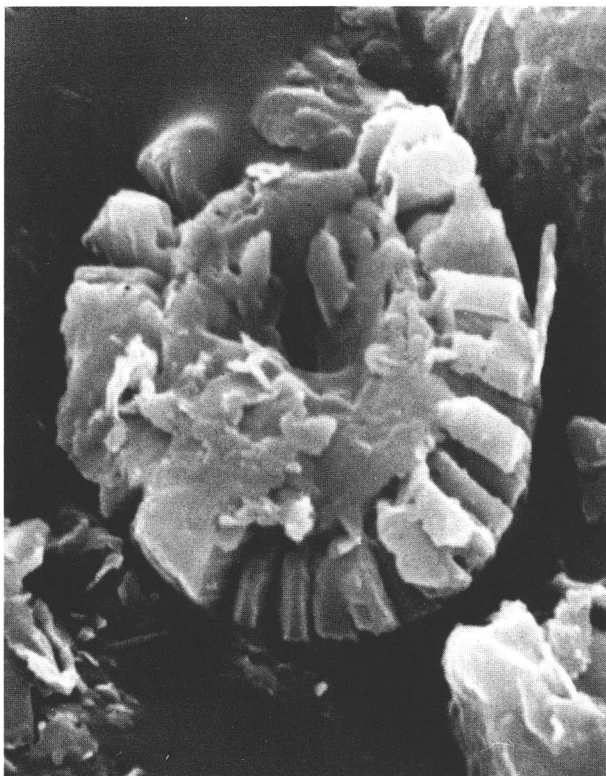




Afb. 11. Een coccoliet van *Coccolithus pelagicus*, gezien onder een scanning-electronenmicroscoop met radiaal geschikte kristaleenheden.

Aanvullende lectuur

Gezien de enorme ontwikkeling die de studie van nannofossielen de laatste jaren heeft gekend, is het aantal publicaties hierover geweldig toegenomen. We geven hier dan ook slechts enkele titels, die volgens ons een goede inleiding vormen:

Bramlette, M.N. & W.R. Riedel, 1954. Stratigraphic value of Discoasters and some other microfossils related to recent Coccolithophores. *J. Palaeont.* 28(4):385-403.



2 cm

Afb. 12. *Glycymeris lunulata baldii* (Zanden van Antwerpen).

Brasier, M.D., 1980. *Microfossils*, London, pp. 1-186.
 Hay, W.W., 1965. Calcareous nannofossils. In: *Handbook of Paleontological Techniques*. Ed. B. Kummel & D. Raup. San Francisco/London, pp. 3-7.
 Hay, W.W., 1977. Calcareous nannofossils. In: *Oceanic Micropaleontology*, Vol. 2. Ed. A.T.S. Ramsay. London/New York/London, pp. 1055-1200.
 Tan Sin Hok, 1927. Discoasteridae Incertae Sedis. *Proc. Sect. Sci. K. Ned. Akad. Wet.* 30:411-419.

De werken van Hay (1965, 1977) en Brasier (1980) geven uitvoerige beschrijvingen van allerhande verzamel- en preparatietechnieken. Hay (1977) geeft ook een vrijwel volledig overzicht van de bekende genera met hun stratigrafische distributie. In de publicaties van Brasier (1980), Tan Sin Hok (1927) en Bramlette & Riedel (1954) vindt men vooral algemene informatie over nannofossielen.

Dankwoord

Op deze plaats willen we nog de personen danken, die hebben geholpen bij dit artikel: Dr. E. Steurbaut (Rijksuniversiteit Gent) controleerde de determinaties, Dr. J. Geys (R.U.C. Antwerpen) maakte de foto's, Drs. M. Van Beeck (R.U.C. Antwerpen) leverde de scanning foto en M. Michiels (R.U.C. Antwerpen) hielp bij het maken van de lichtmicroscopische opnamen. Prof. Dr. W.N. Verheyen stelde de nodige faciliteiten ter beschikking.

De diatomeeënaarde-afzettingen bij Lüneburg (BRD)

door drs. E.G. van Diggelen

In Noord-Duitsland treft men ten zuidwesten van Lüneburg (Niedersachsen) een groot aantal voorkomens van diatomeeënaarde aan. Deze afzettingen zijn tijdens het Holsteinien en het Eemien, de laatste twee tussenijstijden, gevormd in tamelijk diepe zoetwatermeren. In dit artikel wordt nader ingegaan op diatomeeën en diatomeeënaafzettingen, waarbij speciale aandacht wordt besteed aan de diatomeeënaarde-voorkomens bij Lüneburg uit het Eemien (Pleistoceen).

Wat zijn diatomeeën?

Diatomeeën, in het Nederlands wel **kiezelalgen** of **kieselwieren** genoemd, zijn microscopisch kleine, éencellige plantaardige organismen, die uitsluitend in water of in een vochtige omgeving leven.

Diatomeeën behoren tot het plantenrijk (in hoofdzaak tot het **fytoplankton**, de in het water zwevende plantaardige organismen) en bezitten dus chlorofyl. Ze assimileren dan

ook, net als de overige planten, koolzuur met behulp van het zonlicht. In perioden waarin er minder zonlicht in het water doordringt, kan de ontwikkeling van diatomeeën dan ook worden afgeremd.

De vorm van diatomeeën is meestal rond of langwerpig, maar ook ovale, drie- of meerhoekige vormen komen voor. De diameter van een ronde diatomee kan variëren van kleiner dan 10 micron (1 micron = 0,001 mm) tot 1000 micron (1 mm), terwijl langwerpige diatomeeën soms een lengte van meer dan 1000 micron kunnen bereiken. Bij diatomeeën wordt het protoplasma (kern en cytoplasma) met de chromatoforen (kleurstofdragers) en andere inluitsels omgeven door een uit twee delen bestaande celwand: de doos en de deksel (afb. 1). De celwand is opgebouwd uit een soort cellulose, doortrokken met kiezelzuur (SiO_2). Hierdoor vormt de celwand een hard pantser, dat dikwijls zeer sierlijk getekend is door groeven en ribben.

De kleurstofdragers vormen naast chlorofyl ook carotine (oranje), xanthofyl (geel) en carotinoïden (bruin), die de groene tint van het chlorofyl overheersen en die oorzaak zijn van de typische geel-bruine kleur van de diatomeeën. Diatomeeën zijn over de gehele aarde verspreid en vormen vooral in zee een zeer belangrijke voedselbron. Vele soorten leven solitair, maar ze kunnen ook door een slijmerige massa tot een in het water zwevende kolonie (**celstaat**) verbonden zijn. Sommige soorten zijn door een geleijachtige streng aan de bodem vastgehecht en bezitten dus een sessiele levenswijze.

De meeste diatomeeën planten zich razendsnel voort door eenvoudige celdeling.

Diatomeeën treffen we aan in zout, brak en zoet water, in zuurstofrijk stromend water, dan wel in zuurstofarm, vrijwel stilstaand water. Het water kan een lage, dan wel een hoge temperatuur bezitten (tot circa 50°C). Daar diatomeeën speciale eisen aan het milieu stellen — chemische en fysische factoren zijn van grote invloed op de ontwikkeling van bepaalde soorten — worden ze gebruikt ter reconstructie van het **paleo-milieu**. De samenstelling van diatomeeënassociaties kan ons inlichtingen verschaffen omtrent het milieu waarin bijvoorbeeld klei is gesedimenteerd. Zo duidt een associatie van diatomeeën die in zoet en stilstaand water hebben geleefd op een kleisedimentatie in zoetwatermeren.

De oudste diatomeeën zijn bekend uit de Krijtperiode, circa 100 miljoen jaren geleden. Door de SiO_2 -houdende celwand fossiliseren zij gemakkelijk.

Diatomeeënafzettingen

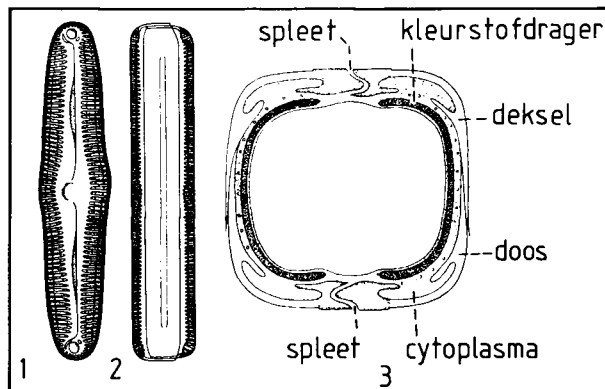
Tot de diatomeeënafzettingen behoren de **diatomeeënaarde** en het **diatomeeënslib**.

Diatomeeënaarde is een uiterst poreus, zeer fijnkorrelig afzettingsgesteente dat voor een groot deel bestaat uit de in meren bezonken kiezelschaaltjes van diatomeeën. Het overige sediment waaruit diatomeeënaarde bestaat, wordt gevormd door klastisch materiaal, vooral kwartskorreltjes en organische substanties.

Diatomeeënaarde is meestal grijs van kleur, soms zwart of donkerbruin.

Diatomeeënaarde kan beschouwd worden als een zuiver limnische afzetting (meerafzetting). Door ophoping van talloze kiezelschaaltjes van diatomeeën op de meerbodem ontstaat een vele meters dikke laag diatomeeënaarde.

Afzettingen van diatomeeënaarde zijn o.a. bekend uit Duitsland (Niedersachsen), Denemarken en de Verenigde Staten. In de V.S. (Virginia) kunnen afzettingen van diatomeeënaarde wel een dikte van 1000 meter bereiken. Ophopingen van diatomeeënschaaltjes op de diepzee-



Afb. 1. De bouw van een diatomee (*Navicula viridis*) op drie manieren gezien (1: van boven; 2: van opzij; 3: vergrote doorsnee. De inhoud is een grote vacuole met veel celvocht)

bodem vormen SiO_2 -rijke afzettingen, die men aanduidt als **diatomeeënslib**.

Naast diatomeeën (meer dan 30% van de deeltjes) bevat de afzetting ook silicoflagellaten, terwijl er belangrijke hoeveelheden rode diepzeelei en CaCO_3 in kunnen voorkomen.

Deze pelagische diepzeeafzettingen bedekken circa 9% van de oceaانبodem en worden voornamelijk aangetroffen in het gebied van de koude zeeën, met name tussen 45° en 60° ZBr. (afb. 2).

Het voorkomen van grote hoeveelheden diatomeeën in de koude zeeën op aarde hangt samen met de viscositeit van het water als gevolg van de onderlinge aantrekkingskracht van de moleculen. Deze is namelijk zeer sterk afhankelijk van de temperatuur: de viscositeit neemt toe naarmate de temperatuur daalt. Dit betekent voor de diatomeeën dat koud water meer weerstand biedt en dus meer drijfvermogen heeft dan het warme water in de tropische zeeën.

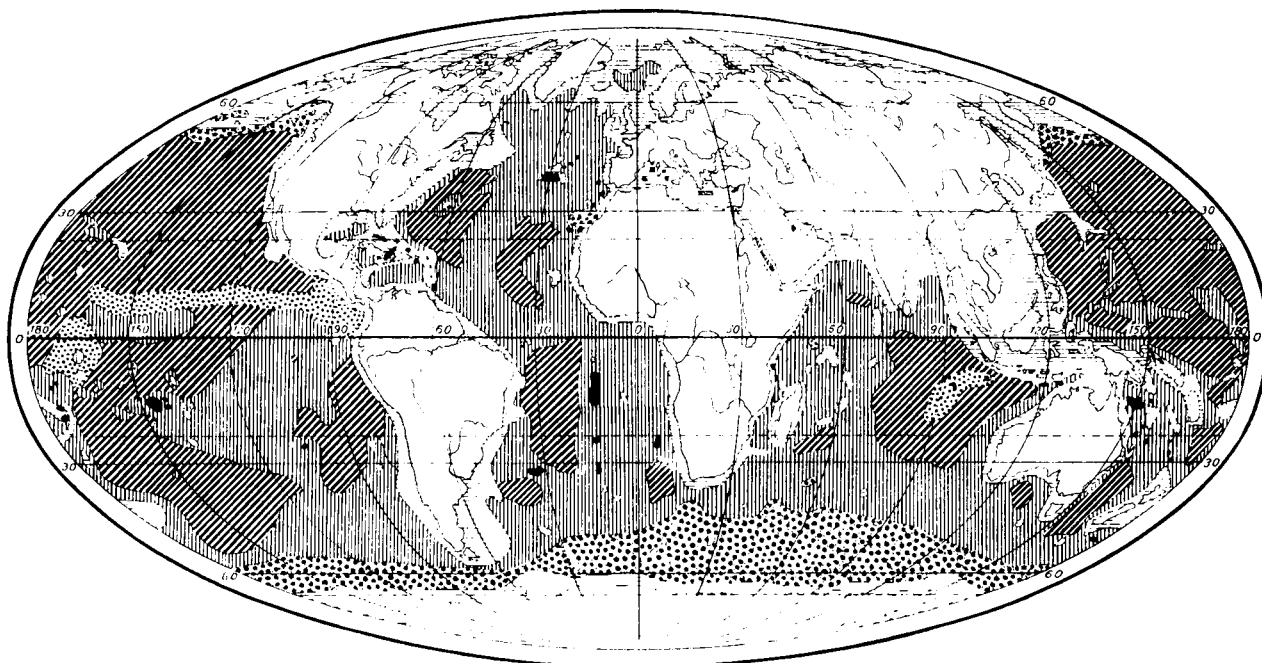
Bij omvorming (rekristallisatie) van diatomeeënaarde en diatomeeënslib ontstaat een massief, gelaagd kiezelgesteente dat men aanduidt als **diatomiet**. Bij het rekristallisatie-proces worden de uit amorphe SiO_2 bestaande en daardoor gemakkelijk oplosbare schaaltes opgelost en ter plaatse weer afgezet als cryptokristallijne kwarts, waarin nog slechts spaarzame resten van de vroegere diatomeeën zijn te herkennen.

Diatomeeënaarde-voorkomens bij Lüneburg

Ten zuidwesten van Lüneburg (Niedersachsen) treffen we een groot aantal verspreide voorkomens van diatomeeënaarde aan. De zuidelijkste voorkomens zijn het oudst. Ze dateren uit het Holsteinien en worden aangetroffen in de omgeving van Munster-Breloh, bij Hetendorf-Bonstorf en bij Oberohe-Neuohe-Wiechel.

Noordelijker hiervan vinden we in het Luhetal, tussen Bispingen en Schwindebeck, over een lengte van circa 10 km verscheidene diatomeeënaarde-voorkomens, die op grond van pollenanalytisch onderzoek gedateerd konden worden in het Eemien (afb. 3 en 4).

Het Luhetal is in het Saalien ontstaan als tunneldal (subglaciaal dal) door gletsjererosie en smeltwatererosie. Na het afsmelten van het landijs ontstond in dit langgerekte dal een aaneenschakeling van diepe meren. Deze meren werden in de loop van het Eemien opgevuld met lokale sedimenten. Het complete Eemien is hier vertegenwoordigd. De oudste meersedimenten zijn zoetwaterkalken van



Terrigeenslik
 Globigerinenslik
 Rode diepzeeslik
 Radiolariënslik

Korallageenslik
 Diatomeeënslik
 Pteropodenslik

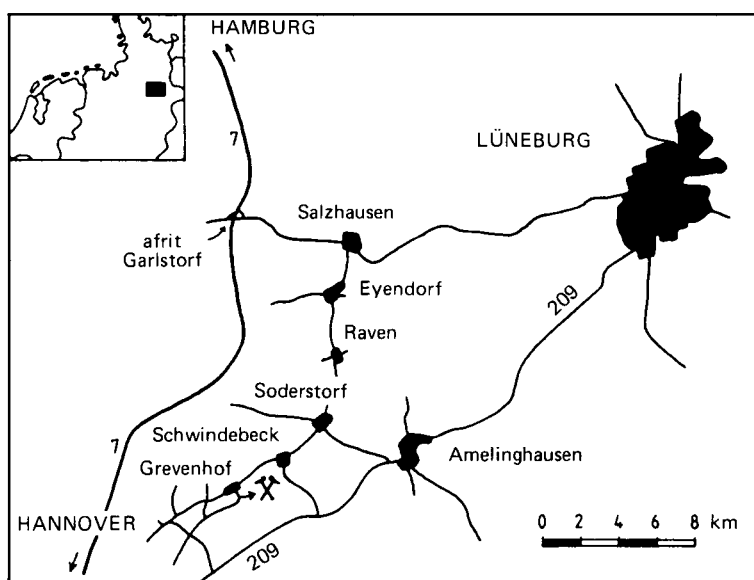
Afb. 2. Verbreiding van de verschillende oceaانبodemafzettingen

wouden met els, den, eik, haagbeuk, fijnspar, enz. Dit temperatuur- en vegetatiebeeld kon worden afgeleid uit de pollen, de plantaardige en dierlijke macroresten en de diatomeeën, die in de meersedimenten zijn aangetroffen.

omstreeks een meter dikte. Daarboven volgt de donkerbruine tot donkergrijze, deels kalkhoudende, diatomeeënaarde (afb. 4). De dikte van de diatomeeënaarde is gemiddeld 5 tot 8 meter, plaatselijk echter 15 meter. De top van het Eemien bestaat hier uit siltige meersedimenten. Zowel het Holsteinien als het Eemien waren tussenijstijden van het Kwartair met een gematigd warm klimaat, waarin de gemiddelde juli-temperatuur in het klimaats-optimum iets hoger – wellicht 2°C hoger – was dan de huidige. Het landschap werd ingenomen door uitgestrekte

Diatomeeënflora en milieu

In totaal konden er in de diatomeeënaarde-afzettingen bij Lüneburg meer dan 300 soorten en variëteiten van diatomeeën worden onderscheiden, waarvan het grootste deel een planktonische levenswijze had. Dit laatste wijst erop dat de interglaciale meren in dit gebied vrij diep waren. Men schat de diepte op 5 tot meer dan 20 meter.



Afb. 3. Ligging van diatomeeënaardevoorkomens uit het Eemien bij Grevenhof

Opvallend is het voorkomen van talrijke noordelijke soorten (glaciaalrelicten) in de afzettingen. Het grootste deel van de diatomeeën behoort echter tot de gematigd warmere soorten. Veelvuldig voorkomende soorten zijn *Stephanodiscus astraea*, *Stephanodiscus astraea* var. *minutula*, *Melosira granulata* en *Melosira ambigua* (afb. 5). Daarnaast treedt als eveneens belangrijke sedimentvormer, met wisselend aandeel, de soort *Synedra ulna* op (afb. 5). Deze soort bezit zowel een pelagische als sessiele levenswijze.

Uit de samenstelling van de diatomeeënassociaties blijkt, dat de interglaciale meren een bijzonder voedselrijk (eutroof) milieu vormden. Het waren zuiver zoetwatermeren, waarin zeer rustige sedimentatiecondities heersten. Onder deze omstandigheden werd de diatomeeënaarde afgezet.

Jaargelaagdheid

In de diatomeeënaarde-afzettingen blijkt een kenmerkende jaargelaagdheid voor te komen, waaruit men heeft kunnen berekenen dat de sedimentatiesnelheid van de verschillende pakketjes elk jaar in de orde van grootte van 1 tot 2 mm moet zijn geweest. In enkele gevallen werd een sedimentatiesnelheid van circa 5 mm/jaar afgelezen. Bovendien kon men uit het totaal aantal afgezette pakketjes berekenen dat het Eemien — in dit gebied nagenoeg compleet vertegenwoordigd — zeker in totaal 12.000 jaren heeft geduurd, mogelijk zelfs 15.000 à 16.000 jaren. De diatomeeënaarde-afzettingen bestaan uit een opeenstapeling van een groot aantal dunne, rhytmische pakketjes. Elk pakketje bestaat uit twee delen: de normale jaarsedimentatie plus een laagje diatomeeën door waterbloei afgezet. Elk pakketje vertegenwoordigt dus één jaar. Het lichtgekleurde laagje binnen elk pakketje, dat in de regel niet dikker dan 0,5 mm is, stamt volgens het pollenonderzoek uit het voorjaar (maart tot mei) en bevat een enorme hoeveelheid planktonische diatomeeën van de soort *Stephanodiscus astraea* en *Stephanodiscus astraea* var. *minutula* (afb. 5).

Het donkergekleurde gedeelte binnen elk pakketje is daarentegen in de rest van het jaar gevormd en bevat naast diatomeeën (vooral de kolonievormende soort *Melosira granulata*, die in de late zomer en in de herfst soms massaal kan optreden) veel kwarts en organische substanties. In de donkergekleurde laagjes, die meestal 1 à 1,5 mm dik zijn, komen ook veel resten van waterplanten, bosplanten (vruchten en zaden) en waterdieren (keverschilden) voor. Veel van dat organisch materiaal is uit de beboste omgeving in de meren gespoeld en op de meerbodem bezonken. Het kleurverschil tussen de laagjes binnen elk pakketje is dus een gevolg van een verschil in de hoeveelheid organisch materiaal binnen het sediment. Het uiterst fijne lichtgekleurde laagje binnen elk pakketje bevat bijna uitsluitend diatomeeën en is een gevolg van waterbloei.

Waterbloei

Het verschijnsel, waarbij elk jaar opnieuw in het voorjaar gedurende een korte tijd het water gekleurd wordt door het massaal optreden van bepaalde soorten diatomeeën noemt men **waterbloei**.

In de bovenste meters van het extreem voedselrijke meerwater ontwikkelde zich elk voorjaar (van maart tot mei) een flora van diatomeeën, die zich razendsnel kon vermenigvuldigen onder invloed van gunstige milieucondities. Enkele soorten overheersten hierbij duidelijk. In de

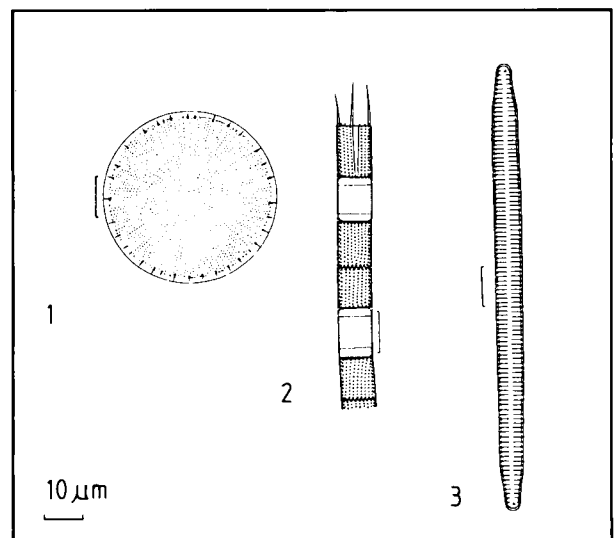


Afb. 4. Een diatomeeënaarde-groef van de Kieselgurwerke "Wacholder Paradies", omgeving Grevenhof (Luhetal)

interglaciale meren uit het Eemien waren dat vooral *Stephanodiscus astraea* en *Stephanodiscus astraea* var. *minutula*, die elk voorjaar opnieuw het water bruin tot geelbruin kleurden. Na deze bloeiperiode stierven de diatomeeën weer grotendeels af, waardoor hun kiezelschaaltjes naar de meerbodem konden zakken en daar een niet meer dan 0,5 mm dik laagje van kiezelschaaltjes vormden.

Dat het in de diepere interglaciale meren tot zo'n jaarlijks terugkerende explosieve diatomeeëngroei kon komen was het gevolg van gunstige milieucondities in het voorjaar: helder water, voedselrijkdom, gunstiger lichtomstandigheden en snelle temperatuuroptename. Vooral het voorkomen van grote hoeveelheden kiezelzuur in het meerwater is een bepalende factor voor de waterbloei geweest. Dit kiezelzuur was afkomstig uit de fluvio-glaciale sedimenten die in de omgeving aan de oppervlakte liggen. Vooral in de wintermaanden (van december tot februari) kon zich door deze aanvoer uit de omgeving een kiezelzuurrijkdom in

Afb. 5. De meest voorkomende diatomeeën in de diatomeeënaarde uit het Eemien bij Lüneburg zijn *Stephanodiscus astraea* (1), *Melosira granulata* (2) en *Synedra ulna* (3).



het water opbouwen. Na de waterbloei in het voorjaar vond er in de zomer, ondanks de hogere temperatuur, geen massa-ontwikkeling van diatomeeën meer plaats, omdat alle kiezelzuur in het voorjaar was opgebruikt. Dit kiezelzuur werd slechts langzaam weer aangevuld. Dat er weinig kiezelzuur in de zomermaanden voorhanden was, betekende niet dat er geen diatomeeën meer in de meren voorkwamen. Het hele jaar door leefden er diatomeeën, waarbij soms in de late zomer een kleine bloei van *Melosira granulata* plaatsvond.

Anaërobe omstandigheden

Voor het onderste deel van de fijnzandige diatomeeën-aarde-afzettingen bezit een opvallend zwarte en donkerbruine kleur, die een gevolg is van anaërobe (zuurstof-arme) omstandigheden. Tijdens de afzetting van het sediment ontbrak er op de bodem van de diepere eutrofe meren een actieve bodemfauna t.g.v. de zuurstofarmoede. Hierdoor zijn de meerbodemsedimenten niet doorwoeld, zodat de jaargelaagdheid dan ook niet is verstoord. De zwarte en donkerbruine kleur van de diatomeeën-aarde wordt toegeschreven aan mineralen (FeS₂), die bij de

anaërobe verrotting van organische stof op de meerbodem zijn neergeslagen. Dit verrottingsproces vond plaats onder invloed van zgn. anaërobe sulfaatreducerende bacteriën, die in dit zuurstofarme milieu konden leven.

Literatuur

Benda, L. en H. Brandes, 1974: Die Kieselgur-Lagerstätten Niedersachsens I. Verbreitung, Alter und Genese. Geol. Jahrbuch, Rh.A., 21, 3-85;
Benda, L., 1974: Die Diatomeen der Niedersächsischen Kieselgur-Vorkommen, palökologische Befunde und Nachweis einer Jahresschichtung. Geol. Jahrbuch, Rh.A., 21, 171-197;
Birks, H.J.B. en H.H. Birks, 1980: Quaternary Palaeoecology. Edward Arnold (Publ.) Ltd., 289 blz.;
Buisson, P.H. de, 1978: Waterbloei: massasterfte en extreem gunstige fossilisatievoorwaarden. Gea, vol. 11 nr. 2, 25-34;
Müller, H., 1974: Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. Geol. Jahrbuch, Rh.A., 21, 149-169.

De Middellandse Zeewoestijn

door drs. W.C.P. de Vries

De beddingen van de grote rivieren die uitstromen in de Middellandse Zee, zoals Rhône en Nijl, kunnen in zee worden vervolgd in grote canyons, die zich hebben gevormd in de rand van de continenten en uitkomen op de bodem van de Middellandse Zee. Deze bodem bestaat voor een groot gedeelte uit oceanische, dus bazaltische korst. Daarnaast is het deltagebied van deze rivieren opgebouwd uit een enorm dikke serie van alluviale sedimenten. Het beeld dat op deze wijze ontstaat, suggereert dat de rivieren, in een geologisch gezien vrij recente periode, in het benedenstroomse gebied zeer diepe dalen hebben uitgesleten. Deze dalen liepen ver door buiten de huidige kustlijn en zetten zich voort tot terreinen waar de bodem van de Middellandse Zee nu hier en daar wel enkele kilometers diep is.

Voor het vinden van een verklaring van dit verschijnsel kan worden gekeken naar de Noordzee, waar op de bodem ook de rivierlopen van Rijn en Theems te zien zijn. Deze rivieren bereikten tijdens de IJstijd, toen het zeeniveau ongeveer 200 meter lager lag dan op dit ogenblik, de open zee pas ter hoogte van de Doggersbank.

Indien de verklaring van de enorme onderzeese canyons van Rhône en Nijl gezocht moet worden in een vergelijkbare oorzaak, dan moeten we aannemen, dat het niveau van de Middellandse Zee sterk heeft gevarieerd, en dat niet over enkele honderden meters, doch over enkele kilometers!

In het boek "The Mediterranean was a Desert", uitgegeven door Princeton University Press, Princeton, NJ, 1983, geeft K.J. Hsu een verslag van het boorprogramma van de Glomar Challenger, die op een dertiental plaatsen in de Middellandse Zee kernboringen heeft verricht. De conclusie uit dit onderzoek was evident: de Middellandse Zee heeft verscheidene perioden gekend waarin het gebied drooglag.

Het mag ongelooflijk klinken: in de geologisch gezien uiterst korte tijd van rond 5 miljoen jaar geleden was het Mediterrane gebied een diepe depressie in het aardoppervlak, waarvan de bodem rond 3 km diep lag. In dit gebied heerste een woestijnklimaat. De grote rivieren van Europa en Afrika stortten zich in indrukwekkende cascaden van de continentrand af naar beneden. In de gloeiende hete oven op de vloer van de depressie verdampte een groot gedeelte van het water en zo ontstonden er uitgestrekte zoutmeren. Toen opende zich de Straat van Gibraltar en met de grootste waterval aller tijden werd het bekken in korte tijd, mogelijk binnen een eeuw, met water gevuld. Deze cyclus: vulling van de Middellandse Zee-depressie; afsluiting van de ingang bij Gibraltar; weer uitdroging door de verdamping en daardoor vorming van uitgebreide zoutafzettingen, heeft zich in de loop van het Mioceen rond tien maal herhaald. De sedimenten op de bodem van de Middellandse Zee geven een verslag van deze gebeurtenissen: dolomiet, gips, steenzout en lagen met fossielen die aantonen, dat het water steeds zouter werd. Deze fossielen bestaan uit een rijkdom aan individuen van slechts enkele soorten die zich in het sterk zoute water enige tijd konden handhaven voor ook hun uitsterven inzette.

Het boek van Hsu is niet alleen een reconstructie van de geschiedenis van het Middellandse Zee-bekken gedurende het jongere Tertiair en het Kwartair, maar dit uitstekend en voor velen begrijpelijk geschreven boek geeft ook een avontuurlijk verslag van de werkzaamheden op de "Glomar Challenger". Hsu geeft ook nog een uitgebreide inleiding in de moderne ontwikkelingen in de geologie, zoals de plaattektoniek, waarmee de ontwikkeling van het Middellandse Zee-gebied verbonden is. In dit gebied lag in het Mesozoïcum de Tethys-geosynclinale, die door de bewegingen van het Afrikaanse continent en Europa samenge-