan en de daaropvolgende volle maan) maar ook die van de tropische maand (dat is de tijd in uren die de maan nodig heeft om een keer in zijn baan om de aarde te lopen) te meten en uit deze beide getallen kunnen de astronomen dan direkt het aantal dagen in het jaar vinden.

Nog veel gespecialiseerdere methodes zijn ontworpen door Rosenberg en Jones, die gebruik maakten van de elektronenmicroscop. Daarmee bepaalden ze calcium- en zwavelhoeveelheden in de schelp *Cardium edule*, in stromatolieten en in belemnieten afkomstig van Skye (Schotland). Variaties in die chemische concentraties kunnen verband houden met de lengte van de dag. Daarnaast zijn dit soort studies op een geheel ander terrein van waarde, omdat variaties in de calciumconcentratie en de hoeveelheden daarin opgeloste koolzuur en carbonaten verband houden met de zuurgraad (de pH) van het zeewater volgens Schmelz en Swanson. Dit zou ons dan iets leren over de omgeving waarin die levende wezens opgroeiden.

Enige literatuur

- Wells, J.W., 1963, *Nature*, 197, 948.
Scrutton, C.T., en Hipkin, R.G., 1973, *Earth-Science Reviews*, 9, 259.
Panella, C., en Mac Clintock, C., 1968, *J. Palaeontol.*, 42, (5) Suppl., 64.
Sündermann, J., en Brosche, P., 1978, in "Tidal Friction and the Earth's Rotation", P. Brosche and J. Sündermann ed., 125.
Strutton, C.T., 1978, in "Tidal Friction and the Earth's Rotation" P. Brosche and J. Sündermann ed., 154.

