

driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Activiteiten
voor belangstellenden in de geologie en mineralogie

Inhoud:

Waterbloei	25
Talk van Luzenac	35
Ponskaarten als hulpmiddel bij het determineren van mineralen	40
Boekbesprekingen	41
Teleac en verder?	42

Nogmaals:

Klachten over stenenzoekers	43
Natuurhistorisch Museum Wenen	44
Wijzigingen in het Stichtingsbestuur	45
Jammer	45

Bijlage:

Mededelingen, Kursusprogramma seizoen 1978/1979
Kringprogramma's

WATERBLOEI:

door Dr. P.H. de Buisonjé

Massasterfte en extreem gunstige fossilisatievoorwaarden**INLEIDING**

Vóóordat we overgaan tot een bespreking van het verschijnen van waterbloei en de daarmee samenhangende fossilisatievoorwaarden (vaak gunstig voor een perfecte conservering), zullen we eerst aandacht wijden aan de meer normale gevallen van fossilisatie.

Hierbij dienen we ons ervan bewust te zijn dat voor vrijwel elk museum de vuistregel geldt dat slechts het uitzonderlijke, het niet-normale, het zeldzame getoond wordt. Zo zoekt men in een groot kunsthistorisch museum vaak tevergeefs naar het gebruiks-aardewerk van de gewone man uit de 17de eeuw. En in een paleontologisch museum treft men wèl een perfect gefossiliseerde Ichthyosaurier aan of enkele, liefst grote, complete fossiele vissen, maar ontbreken in de vitrines een kapotte, afgesleten schelp of een slecht bewaarde viswervel.

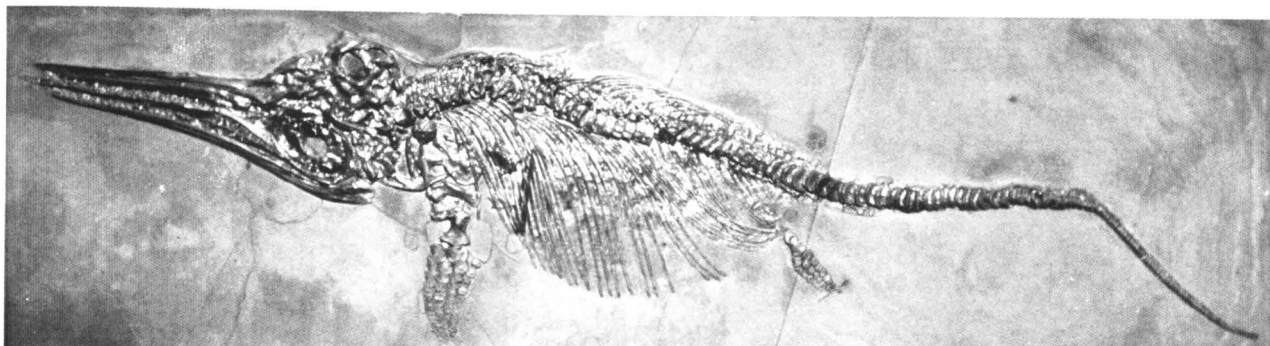
Toch zijn de twee laatstgenoemde objecten veel „normale-re“ fossielen en zijn die complete vissen of die Ichthyosaurier (fig. 1) eigenlijk waanzinnig zeldzame uitzonderingen.

Fig. 1.

Fossiele vis-hagedis: *Stenopterygius quadriscissus* (Quenstedt), **Lias epsilon, Holzmaden.**

Foto: Geologisch Instituut, Amsterdam.

Fossielen als van deze Ichthyosaurier vormen topstukken in musea, maar geven een onjuist beeld van de normaal in zee heersende fossilisatie-mogelijkheden, daar slechts onder uitzonderlijke omstandigheden complete skeletten bewaard kunnen blijven.



Als we dan ook nog bedenken dat resten van dode organismen, meestal alleen de harde delen, getransporteerd worden, oplossen of aangeboord worden, afslijten, gebroken of fijn gemalen worden vóórdat ze definitief in een sediment worden vastgelegd, dan realiseren we ons dat in wezen élk fossiel een zeldzaamheid is. Zelfs zo'n kapotte schelp of viswervel is een bijzonderheid en vertegenwoordigt slechts een fractie van wat er in het verleden geleefd heeft (fig. 2).

Organismen zijn immers opgenomen in een kringloop en spelen ook ná hun dood een rol in het grote, natuurlijke proces van recycling. Vrijwel steeds worden organismen na hun sterven afgebroken tot zeer eenvoudige chemische verbindingen, waarbij ook de hardere delen als kalkskeletten of beenderen – zij het wat later dan de weke delen – tenslotte uiteenvallen en weer als grondstoffen dienen voor „nieuwbouw“, voor nieuw organisch leven.

Slechts als organische resten, meestal de hardere skeletdelen dus, op een of andere manier uit deze kringloop geraken, bijvoorbeeld door bedekking en afsluiting met sediment, dan is er een kans dat deze resten gaan fossiliseren, d.w.z. opgenomen worden in een ingewikkeld en soms grillig verlopend, maar tot de huidige dag doorgaand fossilisatie-proces (fig. 3).

HET FOSSILISATIE-PROCES

Dit proces kan worden onderverdeeld in een drietal fasen. Slechts als een organisme „met goed gevolg“ deze drie fasen doorlopen heeft is het als fossiel aanwezig. Of we dan zo'n fossiel nog ooit zullen vinden is een tweede ding, maar dat hoeft ik u als verzamelaar natuurlijk niet te vertellen!

Fase 1. De dood van organismen (= nekrobiose):

Hieronder vallen alle oorzaken die leiden tot de dood van een organisme, dus bijv. ziekten, vergiftiging, ouderdom, maar ook sterven door vastraken in drijfzand, weke hars of teerachtige producten, sterven door plotselinge bedekking met vulkanische as of met hellingafwaarts glijdend sediment en niet te vergeten het opgegeten worden door natuurlijke vijanden.

Dit laatste is zelfs een heel gewone doodsoorzaak daar de meeste organismen ergens een schakel vormen in vaak lange voedselketens.

Mede door de vaak ingrijpende veranderingen die tijdens latere fasen in het fossilisatie-proces kunnen optreden, zal het slechts zelden gebeuren dat we aan een fossiel nog de doodsoorzaak kunnen vaststellen.

Fase 2. Opname van dode organismen of delen daarvan in een sediment (= biostratinomie):

Hierboven zagen we al enkele voorbeelden, waarbij de aard van een sediment tevens de doodsoorzaak kan zijn: drijfzand, hars, vulkanische as enz. In deze voorbeelden vallen de nekrobiose en biostratinomie dus samen. In de meeste andere gevallen is echter de doodsoorzaak niet direct gebonden aan de aard van het sediment.

Hoe de dood ook mag zijn ingetreden, in elk geval begint hierna een reeks van chemische en bacteriële veranderingen op te treden, als eerste in de voornamelijk uit eiwitten, vetten en koolhydraten bestaande weke delen.

Deze veranderingen kunnen langs drie onderling sterk verschillende wegen verlopen:

a. onder onttrekking van vocht (= mummificatie):

Dit kan optreden in een droog klimaat of door de aanwezigheid van hygroscopische stoffen, door bevriezen of door inbedding in een water-afstotende stof als hars, teer of sommige kiezelconcreties.

Er ontstaan dan mummies en als het latere verval der ingedroogde weke delen langzaam verloopt, dan kunnen bijvoorbeeld spierbundels of stukken huid langzaam vervangen worden door mineralen. In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij sommige Mesozoïsche reptiel-mummies zijn aan dergelijke pseudomorfofen nog de structuren van weke delen bestudeerbaar.

Fig. 2.

Drie schelpen: *Cardita planicosta* (Lam.), Eoceen, Cadzand en een niet verder determineerbare viswervel, Senoon, Valkenburg.

Foto: Geologisch Instituut, Amsterdam.

Hoewel dit veel „normalere“ fossielen zijn, moet men ook deze als bijzonderheden beschouwen: aanwezigheid van zuurstof, borende organismen, transport met slijtage en oplossing hebben ervoor gezorgd dat slechts nu en dan losse, afgesleten skeletdelen overbleven.



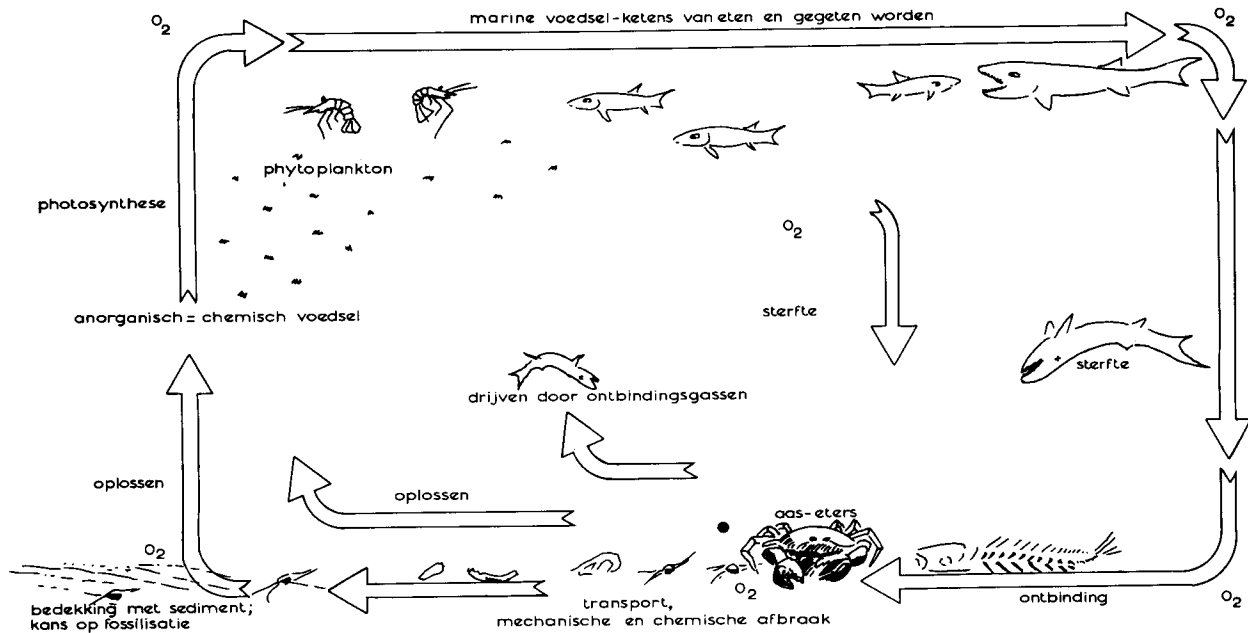


Fig. 3.
Vereenvoudigd schema van organisch-anorganische recycling.

Hetzelfde materiaal wordt vrijwel steeds opnieuw door organismen in gebruik genomen en keert na hun dood weer in oplossing terug. Door bedekking met sediment ontsnapt nu en dan een harder skeletdeel aan deze kringloop waarmee er een kans wordt gegeven dat hieruit later werkelijk een fossiel ontstaat.

b. in water, onder aanwezigheid van zuurstof (= ontbinding):

Dit is het normale geval daar de meeste organismen, vooral de grotere, in een zuurstofrijke omgeving leven en ook na hun dood in ditzelfde milieu blijven. Hierbij worden onder invloed van de aanwezige zuurstof de weke delen zeer snel en grondig afgebroken tot een beperkt aantal, zeer eenvoudige chemische verbindingen.

Bovendien komen in dit milieu allerlei aaseters voor, zich voedend met dood organisch materiaal, en daarmee dus meewerkend aan de snelle en totale afbraak van het dode organisme. Bevat dit laatste organisme hardere skelet-materialen, dan bieden deze wat langer weerstand tegen afbraak en kunnen daarbij los van elkaar raken en in verschillende richtingen getransporteerd worden. Hierbij bezitten de losse skelet-delen een redelijke kans om hier of daar in een sediment opgenomen te worden.

c. in water, doch nu onder afwezigheid van zuurstof (= verrotting):

Dit is, althans sedert het Mesozoïcum, een minder algemeen omzettings-proces. Een organisme moet hierbij direct na zijn dood onttrokken zijn geraakt aan het oorspronkelijke, zuurstofrijke milieu waarin het geleefd heeft.

In het zuurstofloze milieu waarin het dode organisme nu is terecht gekomen treden heel andere veranderingen op, verrotting genaamd, en wel voornamelijk onder

invloed van z.g. anaerobe bacteriën. Dit zijn bacteriën die geen zuurstof van node hebben en zich direct kunnen voeden door gebruik te maken van de energie die nog ligt opgeslagen in het dode organisme dat zij aantasten.

De organische bouwstoffen van het dode organisme worden hierbij slechts gedeeltelijk verbruikt voor de stofwisseling van de bacteriën en een niet onbelangrijk deel blijft onverbruikt of half-verbruikt achter in de vorm van hoogwaardige koolwaterstoffen. Onder druk en temperatuur kunnen zich hieruit mengsels vormen als bitumen, aardolie en aardgassen!

Verrotting is eigenlijk zelfs het enige échte fossilisatie-proces waarbij oorspronkelijk organisch materiaal, weliswaar in veranderde vorm, bewaard blijft! Dit in tegenstelling tot de veel snellere ontbinding bij toetreden van zuurstof, een proces waarbij op zijn best alleen harde skeletdelen overblijven.

Bij het anaerobe verrottingsproces treden bovendien nog een aantal „verheugende“ bijkomstigheden op. De belangrijkste hiervan zijn:

afwezigheid van stromingen: dit is zelfs een vereiste voor een anaeroob milieu daar anders vanaf het oppervlak zuurstof in het water zou worden aangevoerd. Een gevolg van ontbreken van stroming is ook dat transport in het algemeen achterwege blijft: alle dode materiaal blijft liggen.

afwezigheid van grotere aaseters: deze hebben meestal zuurstof nodig en leven dus niet in het anaerobe milieu. Dode organismen worden ook niet uiteengerukt.

ontwikkeling van rottingsgassen: de belangrijkste gassen die vaak ontstaan bij het stofwisselingsproces van anaerobe bacteriën zijn H_2S en NH_3 . Beide gassen kunnen een grote rol spelen in het verdere verloop van het fossilisatieproces, omdat ze vaak mineralen doen neerslaan in en om een dode organisme.

het overblijven van een deel der oorspronkelijke organische stoffen: dit kan weer een – tijdelijk – conserverende werking hebben, hieronder apart te bespreken:

De vorming van lijkenwas (= adipocire):

Hoewel misschien een wat minder prettig verhaal, is dit toch van belang voor onze beschouwingen.

Bij verrotting onder invloed van anaerobe bacteriën kunnen hoogwaardige koolwaterstoffen achterblijven in de vorm van een mengsel van vetzuren en vetzure zepen, ook wel lijkenwas of adipocire genaamd.

Deze lijkenwas heeft de geur, kleur, samenstelling en stevigheid van copra of kaarsvetten. Lijkenwas vormt zich meestal geleidelijk in een rottend organisme en kan daarbij niet alleen reeds aanwezige vetten maar ook eiwitrijke spierweefsels vervangen. Een dood organisme kan hierdoor ruimtelijk bewaard blijven over perioden van jaren of zelfs eeuwen. Bovendien is zo'n lijkenwas-pseudomorfose vrij stevig en kan op deze manier in een sediment worden opgenomen, ook als dit sediment slechts zeer langzaam wordt afgezet. Ruimtelijk bewaarde vissen, waarbij het tussenstadium van adipocire later weer vervangen is door secundaire calciet, zijn bijvoorbeeld tamelijk algemeen in de bekende concreties uit het Krijt van NO-Brazilië.

Ook bij menselijke lijken is de vorming van adipocire geen zeldzaamheid. Vooral bij het ruimen van oudere kerkhoven, bijvoorbeeld uit de 17de of 18de eeuw, waar de doden niet zelden onder de grondwaterspiegel werden begraven (met weinig zuurstof in het grondwater) en dan bovendien nog vaak in deugdelijke eiken kisten (volledige stagnatie van water binnen de kist), treft men vaak adipocire-lijken aan.

Dergelijke ruimtelijk bewaarde stoffelijke overschotten, waaraan de gelaatstrekken, vorm der handen etc. nog volledig zichtbaar zijn, samen met de geur der rottingsgassen, vormen natuurlijk een minder prettige ervaring. Door de mensen van de ruimingsdiensten worden dergelijke lijken als „vetpoppen“ betiteld en een belangrijk „doodgraversgeheim“, waarmee anaerobe rotting voorkomen kan worden, is dan ook het verbeteren van zuurstof-circulatie door het ophogen van begraafplaatsen met grof zand en zo ver mogelijk boven de grondwaterspiegel, samen met het gebruik van sneller verterende kisten.

De vorming van concreties:

Concretie-vorming hangt ten nauwste samen met de ontwikkeling van rottings-gassen. In een zuur milieu ontwikkelen anaerobe bacteriën uit opgeloste sulfaat-ionen het H_2S -gas. Deze H_2S kan weer reageren met eventueel aanwezige ijzerhydroxyden, waarbij pyriet wordt gevormd.

Deze pyriet kan dan bijvoorbeeld holruimten in beenderen of in echinodermen-skeletten opvullen of zelfs het oplossende been of kalkskelet volledig vervangen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de bekende fossielen uit het Onder-Devoon van Bundenbach.

In andere gevallen kan een pyriet-laagje tegen het kalkskelet van een rottend organisme worden afgezet. Bekend zijn bijvoorbeeld de „pyriet-ammonieten“ uit de Lias. Bij deze fossielen is pyriet afgezet tegen de binnenkant van woonkamer en drijfkamers van de ammoniet, waarna later de schaal zelf is opgelost. Deze pyriet-ammonieten tonen daardoor op een fraaie wijze de sutuurlijnen.

Bij bacteriële rotting in een basische omgeving ontwikkelt meestal NH_3 , samen met water dus NH_4OH . Ook deze vorm van rotting geeft vaak aanleiding tot concretie-vorming.

In een uit kalkkorrels bestaand sediment bevindt zich tussen de korrels in opgeloste vorm vaak calciumbicarbonaat $Ca(HCO_3)_2$. De ammoniak in de buurt van het rottende organisme doet nu kalk neerslaan uit deze bicarbonaat. Rondom het rottende organisme verkit het sediment dus snel tot een hard gesteente, verder verwij-

derd gebeurt dit niet of in mindere mate. Bij de concreties van noordoost-Brazilië kunnen we dit proces vaak in een fraaie vorm waarnemen: de sterkste rotting en dus sterkste concretie-vorming trad op bij het dikste deel van de romp van een vis. Bij de vinnen, vooral de staartvin en bij het puntje van de kop was de rotting het zwakst en bleef kalkneerslag achterwege, waardoor deze ver buiten de romp uitstekende delen niet in de concretie zijn opgenomen (fig. 4).

Fase 3. Veranderingen aan organische resten die zijn opgenomen in sediment (= fossiel-diagenese):

De fossiel-diagenese hangt ten nauwste samen met veranderingen die een sediment later kan ondergaan. Ze hoeft echter niet daarmee parallel te lopen. Zo zal een los zand door latere afzetting van kiezelzuur tussen de zandkorrels kunnen verkitten tot een zandsteen. Een losse klep van een schelp in het langzaam verkittende zand kan ondertussen echter oplossen zodat een holruimte als „fossiel“ overblijft. Op overeenkomstige wijze ontstaan uit dubbelkleppige schelpen vaak steenkernen die alleen een afdruk van de binnenzijde der twee kleppen te zien geven.

Tot de fossiel-diagenese behoren ook al die processen waarbij oorspronkelijk organisch materiaal wordt vervangen door andere stoffen. In het bovengenoemde geval van de opgeloste losse klep kan de ontstane holruimte later weer gevuld worden met secundaire calciet. Ook kan deze ruimte bijvoorbeeld met kiezelzuur worden opgevuld, zoals dit het geval is bij de Australische „opaal-schelpen“. Hout kan door het ontwijken van vluchtige koolwaterstoffen zo sterk veranderen dat vrijwel zuivere koolstof overblijft (anthraciet!). Maar hout kan ook cel voor cel heel geleidelijk worden vervangen door kiezelzuur waarbij de oorspronkelijke vorm en structuur van het hout bewaard kunnen blijven.

Een ander belangrijk proces is de compactie. Hierbij neemt een sediment, reeds beginnend direct nadat het is afgezet, in dikte af bijvoorbeeld doordat water uit het sediment wordt uitgeperst.

Bij zandstenen is de compactie in het algemeen gering. Al bij de sedimentatie rusten de korrels tegen elkaar en in deze toestand verandert later slechts weinig.

Kleien compacteren echter sterker en vooral sedimenten die een hoog gehalte aan organisch materiaal bevatten blijven zeer sterk te compacteren. Zo kan worden aange- toond dat de Solnhofener plaatkalken (Malm zeta 2a en 2b) die bij hun afzetting een hoog gehalte aan dood eencellig protoplasma hebben bevat, een compactie-factor hebben waarbij de huidige dikte nog slechts één-zevende tot één-tiende van de oorspronkelijke sediment-dikte is.

Fossielen in zo'n sterk compacterend sediment doen meestal mee in dit „vermagerings-dieet“. Zo zijn de vissen in de Solnhofener kalk vaak bewaard met de rompomtrek duidelijk zichtbaar. Hun oorspronkelijke dikte van enkele cm's is nu echter gereduceerd tot enkele mm's!

Steviger fossielen, bijvoorbeeld schelpen, kunnen indien ze rekristalliseren gelijktijdig met de compactie, vrijwel breukloos deformerden. In andere gevallen weerstaan ze enige tijd de compactie om dan plotseling te breken of dicht te klappen. Dit laatste is vaak het geval met de ammonieten uit de Solnhofener plaatkalken. In een ingewikkeld proces is daarbij meestal eerst de woonkamer en iets later ook het deel met de drijfkamers dichtgeklapt met caldera-achtige breuklijnen die door de hele plaat-dikte zichtbaar zijn.

Bij de diagenese van fossielen kunnen ook heel andere krachten als bijvoorbeeld gebergte-vorming hun invloed doen gelden: fossielen worden gedeformeerd of uitgerekt

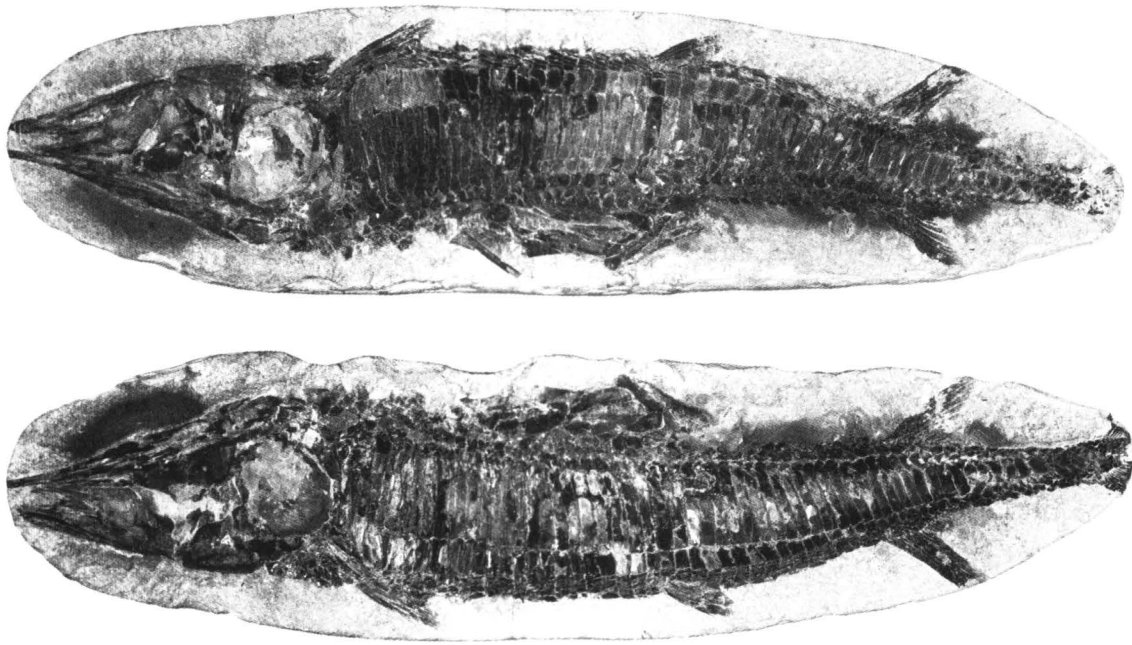


Fig. 4.
Concretie met *Aspidorhynchus comptoni* (Agassiz), Krijt, NO-Brazilië.

Foto: Geologisch Instituut, Amsterdam.

Onder invloed van bacteriële rotting is de sterkste concretie-vorming opgetreden waar de vis het dikst was. Hierdoor vallen de achterste vinnen en de punt van de kop voor een deel buiten de concretie.

in de richting van de glijdende gesteente-pakketten of kunnen zelfs geheel stukgewreven worden. Ook kan in een gesteente langs bepaalde grillige vlakken sterkere oplossing gaan optreden. Een fossiel dat oorspronkelijk gaaf aanwezig was kan op deze manier soms zodanig oplossen dat het lijkt of slechts een afgesleten helft werd afgezet. We dienen dan ook wèl te bedenken dat bij de fossiel-diagenese alleen maar dingen verloren kunnen gaan. Organismen of resten daarvan, die het „geluk“ hebben gehad te ontsnappen aan de recycling en opgenomen zijn in een sediment, kunnen bij de diagenese nog wel degelijk uit het beeld verdwijnen!

WATERBLOEI

In het artikel van G. Zuidema over Solnhofen, verschenen in *Gea* van september j.l., werd aangeduid hoe in bepaalde gevallen een groot water-lichaam kan omslaan tot een zuurstofloos, anaeroob gebied, dat dodelijk is voor alle levensvormen.

Met de naam waterbloei (voor zeegebieden ook wel zeebloei genoemd; engels: bloom, water-bloom, plankton-bloom, red tide; frans: fleur d'eau; Duits: Wasserblüte, Seebülte) duidt men het verschijnsel aan, waarbij in het warme seizoen en meestal elk jaar opnieuw, gedurende een korte tijd het water gekleurd wordt door het massaal optreden van bepaalde soorten phytoplankton.

Zo is ook de naam van de Rode Zee ontleend aan dit verschijnsel, maar we kennen het ook uit zoet-water. Een bekend voorbeeld van dit laatste is de waterbloei die vóór

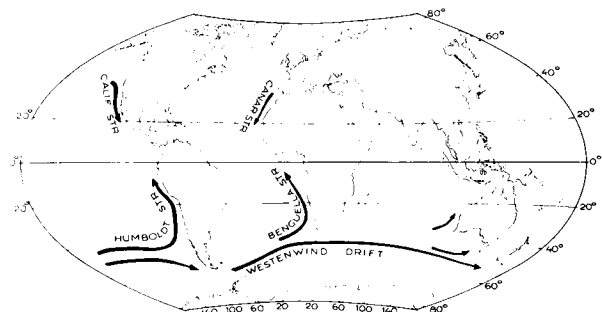
de afdamming, jaarlijks in de Nijl optrad aan het eind van de maand juni (vergelijk: Exodus VII, 20 en 21: „en al de wateren van de rivier veranderden in bloed“).

Toch zijn de belangrijkste gebieden met waterbloei, c.q. zeebloei, in de grote oceanen te vinden. Het zijn vooral de in de subtropen gelegen westkusten van de grote continenten: de zuidwest-kust van Zuid-Amerika en Zuidelijk Afrika op het zuidelijk halfrond en de kuststroken van Californië en West-Afrika op het noordelijk halfrond (fig. 5). Daarnaast komt het verschijnsel, meestal minder regelmatig, ook voor aan de zuidzijde van Arabië, bij India en Ceylon, bij de Filippijnen, Japan, zuidoost Australië, Florida, de oostzijde van de USA en de noordkust van Venezuela.

In elk van deze gebieden hangt het jaarlijks optreden van zeebloei direct samen met een aantal klimatologische en oceanografische factoren: een subtropisch klimaat, een constant aanwezig hoge-luchtdrukgebied, vaak een afluende wind en opwellend diepte-water dat rijk is aan anorganisch voedsel, voornamelijk fosfaten en nitraten.

Fig. 5
De grote kuststromen aan de westzijden der continenten.

Waar deze stromen dicht bij de kust komen, wordt diep en relatief koud, maar zeer voedselrijk water naar de oppervlakte gestuwd.



Zowel langs de zuidwest-kust van Zuid-Amerika als langs de zuidwest-zijde van Afrika loopt een noordwaarts gerichte stroom, resp. de Humboldt-Stroom en de Benguella-Stroom, beide zijtakken van de rond Antarctica in oostelijke richting lopende Westenwinddrift. Deze twee kuststromen voeren relatief koud water dicht langs de kust naar warmere streken. Als gevolg van de draaiing der aarde (Coriolis-effect), samen met een afluende wind, wordt bij Chili-Peru en bij Namibië-Angola dit koude water naar open zee gestuwd. Dit water wordt op zijn beurt weer aangevuld met diep en koud water dat vlak bij de kust dus omhoog komt en dan op weg naar open zee wordt opgewarmd. Samen met de noordwaartse stroming ontstaat een soort schroefbeweging (fig. 6).

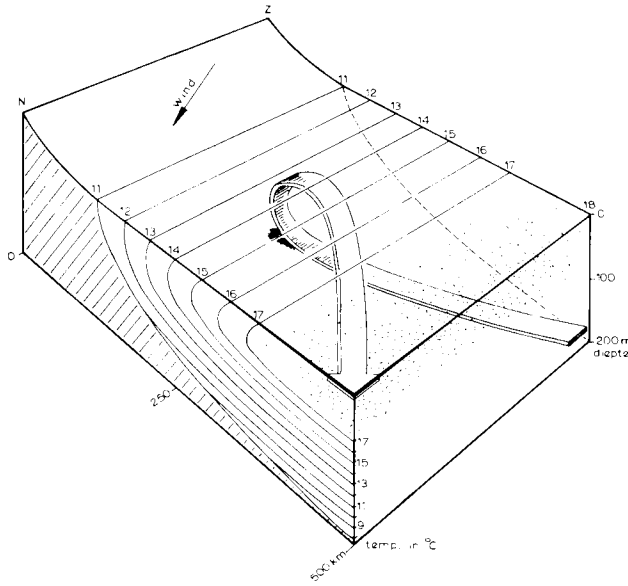


Fig. 6.
Blokdiagram met schematisch weergegeven de zee-water-circulatie langs de zuidwest-kust van Afrika en Zuid-Amerika.

Het koude maar voedselrijke water dat in een halve schroefbeweging naar de oppervlakte komt, wordt daar sterk opgewarmd. In de zuidelijke zomer komt hier elk jaar opnieuw zeebloei voor door massale ontwikkeling van phytoplankton.

Een identieke waterbeweging, nu echter in een zuidwaarts gerichte schroefvorm, treffen we aan onder de kust van Californië en West-Afrika, waar resp. de Californië-Stroom en de Canarische Stroom koud, voedselrijk water dicht bij de kust omhoog brengen en waar eveneens dit water dan naar open zee gestuwd en opgewarmd wordt.

In de vier genoemde grote gebieden hangt boven het koude water vaak langdurige mist. 's Nachts kan deze mist zich ook over land uitstrekken, overdag verdwijnt daar echter de mist weer snel. Hiermee samenhangend vinden we landinwaarts van gebieden met opwellend diepte-water vaak een speciaal type van woestijn, het z.g. Namib-type (Namibië) waar wel een hoge vochtigheidsgraad heerst, maar vrijwel nooit neerslag optreedt. Er komen hierdoor ook geen rivieren voor die grote sedimentmassa's naar zee

vervoeren. Wel kan zich hier een speciale vegetatie voordoen (de mammoet-bomen of Sequoia's van Californië) die direct de luchtvochtigheid benut.

Voor ons verhaal echter van meer direct belang is, dat juist gedurende het warme seizoen, op het noordelijk halfrond dus in onze zomermaanden, op het zuidelijk halfrond tijdens onze wintertijd, het opwellende diepte-water het sterkst verwarmd wordt op weg van de kust naar open zee.

Het gevolg hiervan is dat zich in dit extreem voedselrijke water een flora van phytoplankton ontwikkelt, althans in de bovenste 100 à 200 meter, waarin zonlicht nog kan doordringen.

Onder invloed van de gunstige omstandigheden: helder water, voedselrijkdom, constante zonbestraling en snelle temperatuur-toename, treedt nu ook een razend snelle vermenigvuldiging van het phytoplankton op. Na enkele dagen kunnen tientallen miljoenen van ééncellig phytoplankton per liter zee-water aanwezig zijn, waarbij vaak één soort duidelijk in aantal overheerst. Afhankelijk hiervan krijgt het zee-water nu ook een opvallende kleur: meestal rood, maar ook wel geel-achtig, bruin of soms diepblauw: de zeebloei is op zijn maximum.

In eerste instantie zou men kunnen denken dat zo'n zeebloei een gunstige ontwikkeling is. Het phytoplankton, bestaande uit ééncelligen die in staat zijn met behulp van fotosynthese en aanwezigheid van bepaalde kleurstoffen uit anorganische materialen organische stoffen op te bouwen, vormt immers de basis van het leven, de eerste en belangrijkste schakel in de voedselketens. Alle grotere organismen zoals kreeftachtigen, vissen, vogels enz. leven immers direct of indirect op dit phytoplankton. Helaas: bij zeebloei verloopt de zaak heel anders.

In een gebied met zeebloei gebeurt dit dus niet. Grotere organismen blijven op de bodem liggen. Ze zetten vaak om in adipocire, lijkenwas die de gehele vis tenslotte vervangt. Dergelijke adipocire-vissen zijn inderdaad maanden ná een zeebloei aan de kust van Zuid-Amerika opgedregd. Ze zijn stijf en hard, maar enigszins bros en men kan ze elkaar aanreiken als een stokbrood!

De constante afwezigheid van bodembewoners in een waterbloei- of zeebloei-gebied heeft ook tot gevolg dat de sedimenten niet worden doorwoeld. De gelaagdheid is dan ook altijd perfect met dunne, rhythmische pakketjes netjes boven elkaar. Elk pakketje bestaat uit twee delen: de normale jaarsedimentatie, meestal van fijn zand of silt plus een laagje organisch materiaal door de zeebloei afgezet. Elk pakketje vertegenwoordigt dus één jaar. Opvallend is ook dat in azoische zones toch vaak jeugdstadia worden aangetroffen van allerlei bodembewonende organismen. Van veel van deze dieren, bijvoorbeeld van schelpen, gastropoden, koralen en brachiopoden zijn immers de larvaalstadia vrijzwemmend of zwevend. Jeugdstadia worden vaak door zeestromingen over grote afstanden vervoerd voordat zij op de bodem bezinken. Ze komen op deze wijze ook in gebieden met zeebloei voor, maar als ze daar de bodem bereiken kunnen ze niet tot volwassen exemplaren ontwikkelen en sterven zodra ze op het rottende sediment terecht komen.

Als in grotere meren waterstratificatie optreedt, waarbij het diepere water koud, zuurstofloos en giftig is door H₂S-ontwikkeling, dan kunnen ook hier constant anaerobe omstandigheden heersen bij de bodem. Alleen in bepaalde gevallen, op onze breedte door afkoeling van het oppervlakte-water tijdens de winter, waar bij 4°C het grootste soortelijk gewicht wordt bereikt, kan de gehele watermassa omkeren. Het bodemwater wordt dan om-

hoog gestuwd door het omlaagzakkende koudere oppervlaktewater.

Maar ook in deze gevallen blijft het sediment zèlf anaeroob. Daar elk jaar opnieuw veel organisch materiaal aan het sediment wordt toegevoegd kunnen zowel in zoetwater-meren als in gebieden met zeebloei dus dikke afzettingen ontstaan. De daarin levende bacteriën verbruiken slechts een deel van het organisch materiaal en laten een restant daarvan achter als hoogwaardige koolwaterstoffen: de bron van onze olie- en gasvoorraden! Anaerobe afzettingen die dus vaak perfecte fossiele vissen e.d. kunnen opleveren, bevatten dan ook vaak een zeker gehalte aan olie-achtige of bitumineuse producten. Zo werden de afzettingen van Holzmaden oorspronkelijk vanwege deze bitumen ontgonnen!

Een ander effect van de anaerobe omstandigheden is dat dergelijke sedimenten meestal een zwarte of donkerbruine kleur bezitten. Een deel van de organische stoffen die achterblijven is namelijk zwart van kleur en bij doorbreken of doorzagen van dergelijke sedimenten ruiken we zelfs nog de H_2S -geur, bijvoorbeeld bij sedimenten uit Holzmaden, Bundenbach, en de zwarte afzettingen der Kupferschiefer.

Als dergelijke anaerobe sedimenten lang aan de buitenlucht worden blootgesteld dan verkrijgen ze een steeds lichtere kleur. De zwarte, organische resten worden dan tot licht-getinte producten geoxydeerd, zoals dit bijvoorbeeld het geval is bij oudere museum-exemplaren uit Holzmaden.

WATERBLOEI OF ZEEBLOEI: Catastrofaal voor alle leven

In de genoemde gebieden met opwel van voedselrijk diepte-water en de zomerse ontwikkeling van massaal phytoplankton is deze primaire schakel allerminst gunstig. Al na enkele dagen wordt namelijk het zeewater over enorme oppervlakten, vaak tienduizenden vierkante mijl, volledig vergiftigd. Dit wordt veroorzaakt doordat enerzijds het levende phytoplankton giftige stoffen (neurotoxinen) afscheidt, anderzijds doordat bij de afbraak van het zo massaal optredende plankton alle zuurstof uit het water wordt opgebruikt.

De gevolgen hiervan zijn regelrecht desastreus. Niet alleen alle grotere organismen als kreeften, mariene zoogdieren en vissen sterven, maar ook alle plankton zèlf kan in dit vergiftigde water niet meer in leven blijven. Zelfs zeevogels, levend van vis, sneuvelen massaal aan voedselvergiftiging.

Als de zeebloei op zijn maximum is, wordt de gehele waterkolom vanaf de oppervlakte tot aan de bodem van de zee een dodelijk gebied. Boven de zee hangt een verstikkende geur van ontwijkende H_2S die zelfs de witte verf van langsvarende schepen in een zwarte kleur omzet.

Hoewel de zeebloei in het algemeen niet lang duurt, meestal enkele dagen tot maximaal enkele weken, zijn de gevolgen op de bodem nog veel ernstiger. Als de zeebloei voorbij is, d.w.z. als ook het langzaam bezinkende phytoplankton uit het oppervlaktewater verdwenen is, dan kan dit oppervlaktewater zich vrij snel weer herstellen, d.w.z. zuurstof wordt weer opgenomen en snelle zwemmers als vissen e.d. kunnen weer terugkeren. Maar bij de bodem, waar eerst de dode grotere organismen bezinken en daarna een trage regen van dood phytoplankton omlaagdaalt, ontstaat een slijmerige, gelatineuse laag van langzaam rottend organisch materiaal. De enige organismen die hier nog leven zijn de ons nu bekende

bacteriën. Daar het bij de bodem bovendien relatief koud is doen zij hun werk slechts langzaam en lang voordat ze de massa aan dood organisch materiaal verwerkt hebben, daalt al de nieuwe regen van dode vissen en plankton omlaag die veroorzaakt is bij de zeebloei van het volgende jaar.

WATERBLOEI OF ZEEBLOEI: Gevolgen op en in de bodem

In de grote gebieden waar zeebloei gebonden is aan jaarlijks terugkerende factoren, heeft zich op de bodem een enorme z.g. azoïsche zone ingesteld waar vrijwel alle bodemleven is uitgesloten.

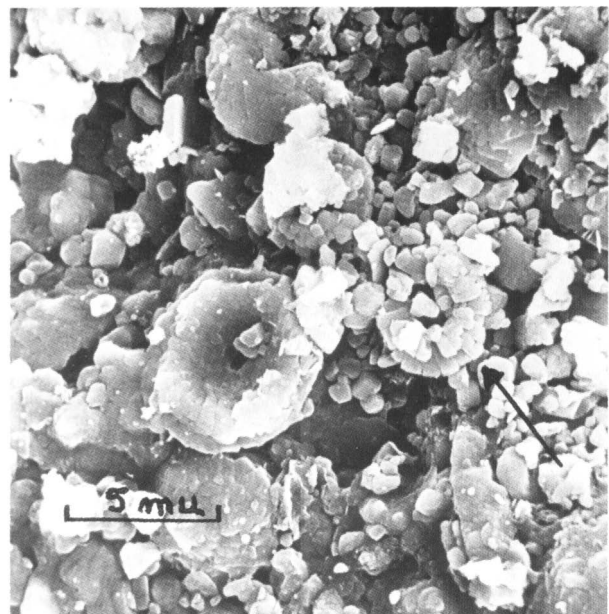
Het bodemwater blijft door het steeds ontwijken van H_2S uit het sediment constant een zekere graad van giftigheid houden, dodelijk voor alle hogere levensvormen. Slechts als zeebloei een aantal jaren achtereen uitblijft, kan tenslotte ook het water vlak boven het sediment weer zuurstof gaan bevatten, mits enige stroming gegarandeerd is.

In gevallen waarbij een gebied met zeebloei of waterbloei samenvalt met een bekken-vorm van de bodem, dan treedt in het diepere water een stagnatie, een stilstand op. In zulke gevallen is er nooit zuurstof bij de bodem aanwezig, ook niet als waterbloei jaren niet optreedt.

Het resultaat is dat ook grotere organismen als vissen niet gaan drijven. In een normale, zuurstofrijke omgeving is dit wél het geval. Daar gaat de ontbinding vooral in het maag-darmgebied van een vis zo snel dat een dode vis door gasontwikkeling gaat drijven en aan de oppervlakte komt.

Fig. 7.
Electronenmicroscop-opname van Solnhofener Plaatkalk, Malm zeta 2b, Blumenberg bij Eichstätt.
Foto: Geologisch Instituut, Amsterdam.

Een aantal *Coccolithen*, elk tot ongeveer 6 μ grote kalkschijfjes, meestal met een centrale opening, vormden gezamenlijk de wandbekleding van één enkele eencellige. Losliggende kleine calciet-kristalletjes, als aangegeven bij de pijl, zijn weer de restanten van één zo'n losse coccolith. Het gesteente kan een 500 miljoen coccolithen per cm^3 bevatten!



Daar vindt dan snelle ontbinding plaats, de vis valt uiteen en de losse delen kunnen tenslotte over een groot gebied verspreid bezinken.

SOLNHOFENER PLAATKALKEN: Een speciaal voorbeeld van zeebloei

In de meeste gevallen is het plankton dat een zeebloei veroorzaakt niet goed fossiliseerbaar. Het bestaat uit ééncelligen die geen skelet bezitten dat zou kunnen fossiliseren. Op zijn best blijven dus alleen olie-achtige of bitumineuse producten over.

Toch zijn er ook andere gevallen bekend. Zo komt bij Californië jaarlijkse zeebloei voor die door diatomeeën wordt veroorzaakt. Hun fijne kiezelskeletten hopen zich daar op de bodem op en hebben een goede kans te fossiliseren.

Ook aan de westkust van Noord-Afrika komt zeebloei voor die veroorzaakt wordt door fossiliseerbare ééncelligen. Hier treden namelijk massale ontwikkelingen op van Coccolithophoridae. Dat zijn flagellate ééncelligen met een bolvormige celwand en in deze celwand losse ovale, ronde of knopvormige minutieus kleine kalkplaatjes. Een zeebloei veroorzaakt door deze organismen geeft dus op de bodem een laag van deze losse plaatjes, meestal elk niet groter dan enkele duizendsten millimeters, coccolithen genaamd.

Een dergelijke vorm van zeebloei van fossiliseerbare, skeletdragende Coccolithophoridae wordt ook aangenomen voor het ontstaan van de Solnhofener plaatkalken. Met behulp van electronen-microscopie is namelijk aangetoond dat deze perfect gelaagde kalken naast resten van algen vooral enorme hoeveelheden coccolithen bevatten: tot 500 miljoen per cm^3 (fig. 7).

Deze plaatkalken, waarvan één enkele laag vaak over kilometers is te vervolgen, liggen met een gemiddelde dikte van enkele cm's en zijn van elkaar gescheiden door veel dünnere, meer kleiïge laagjes. Juist door hun stevigte

en door het feit dat de platen makkelijk van elkaar loslaten, heeft men ze al sedert Romeinse tijd als tegels en vloerbedekking in grote dagbouw-groeven ontgonnen. De gevonden fossielen als ammonieten, kreeftachtigen, vissen e.d., blijken zich steeds aan de onderzijde van de kalkplaten te bevinden. Door compactie-verschillen tonen dergelijke fossielen zich echter al als een kuiltje aan de bovenkant van de plaat: de groeve-arbeiders weten al dat ze wat zullen vinden!

De ligging aan de onderzijde is makkelijk verklaarbaar: tijdens de zeebloei bezonken de grotere organismen vrij snel en werden daarna pas bedekt door het langzamer bezinkende, veel fijnere coccolithen-materiaal.

Elke kalklaag vertegenwoordigt dus één zomerse zeebloei; de dünnere en meer klei en kwarts bevattende tussenlaagjes zijn gedurende de rest van het jaar afgezet en hun materiaal is grotendeels door de wind vanaf het noordelijker liggende continent aangevoerd.

Ook als we de samenstelling van de zeer soorten-rijke fossiel-fauna naar aantallen exemplaren van elke soort in ogenschouw nemen, dan blijkt deze te kloppen met het beeld van een jaarlijkse zeebloei.

Het meest algemeen komen namelijk fossielen voor van dieren die in open zee leefden, maar relatief langzaam zwemmend waren: ammonieten, steelloze zeelelies, kleine kreeftachtigen en jeugdvormen van allerlei vissen. Van deze laatsten zijn de grotere exemplaren bijzonder zeld-

Fig. 8.

Roofvis (*Caturus* sp.) met prooi in de bek. Malm zeta 2 b. Museum Bergér, Harthof bij Eichstätt.

Foto: Museum Bergér, Harthof.

Deze door zeebloei reeds vergiftigde roofvis kon nog een prooi grijpen maar bezonk daarna met zijn slachtoffer naar de bodem. De kort daarna optredende afdekking met zeer fijn Coccolithen-kalkslik en de zuurstofloze omstandigheden zorgden voor een perfecte fossilisatie van dit drama!



zaam; ook uit recente gevallen van zeebloei is dit bekend: de grotere vissen kunnen een opkomende zeebloei ontvluchten, de kleinere jeugdvormen lukt dit vaak niet. We treffen dan ook in Solnhofen wél vaak, soms zelfs massaal op één laagvlak, de jeugdvormen van *Leptolepis* en *Thrissops* aan maar niet de grotere exemplaren.

Hoe snel zo'n zeebloei wel optrad blijkt uit het feit dat veel roofvissen niet zelden hun prooi nog in hun maag-darm-systeem hebben. Maar het fraaiste voorbeeld is wel de grote roofvis met de prooi in zijn bek, tentoongesteld in het Museum Bergér, vlak buiten Eichstätt (fig. 8). Het gebied waar de Solnhofener plaatkalken werden afgezet was in een langgerekt bekken gelegen. Ten noorden was er land en in het zuiden bevond zich een ondiepe rif-drempel naar open zee. Binnen dit bekken, nog weer onderverdeeld in kleinere, komvormige depressies, trad vrijwel zeker herhaaldelijk stagnatie van het bodemwater op. Benthos, d.w.z. bodembewoners komen dan ook vrijwel niet in de afzettingen voor, althans niet in volwassen vorm. Wel worden hun larvaalstadia aangetroffen, samen met kortlevende vormen als ostracoden en foraminiferen. Hun aanwezigheid duidt erop dat soms, tussen twee opeenvolgende perioden van zeebloei, het zeewater tot vlak bij de bodem ververst kon worden waardoor – zij het kortstondig – enig bodemleven mogelijk was. Maar tijdens de zeebloei-maxima was het hele gebied van Solnhofen een fuik, een soort natuurlijke valkuil voor alle organisch leven! Niet alleen vielen alle in open zee levende dieren ten prooi aan vergiftiging, ook boven zee, in de lucht levende vormen waren het slachtoffer.

Tot de meest bekende van deze vliegende vormen behoren de Pterosauriers, de vliegende reptielen, waarvan een driehonderd exemplaren zijn gevonden. Zij bezaten zwemvliezen tussen de tenen en het staat vast dat ze op of bij het zeewater leefden. Hun aanwezigheid in de plaatkalken wordt verklaard als gevolg van het door een afluende wind inspoelen van dode exemplaren die als mummies in een kustlijn lagen. Ook hier is direct vergelijk met recente zeebloei mogelijk: bij de westkust van Zuid-Afrika sneuvelen jaarlijks duizenden zeevogels door het eten van bij zeebloei vergiftigde vis.

Vooraf ook de vrij veelvuldig aangetroffen insecten geven een aardig beeld van wat er bij zeebloei gebeurde. Ook boven het zee-oppervlak was door de verontreiniging van de lucht met rottingsgassen een voor vele levensvormen dodelijk gebied ontstaan. Door de afluende wind aangevoerde insecten kwamen dood of stervend op het water-oppervlak terecht.

Nu hebben dode insecten dagen nodig voor ze zodanig van water verzadigd zijn geraakt dat ze zullen bezinken. In een normale zee zouden dergelijke stervende en dode insecten door vissen e.d. zijn opgegeten, lang voordat ze de bodem bereikten (fig. 9).

Maar hier was alle water vergiftigd. Geen enkel groter organisme leefde meer tijdens de zeebloei. Een rustig bezinken van de dode, met zeewater doortrokken insecten tot op de bodem was gewaarborgd. Bovendien werden ze na bezinken bedekt met het fijne kalkslib der dode ééncelligen die zélf de oorzaak van de zeebloei waren geweest.

De gunstige fossilisatie-mogelijkheden zijn er ook oorzaak van geweest dat organismen die elders vrijwel nooit fossiliseren, hier in de Solnhofener plaatkalken wél bewaard konden blijven. Als voorbeeld hiervan de kwallen, tere en skeletloze organismen die in de nu gesloten groeven van Pfalzpaint destijds in groot aantal zijn gevonden. Het merkwaardige van deze vondsten is dat ze pas door vorstwerking in opengebarsten dikkere kalkplaten zichtbaar

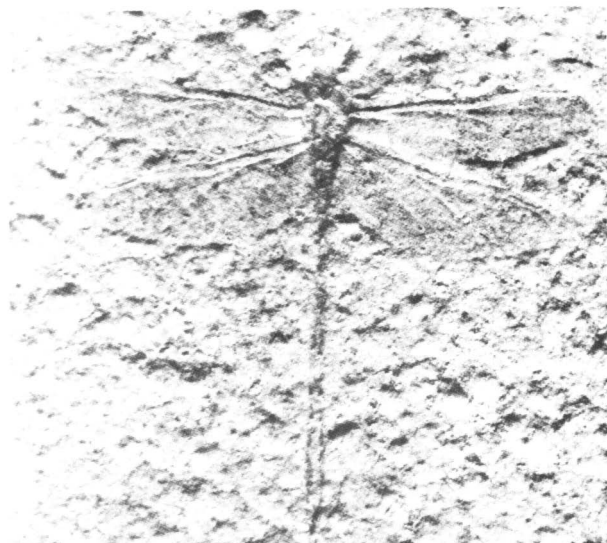


Fig. 9.
Fossiele libelle (*Nannogomphus cf. bavaricus* Handlirsch), Malm zeta 2 b, Wintershof bij Eichstätt.
Foto: Geologisch Instituut, Amsterdam.

Slechts bij totale zeewater-vergiftiging, waarbij alle grotere dieren als vissen e.d. gedood waren en zuurstof volledig ontbrak, konden dergelijke tere, van het vasteland afkomstige dieren gaaf op de zeebodem terecht komen.

Fig. 10.
Fossiele kwal (*Rhizostomites admirandus* Haeckel), Malm zeta 2 b, Pfalzpaint.
Foto: P. Stemvers

Deze kwal is door vorst-werking in een dikkere kalkplaat ontsloten. De rimpelige rand toont aan dat water-onttrekking bij het harder worden van het sediment ook de kwal enigszins deed schrompelen.



werden. Zoals we beschreven, waren alle andere macro-organismen relatief zwaar en bezonken bij zeebloei iets vóórdat de regen van dode coccolithen omlaag kwam. Maar het soortelijk gewicht van de kwallen deed ze wat later, juist gelijktijdig met de langzame regen van ééncelligen bezinken. De fossiele kwallen liggen daardoor niet aan de onderkant van de kalkplaten maar er midden in! (fig.10).

Juist dit samenspel van een snelle bedekking met zeer fijn kalkslib en de blijvend anaerobe omstandigheden bij de bodem van het grote Solnhofener bekken waren oorzaak van een perfecte fossilisatie waarbij ook de omtrek van weke delen, elk schubje van een vis en zelfs haarbundels aan de achterpoten van Pterosauriers bewaard konden blijven.

Werkelijk, alles wat op de bodem terecht kwam werd prachtig gefossiliseerd, niet alleen de mariene organismen en de vliegende dieren boven zee, maar ook de dode organismen die vanaf het land hier inspoelden.

Tot deze laatsten behoren de uiteraard zeer schaarse échte landdieren als kleine hagedis-achtigen, één exemplaar van een kleine roofdinosaurier, één amphibie en de wereldberoemde zes exemplaren van een vogel: *Archaeopteryx lithographica*.

Deze landdieren behoren beslist niet tot de fauna-elementen van het Solnhofener gebied; zij zijn van grote afstand naar dit bekken getransporteerd.

Door de jacht die musea en particulieren al sedert de vorige eeuw op deze voor de toenmalige evolutie-theorie zo belangrijke vogel-fossielen maakten, zijn de vondsten wel wat verspreid geraakt. In tabelvorm weergegeven:

1. Eén enkele, losse veer.
Gevonden 1860. Gepubliceerd 1860. Thans in München.
2. Compleet op de kop na.
Gevonden 1861. Gepubliceerd 1861. Thans in Londen.
3. Geheel gaaf, met veren.
Gevonden 1877. Gepubliceerd 1877. Thans in O-Berlijn.
4. Incompleet skelet.
Gevonden 1949. Gepubliceerd 1956. Thans in Solnhofen.
5. Alleen stuk van vleugel.
Gevonden 1857. Gepubliceerd 1970. Thans in Haarlem.
6. Geheel gaaf skelet.
Gevonden 1951. Gepubliceerd 1973. Thans in Eichstätt.

Slechts twee exemplaren bevinden zich dus nog in het gebied waar ze zijn gevonden. Vooral het exemplaar in Eichstätt maakt een bezoek aan het modern ingerichte „Jura-Museum“ in dit vriendelijke, oude stadje zeker de moeite waard (fig. 11).

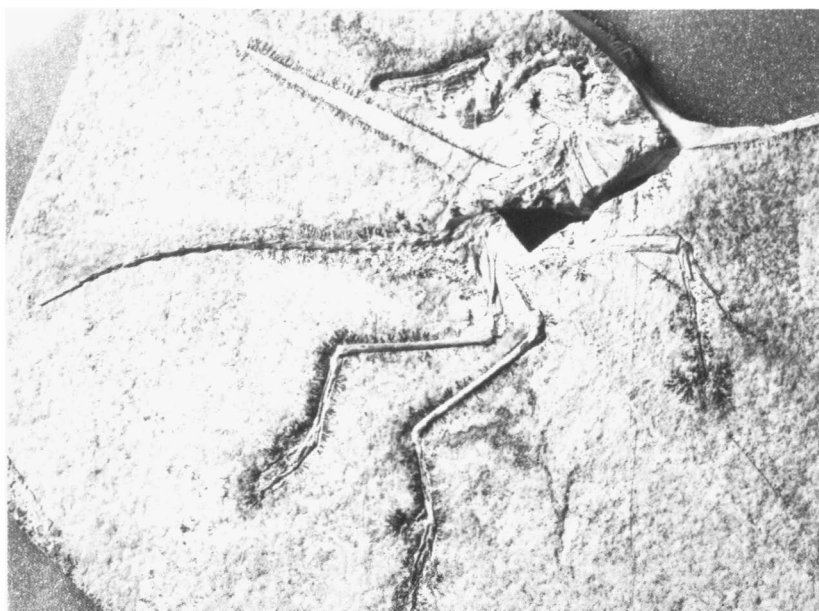


Fig. 11.
De „Oer-Vogel“ (*Archaeopteryx lithographica* von Meyer), Malm zeta 2 b, Workerszell bij Eichstätt.
Foto: Jura Museum, Eichstätt.

Ondanks het feit dat groeve-arbeiders in de loop der eeuwen vele duizenden vierkante kilometers sedimentoppervlak onder ogen hebben gehad, zijn slechts zes van deze oudst-bekende vogels ontdekt. Het hier afgebeelde, in 1951 door Xaver Frey gevonden exemplaar, vormt de trots van het modern ingerichte Jura Museum in Eichstätt, waar men voor dit unieke stuk zelfs een speciale zaal heeft ingericht! Een copie is te zien in het Geologisch Instituut, Amsterdam.

Tenslotte nog het volgende: het zal duidelijk zijn dat men na zoeken op de grote afvalhopen in Solnhofen en Eichstätt weinig kans maakt met een *Archaeopteryx* onder de arm huiswaarts te keren! Maar wél tot de mogelijkheden behoort de vondst van een kleine ammoniet met sluitdeksel erbij, een kalkplaat met meerdere *Saccocoma*'s of zelfs een kleine vis als *Leptolepis*. Dergelijke fossielen verschaffen nu minstens even goed een beeld van het trieste maar gigantische gebeuren tijdens de Boven-Jura in het Solnhofener gebied: zeebloei en massale sterfte, gevolgd door een perfecte fossilisatie!

Literatuur:

Barthel, K.W. (1972): *The genesis of the Solnhofen lithographic limestone (Low.Tithonian): further data and comments.*

N.Jb.Geol.Paläont.Mh., Jg. 1972, 3, 133-145

Brongersma-Sanders, M. (1948): *The importance of upwelling water to vertebrate paleontology and oil geology.*

Kon.Ned.Ak.Wet., Verh., Afd.Nat., 2, 45, no. 4, 1-112

Buissonjé, P.H. de (1972): *Recurrent red tides, a possible origin of the Solnhofen limestone.*

Kon.Ned.Akad.Wet., Ser.B., 75, 2, 152-177

Keupp, H. (1975): *Der Solnhofener Plattenkalk— Ein neues Modell seiner Entstehung.*

Natur u. Mensch 1975, 19-35

Mayr, F.X. (1967): *Paläobiologie und Stratinomie der Plattenkalke der Altmühlalb.*

Erlanger geol. Abh., 67.

Wellnhofer, P. (1970): *Die Pterodactyloidea (Pterosauria) der Oberjura-Plattenkalke Süddeutschland.*

Abh.Bayr.Akad.Wiss., math.naturwiss. Kl., 141, 1-133

Wellnhofer, P. (1975): *Das fünfte Skelettexemplar von Archaeopteryx.*

Palaeontographica, Abt. A, Bd. 147, 24-215