

GEOLOGIE EN DIATOMEEËN

P.C. Vos * & H. de Wolf **

Diatomeeën, ééncellige kiezelwieren, zijn geologisch van belang omdat 1) diatomeeën met slijmverbindingen het sediment vastleggen en daarmee de sedimentatie bevorderen, 2) diatomeeën te gebruiken zijn als paleo-ecologische indicatoren, 3) diatomeeën, vooral in diepzeeafzettingen, toepasbaar zijn als biostratigrafi-

sche indicatoren en 4) diatomeeënaarde een potentieel oliereservoirsteente is, dat te gebruiken is voor een groot aantal industriële toepassingen.

In dit artikel zullen de toepassingen van het diatomeeënonderzoek voor de geologie aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden besproken worden.

* Afdeling Sedimentologie, Instituut voor Aardwetenschappen, Rijks Universiteit Utrecht, Budapestlaan 4, 3581 TA Utrecht.

** Afdeling Diatomeeën, Rijks Geologische Dienst, Spaarne 17, 2000 AD Haarlem, Nederland.

INLEIDING

Diatomeeën (*Bacillariophyceae*) zijn microscopisch kleine, ééncellige kiezelwieren. Elke diatomeeënsoort bezit een uniek kiezelke-

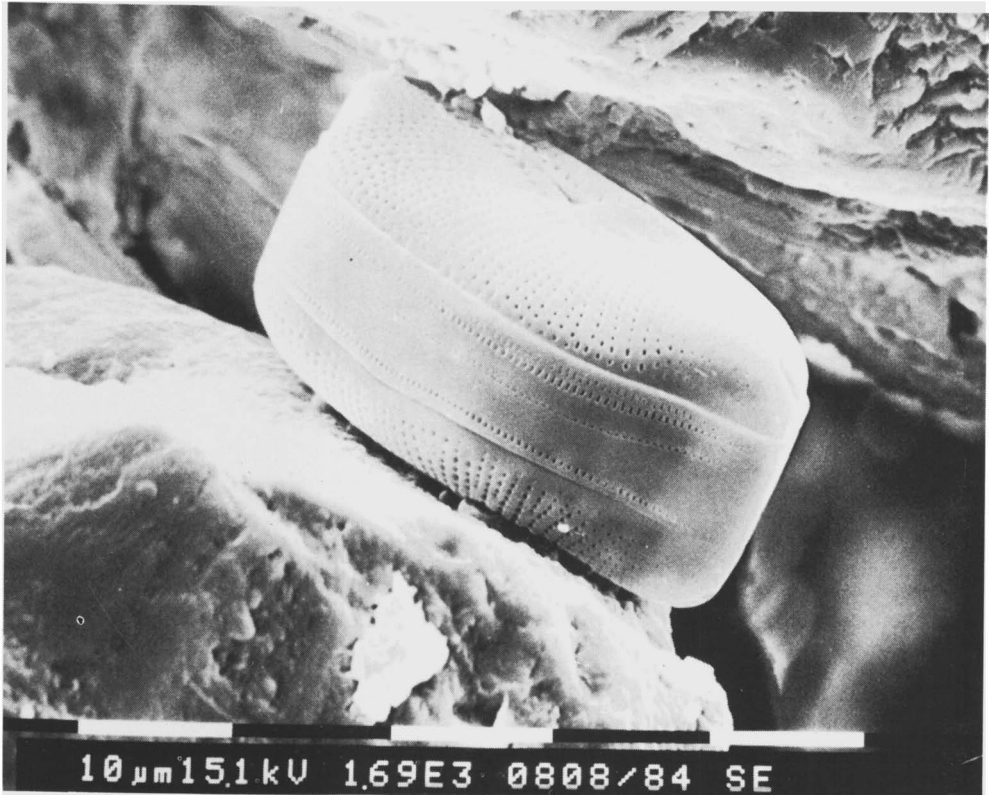


Fig. 1: Een op de intergetijdse zandplaten algemeen voorkomende soort *Navicula humerosa*, in geklemd tussen 2 zandkorrels.

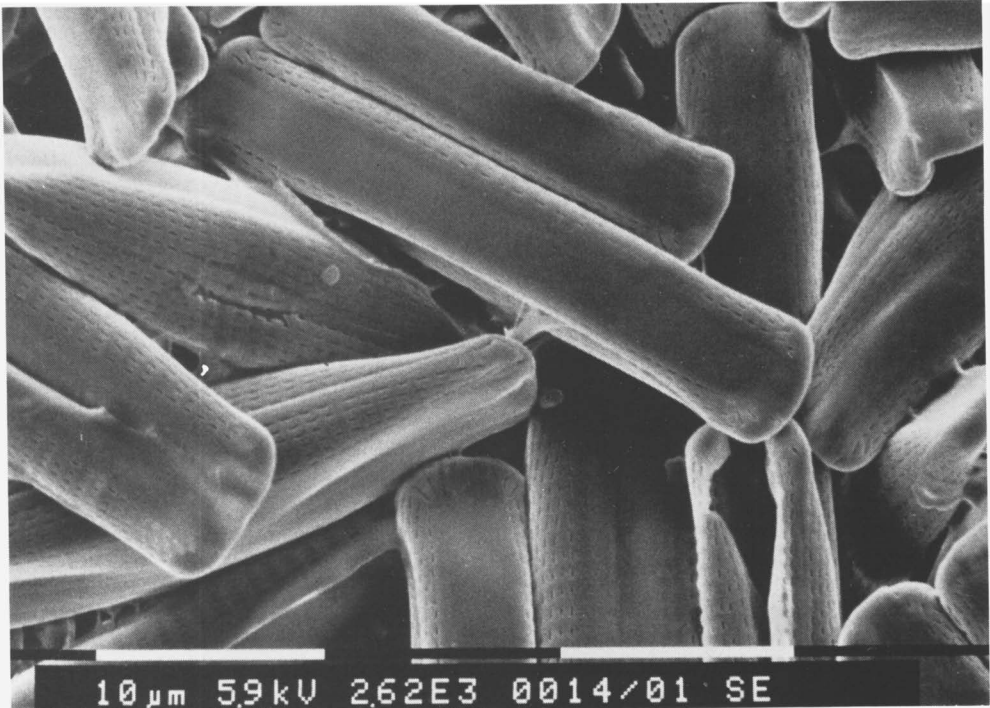
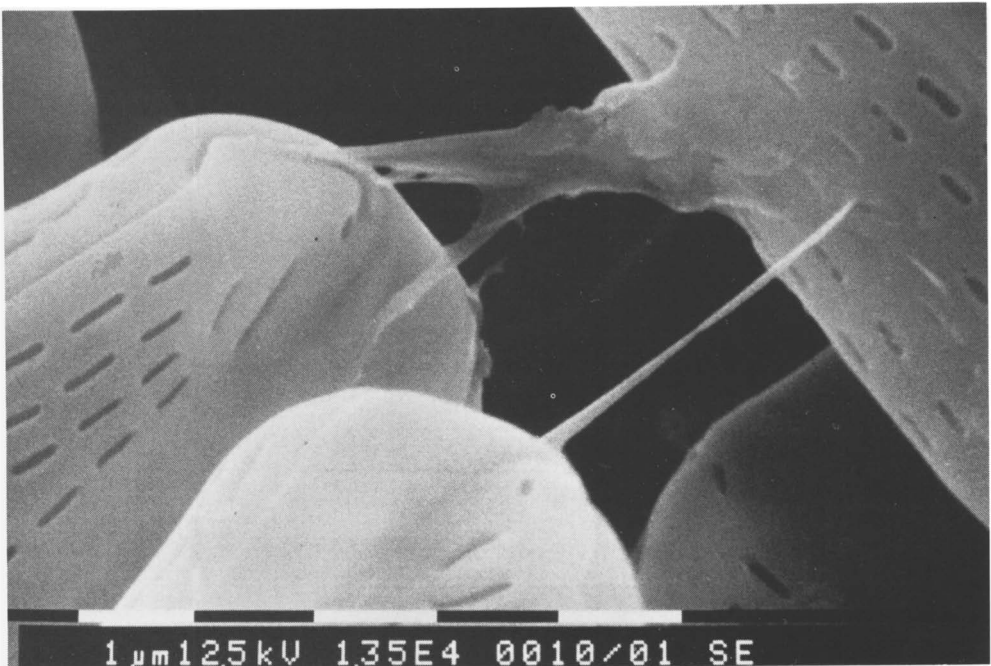


Fig. 2: Netwerk van epipelische diatomeeën (*Navicula flanatica*). Het netwerk is 1 tot 5 diatomeeën dik.

Fig. 3: Detail van de *Navicula flanatica* mat. De diatomeeën zijn via slijmraden met elkaar verbonden. De monsters zijn met alcohol gefixeerd waardoor de slijmraden zijn gedehydriseerd. Wanneer de monsters worden bestudeerd onder een lage-temperatuur scanning electronmicroscop zijn de draden veel volumineuzer.



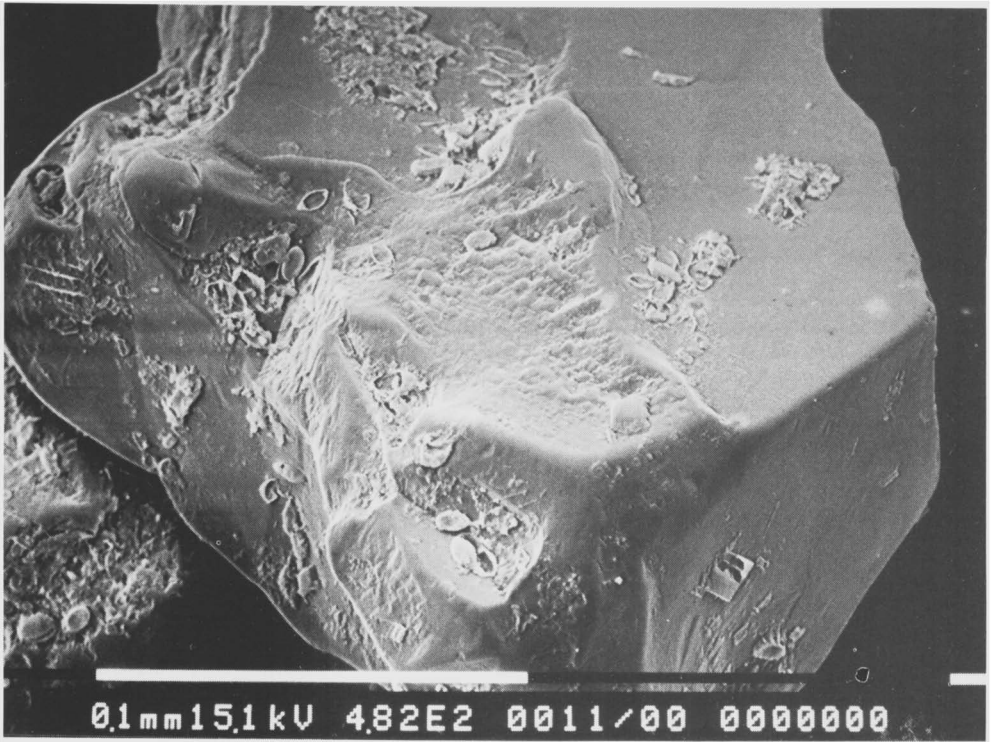
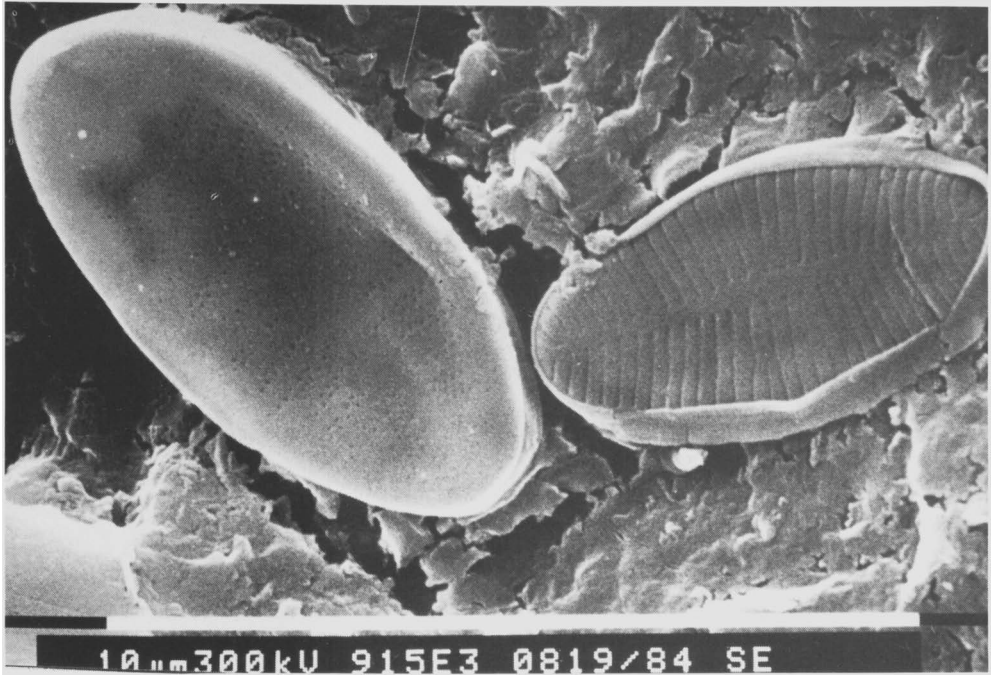


Fig. 4: Kleine epissammische diatomeeën (doorsnee ongeveer $10\ \mu\text{m}$) op een zandkorrel; de meeste diatomeeën zitten in de meer beschutte holtes van de korrel.

Fig. 5: *Achnanthes* sp. vastgehecht aan een zandkorrel. Naast de diatomeeën is de organische coating over de korrel zichtbaar.



let, dat is opgebouwd uit twee kiezelschaaltjes die als een doosje in elkaar passen (fig. 1). De grootte van de meeste diatomeeënsoorten ligt tussen de 10 en 100 μm . Wat betreft de korrelgrootte-indeling vallen ze dus in de silt en zeer fijne zandfractie.

Diatomeeën leven - als plantjes - in alle vochtige (o.a. bodems) en aquatische milieus (o.a. sloten, meren en oceanen), indien de lichtomstandigheden in deze milieus voldoende zijn voor fotosynthese. De verschillende diatomeeënsoorten hebben diverse levenswijzen: 1) planktonisch - permanent in het water zwevend, 2) benthisch - in en op de bodem levend, 3) epifytisch - aan waterplanten en macro-algen vastzittend en 4) epilithisch - aan kaden en rotsen vastgehecht.

In aquatische ecosystemen hebben de diatomeeën een belangrijke functie omdat zij als primaire producenten aan de basis van de voedselketen staan. Een tweede belangrijke functie is dat de diatomeeën een aanzienlijk deel van de totale zuurstofvoorziening op aarde voor hun rekening nemen. Dit laatste omdat een groot deel van het oceanisch plankton uit diatomeeën bestaat.

Een geheel andere (ecologische en geologische) functie is dat de diatomeeën in (met name) getijde-ecosystemen een niet te onderschatten rol spelen bij het vastleggen van het sediment doordat zij met slijmverbindingen de erosie van het sediment tegengaan. De rol van de diatomeeën in het sedimentatieproces zal in het volgende besproken worden aan de hand van een onderzoek dat uitgevoerd is in de Oosterschelde.

Omdat de diatomeeën skeletjes kunnen fossiliseren, zijn zij geologisch van belang als:

- 1) paleo-ecologische indicatoren,
- 2) bio-stratigrafische indicatoren,
- 3) oliereservoirgesteente en delfstof.

Het op de geologie gerichte diatomeeënonderzoek is in vergelijking met andere microfossielen, zoals pollen, foraminiferen en mollusken, een onbekend en door relatief weinig onderzoekers bedreven specialisme. De schrijvers hopen met dit artikel de mogelijkheden en het belang van het diatomeeënonderzoek een grotere bekendheid te geven; dit zal geschieden aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden.

SEDIMENTSTABILISATIE VAN BENTHISCHE DIATOMEEËN

Met name in getijdegebieden kunnen de in de bodem levende diatomeeën een belangrijke rol spelen bij het vastleggen van het sediment. Uit de verontreinigingsproeven op het slik in

Wash (Oost-Engeland) van COLES (1979) bleek dat op de verontreinigde plaatsen, waar de diatomeeën gedood waren (formaline), erosie optrad. Dit in tegenstelling tot de niet-verontreinigde plaatsen.

In de Oosterschelde is, naar aanleiding van de bouw van de stormvloedkering door Rijkswaterstaat, onderzoek gedaan naar de sedimentstabiliserende werking van benthische diatomeeën in relatie met de zich wijzigende hydro-dynamische omstandigheden in dit getijdebekken (VOS e.a., 1988).

Uit dit onderzoek bleek dat de levenswijzen van benthische diatomeeën een belangrijke rol spelen in het stabilisatieproces. Twee groepen benthische diatomeeën kunnen onderscheiden worden: 1) epipelische diatomeeën - zich vrij in en over het sediment voortbewegende soorten (fig. 1 t/m 3) en 2) epipsammische diatomeeën - aan zandkorrels vastgehechte soorten die zich niet of nauwelijks voortbewegen (fig. 4 en 5). De epipsammische diatomeeën zijn veelal kleiner (5-20 μm).

Op twee manieren bevorderen de diatomeeën de stabiliteit van het sediment:

- Cohesie-effect. Zowel epipsammische als epipelische diatomeeën brengen slijmverbindingen aan op de zandkorrels en bevorderen daarmee de cohesie tussen de zandkorrels. Samen met bacteriën en kleideeltjes vormen deze slijmverbindingen een coating over de zandkorrels (fig. 5).
- Netwerk-effect. Epipelische diatomeeën zijn in staat naar het oppervlak te kruipen en daar een netwerk van 1 tot 5 diatomeeën dik te vormen. De diatomeeën zijn met slijmraden aan elkaar verbonden (fig. 2 en 3).

Het netwerk van diatomeeën (diatomeeënmat) is in het veld te herkennen als een groenbruine of goudbruine vettige film over het sediment (fig. 6).

Uit laboratorium-experimenten, aan de hand van sedimentmonsters uit de Oosterschelde bleek dat de verhoging van de kristische erosie snelheid als gevolg van het netwerk-effect (matvorming) veel belangrijker was dan van het cohesie-effect.

Op zandplaten en wadden heeft de vorming van een diatomeeënmat twee gevolgen: 1) verdwijnen van ribbelpatronen (afname van de bodem ruwheid) en 2) afname van de korrelgrootte omdat fijn sediment in het netwerk wordt gevangen en vastgelegd. Er blijkt een duidelijke relatie te bestaan tussen de vorming van diatomeeënmaten en de energetische omstandigheden (golferwing en stroming). In een hoog-energetisch milieu wordt de beginnende matvorming (die



Fig. 6: Detail van een vette bruinkleurige mat over een stroomribbel. Een stukje van de mat is ondergraven en is door de diatomeeënbinding in z'n geheel afgeleden.

b.v. op een zandplaat plaatsvindt tijdens laagwater wanneer de plaat droog ligt) voortdurend afgebroken. Neemt gedurende een langere periode de golfwerking/stroming af, dan vormen zich diatomeeënmatten, die het sediment in een daarop volgende hogere energetische periode voor kortere of langere tijd tegen erosie beschermen. De energetische drempelwaarden waarop de matten zich gedurende langere tijd kunnen handhaven is daarom een zeer belangrijke factor in het stabilisatieproces.

De energetische drempelwaarde voor de matvorming is in het geval van de Oosterschelde na de bouw van de stormvloedkering niet in sterke mate verschoven. Weliswaar zijn, als gevolg van de kering, de getijdebieten en stroomsnelheden met een tiental procenten gedaald, maar het effect van de golfwerking neemt eerder toe dan af in de nieuwe situatie, waardoor de diatomeeënmatforming zich niet op grote schaal zal uitbreiden. Alleen in de op een aantal tegen de wind beschut gelegen plaatsen zal de matvorming zich uitbreiden.

PALEO-ECOLOGISCH DIATOMEEËN-ONDERZOEK

Zowel in limnische als in mariene milieus zijn diatomeeën waardevolle paleo-ecologische

indicatoren omdat de soortensamenstelling afhankelijk is van specifieke ecologische condities. Belangrijke milieuparameters die deze condities bepalen, zijn: energetische omstandigheden, overspoelingsduur, licht-intensiteit, watervervuiling, zoutgehalte en pH.

Een belangrijke beperking van het gebruik van diatomeeën als paleo-ecologische indicatoren is dat ze na de afzetting kunnen oplossen indien het grondwater onderverzadigd is aan kiezelzuur.

In de zoetwater-afzettingen worden de diatomeeën gebruikt om de waterkwaliteit en de verzuring te reconstrueren. In verband met de zure regen-problematiek is in de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar subrecente meerafzettingen in Noordwest-Europa. Met behulp van de diatomeeën kan het lange termijn verloop van de pH in de meren geregistreerd worden. Een voorbeeld (fig. 7) van een meer dat vanaf het begin van deze eeuw sterk verzuurd is, is Round Loch of Glenhead in Schotland (FLOWER & BATTARBEE, 1983).

Binnen het mariene gebied zijn diatomeeën zowel in de ondiepe kustafzettingen als in de diepzee-sedimenten te gebruiken als milieu-indicatoren.

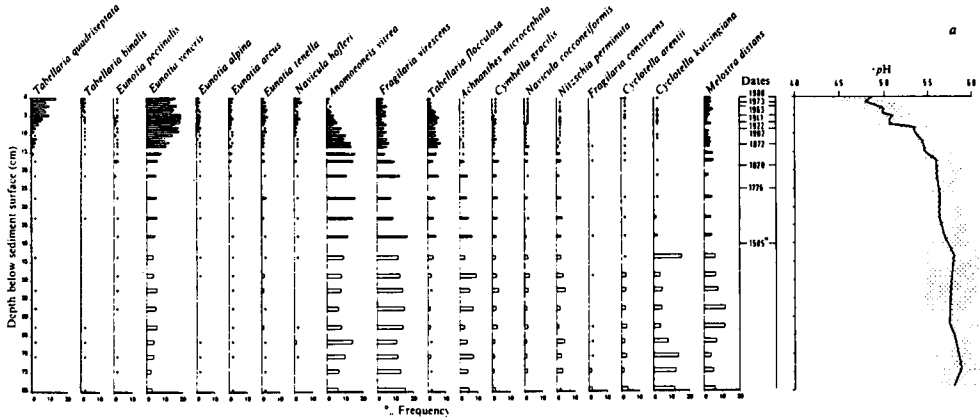


Fig. 7: Diatomeeëndiagram van Round Loch of Glenhead waarin zijn weergegeven: de percentages van de belangrijkste soorten, ²¹⁰Pb dateringen en de pH curve (volgens Index B van Renberg en Hellberg). In: Flower & Battarbee, 1983.

Het onderzoek in de Zaire diepzeefan (Atlantische Oceaan) door Van IPEREN e.a. (1987) is een mooi voorbeeld van toegepast paleo-ecologisch diatomeeënonderzoek in diepzee-afzettingen. Zij onderscheiden 6 diatomeeëngroepen in dit gebied; elke groep is gerelateerd aan een bepaald hydrografisch fenomeen, te weten: de invloed van de Zaire rivier in zee; de invloed van de Zuid-Equatoriale Tegenstroom; plaatselijk omhoog komen van koudere watermassa's en het voorkomen van lagere saline en/of kustnabije productieve wateren. Op basis van de oppervlakteverspreiding van deze groepen kon de paleo-hydrografie van de Zaire diepzeefan gereconstrueerd worden.

In kustafzettingen worden diatomeeën gebruikt als hulpmiddel bij de reconstructie van de zeespiegelstand, de getij-invalde, de overspoelingsfrequentie (sub-, inter-, en supragetijd zones) en de saliniteit.

De belangrijkste vraag die zich bij de milieureconstructie voordoet is of de diatomeeën tijdens de afzetting daar geleefd hebben (autochtoon) of dat zij van elders zijn aangevoerd (allochtoon) omdat alleen de autochtone diatomeeëninformatie geven over het afzettingsmilieu ter plaatse. De allochtone diatomeeën geven slechts informatie over gebeurtenissen in de omgeving.

Het bepalen van het onderscheid tussen autochtone en allochtone soorten is mogelijk aan de hand van een aantal diatomeeën en niet-diatomeeën criteria (VOS & DE WOLF, 1988a). Bij de diatomeeëncriteria staat de indeling van de diatomeeën in ecologische groepen (diatomeeën die voorkomen in hetzelfde leefmilieu) centraal. Bijvoorbeeld, als mariene planktoni-

sche diatomeeën samen met aerofiele benthische diatomeeën (bodemdiateeënen die bestand zijn tegen langdurige droogvalling) voorkomen is een van de twee allochtoon.

Niet-diatomeeëncriteria die gebruikt kunnen worden bij het autochtoon/allochtoon onderscheid zijn o.a. sedimentaire structuren en andere paleo-ecologische indicatoren zoals mollusken.

De werkwijze en de mogelijkheden van het paleo-ecologisch onderzoek in het Nederlandse kustgebied zullen geïllustreerd worden aan de hand van een onderzoek van de Rijks Geologische Dienst in de omgeving van Velsen (VOS & DE WOLF, 1988b).

De volgende onderzoeksfasen zijn te onderscheiden:

- Prepareren en analyse van de monsters: boring Beverwijk-Wijkerbroek en ontsluiting Velsen-Tunnelput.
- Invoeren van de analysegegevens in de computer met als resultaat: 1) een soortendiagram - waarin de percentages van de afzonderlijke diatomeeënsorten zijn weergegeven en 2) een groependiagram - waarin de percentages van de ecologische groepen worden weergegeven.
- Milieu-interpretatie op basis van het soorten- en groependiagram. De eerste stap bij de milieu-interpretatie is het bepalen van de autochtone en allochtone ecologische groepen. Vervolgens wordt op grond van een bepaalde combinatie van autochtone ecologische groepen het sedimentaire milieu gereconstrueerd, zie fig. 8.
- Landschapsreconstructie (fig. 9) op basis van milieu-interpretatie van het diatomeeënonder-


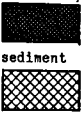



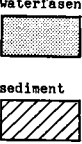










| Nr. | Legenda kaarten . profielen . | Sedimentaire milieus | Diatomeeën thanatocoenoses |
|-----|---|--|---|
| 1) |   | <p><u>Fluviatiele en limnische milieus.</u> Helder ondiep zoetwater, instraling aan de bodem voldoende voor de ontwikkeling van een benthische en epifytische diatomeeën populatie.</p> | <p>Autochtotoon: <i>Fragilaria construens</i>, <i>Stephanodiscus astrea</i>, <i>Epithemia zebra</i> en <i>Pinnularia maior</i> groep. Afwezig allochtone brakke en mariene groepen</p> |
| 2) |   | <p><u>Lagune</u></p> <p>A. Lagune zonder <u>getij</u> invloed. Helder ondiep zoet/brak tot brak water, instraling aan de bodem voldoende voor de ontwikkeling van een benthische en epifytische diatomeeën populatie.</p> <p>B. <u>Getijdige lagune.</u> Saliniteit en lichtklimaat vergelijkbaar met 2A.</p> | <p>Autochtotoon: <i>Synedra tabulata</i>, <i>Rhoicosphenia curvata</i>, <i>Melosira moniliformis</i> en <i>Navicula digitoradiata</i> v. min. groep Aandeel allochtone marien litorale groepen gering (< 10%).</p> <p>Zelfde ecologische groepen als 2A; verschil is dat het aandeel van de allochtone marien litorale diatomeeën hoger is (10-60%).</p> |
| 3) |   | <p><u>Getijdige geulen, zeegaten, litorale zone voor de kust, getijdige lagunes.</u> Brakke en zoute subgetijdige milieus waar de instraling onvoldoende is / energetische omstandigheden te hoog zijn voor de ontwikkeling van een benthische en epifytische diatomeeën populatie.</p> | <p>Autochtotoon s.l./allochtotoon: Marien litorale groepen (dominant, 70-95%). Alle overige allochtone ecologische groepen laag (< 10%).</p> |
| 4) |   | <p><u>Intergetijdige platen / wadden en de ondiepe (0- 2 meter) subgetijdige zone.</u></p> <p>A. <u>Zandplaten / wadden, zandbanken en stranden</u>, blootgesteld aan <u>hoge energetische omstandigheden</u> (o.a. vorming megaribbels).</p> <p>B. <u>Zandplaten / wadden en zandbanken</u>, waar de <u>energetische omstandigheden lager</u> zijn dan in 4A.</p> <p>C. <u>Slikwad.</u></p> | <p>Zeer arm aan diatomeeën. Autochtotoon: <i>Achnanthes delicatula</i> en <i>Amphora proteus</i> groep.</p> <p>Relatief rijk aan diatomeeën. Autochtotoon: <i>Achnanthes delicatula</i> en <i>Amphora proteus</i> groep. Allochtone marien litorale groepen relatief laag (< 40%) en overige allochtone groepen laag (< 5%).</p> <p>Autochtotoon: <i>Navicula digitoradiata</i> v. min. en <i>Nitzschia debilis</i> groep. Allochtone marien litorale groepen sterk wisseld vertegenwoordigd (25-85%) overige allochtone groepen laag (< 10%).</p> |
| 5) |   | <p><u>Kwelders (schorren)</u></p> <p>A. <u>Lage deel kwelder</u>, overgangszone hoogwad/kwelder.</p> <p>B. <u>Hoger liggend deel</u> van de <u>kwelder</u>.</p> | <p>Autochtotoon: <i>Diploneis interrupta</i>, <i>Hantzschia amphioxys</i> en <i>Navicula digitoradiata</i> v. min. groep. Overige allochtone groepen in wisselende percentages aanwezig.</p> <p>Autochtotoon: <i>Diploneis interrupta</i> en <i>Hantzschia amphioxys</i> groep. Overige allochtone groepen in wisselende percentages aanwezig.</p> |
| 6) |   | <p><u>Strandwallen en duinen.</u></p> | <p>In het algemeen geen diatomeeën. Indien oorspronkelijk aanwezig, opgelost door bodem processen.</p> |
| 7) |   | <p><u>Veen.</u> Eutrofe, mesotrofe en oligotrofe veen milieus.</p> | <p>Meestal geen diatomeeën door lage (geologische) productie en bodem processen, uitgezonderd de meertjes in het veen.</p> |
| 8) |   | <p><u>Pleistoceen substraat.</u> Fluviatiele, fluvio-glaciale, periglaciale, eolische en mariene milieus</p> | <p>Veelal geen diatomeeën (o.a. door bodem processen).</p> |

Fig. 8: Relatie tussen verschillende diatomeeënanatocoenose (autochtone en allochtone ecologische groepen) en de sedimentaire milieus in kustgebieden (in VOS & DE WOLF, 1988b).

zoek en overige geologische en paleo-ecologische gegevens.

BIOSTRATIGRAFIE

Diatomeeën worden vanaf het Boven-Krijt (66 miljoen jaar BP) in de mariene sedimenten gevonden. Berichten over diatomeeën, ouder dan het Krijt, zijn onzeker. De oudste niet-mariene diatomeeën dateren uit het Laat-Eoceen. Het is waarschijnlijk dat diatomeeën oorspronkelijk wel in de Pre-Krijt afzettingen voorkwamen, maar dat ze niet bewaard zijn gebleven als gevolg van diagenetische processen. Bij een toenemende dikte van het sedimentpakket stijgt de temperatuur in het gesteente en begint het biogene kiezel van de diatomeeën skeletjes te rekristalliseren. Rond de 50° C gaat het biogene kiezelopaal-A (amorf opaal) over in opaal-CT (onregelmatig cristabalië-tridymiet) en rond de 80° C wordt opaal-CT omgezet in kwarts. De diepte waarop deze veranderingen plaatsvinden varieert, afhankelijk van de thermische gradient in een bepaald gebied, tussen de 600 en 1500 meter (PISCOTTO, 1981; BARRON, 1987).

De oplosbaarheid van de diatomeeën is een belangrijke beperking bij het biostratigrafisch (en paleo-ecologisch) onderzoek in de Krijt- en jongere afzettingen.

In alkalische milieus, met een pH boven de 9, neemt de oplosbaarheid van het biogene kiezel zeer sterk toe. Dit betekent dat diatomeeën vrijwel nooit in kalksedimenten worden aangetroffen.

Diatomeeën worden meestal ook niet gevonden in zandige watervoerende sediment pakketten omdat ze oplossen in het aan biogene kiezel onverzadigde grondwater.

De tijdsduur van het Krijt en Tertiair was lang genoeg voor de ontwikkeling van nieuwe soorten en het uitsterven van andere soorten (evolutie van de soorten). Op basis van het eerste en laatste voorkomen van bepaalde kenmerkende soorten (gidsfossielen) kunnen specifieke periodes vastgesteld worden. Op basis daarvan kunnen de sedimentlagen gedateerd worden.

Voor vrijwel alle planten en dieren geldt dat het Kwartair te kort was voor de ontwikkeling van veel nieuwe soorten. Het Kwartair wordt daarom niet ingedeeld op basis van kenmerkende gidsfossielen, maar door het optreden van be-

Atlanticum - ca. 7000 BP

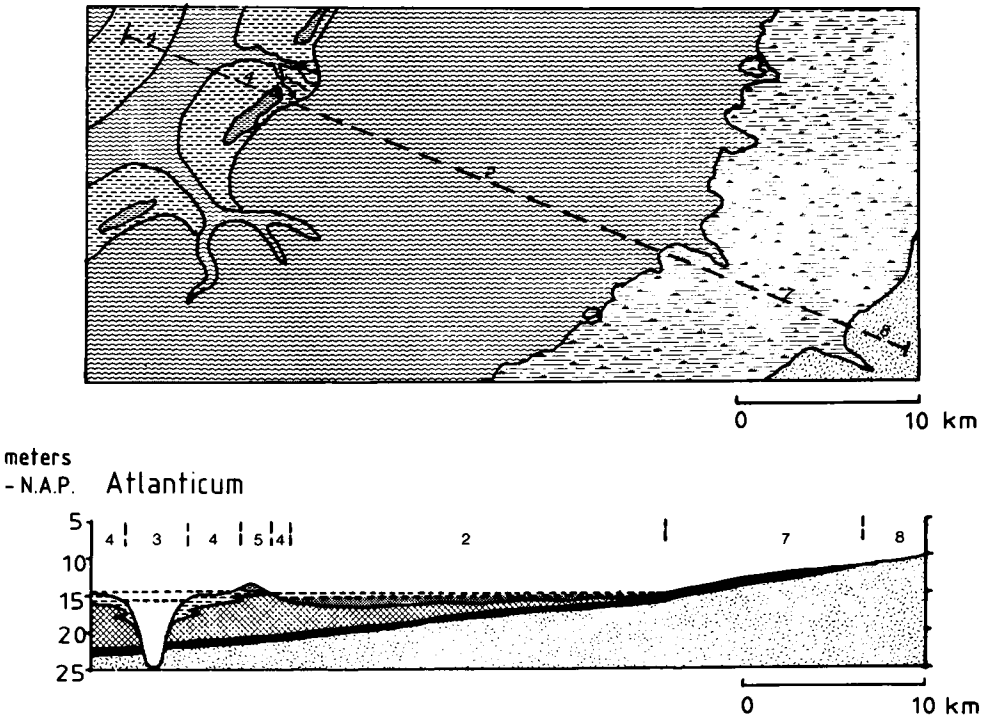


Fig. 9: Hypothetische landschapsreconstructie van de randzone van het mariene systeem in het gebied rond Velsen tijdens het Atlanticum (7000 jaar BP)(VOS & DE WOLF, 1988b). Legenda, zie figuur 8.

| Zone | Subzone | Marker ^a |
|--|---------|---|
| <i>P. doliolus</i> | | T. <i>Nitzschia reinholdii</i> |
| <i>Nitzschia reinholdii</i> | B | T. <i>Rhizosolenia praebergonii</i> var. <i>robusta</i> |
| | A | B. <i>Pseudoenotia doliolus</i> |
| <i>Rhizosolenia praebergonii</i> | C | T. <i>Thalassiosira convexa</i> |
| | B | T. <i>Nitzschia jouseae</i> |
| | A | B. <i>Rhizosolenia praebergonii</i> |
| <i>Nitzschia jouseae</i> | | B. <i>Nitzschia jouseae</i> |
| <i>Thalassiosira convexa</i> | C | T. <i>Thalassiosira miocenica</i> |
| | B | T. <i>Thalassiosira praeconvexa</i> |
| | A | B. <i>Thalassiosira convexa</i> |
| <i>Nitzschia miocenica</i> | B | B. <i>Thalassiosira praeconvexa</i> |
| | A | B. <i>Nitzschia miocenica</i> |
| <i>Nitzschia porteri</i> | B | T. <i>Thalassiosira burckliana</i> |
| | A | T. <i>Coscinodiscus yabei</i> (<i>plicatus</i>) |
| <i>Coscinodiscus yabei</i> | B | B. <i>Thalassiosira burckliana</i> |
| | A | T. <i>Actinocyclus moronensis</i> |
| <i>Actinocyclus moronensis</i> | | T. <i>Craspedodiscus coscinodiscus</i> |
| <i>Craspedodiscus coscinodiscus</i> | | B. <i>Coscinodiscus temperei</i> var. <i>delicata</i> |
| <i>Coscinodiscus gigas</i> var. <i>diorama</i> | | T. <i>Coscinodiscus lewisianus</i> |
| <i>Coscinodiscus lewisianus</i> | | T. <i>Cestodiscus peplum</i> |
| <i>Cestodiscus peplum</i> | B | T. <i>Annellus californicus</i> |
| | A | B. <i>Cestodiscus peplum</i> |
| <i>Denticulopsis nicobarica</i> | B | T. <i>Thalassiosira bukryi</i> |
| | A | B. <i>Denticulopsis nicobarica</i> |
| <i>Triceratium pileus</i> | | T. <i>Craspedodiscus elegans</i> |
| <i>Craspedodiscus elegans</i> | | T. <i>Bogorovia veniamini</i> |
| <i>Rossiella paleacea</i> | C | T. <i>Coscinodiscus oligocenicus</i> |
| | B | B. <i>Thalassiosira primalabiata</i> |
| | A | B. <i>Rossiella paleacea</i> |
| <i>Rocella gelida</i> | | B. <i>Rocella gelida</i> |
| <i>Bogorovia veniamini</i> | | B. <i>Bogorovia veniamini</i> |
| <i>Rocella vigilans</i> | B | T. <i>Cestodiscus mukhiniae</i> |
| | A | T. <i>Coscinodiscus excavatus</i> |
| <i>Coscinodiscus excavatus</i> | | B. <i>Coscinodiscus excavatus</i> |

^a B. = first occurrence (bottom); T. = last occurrence (top).

Fig. 10: Diatomeeënzoningering (BURCKLE, 1972 en BARRON, 1983) op basis van gidssoorten, die gebruikt is bij het biostratigrafisch onderzoek van Leg 85, een expeditie in de Equatoriale Pacificische Oceaan (1983) verricht in het kader van het DSDP project. In: BARRON, 1985.

paalde koude perioden (glaciale en interglaciale perioden). Bij de reconstructie van warme en koude perioden biedt het diatomeeënonderzoek minder mogelijkheden dan het stuifmeelkorrel (pollen) onderzoek. Dit komt omdat veel diatomeeënsoorten een kosmopolitische verspreiding hebben en slechts een beperkt aantal soorten een door de temperatuur bepaald voorkomen lijken te hebben. (CHOLNOKY, 1968).

Het meeste biostratigrafische diatomeeënonderzoek vindt daarom plaats in Tertiaire afzettingen. Daarvan is het onderzoek in de diepzee-afzettingen het belangrijkste. Het diepzee-onderzoek is van 1968 tot 1983 uitgevoerd binnen het kader van het Deep Sea Drilling Project (DSDP). Na 1983 is de DSDP overgegaan in het Ocean Drilling Program (ODP). Deze projecten vallen onder toezicht van de National Science Foundation, Washington D.C., USA en worden gesteund door een groep van internationale instituten die zich met het diepzee-onderzoek bezig houden (Joint Oceanographic Institutions, JOI).

In fig. 10 en 11 wordt een voorbeeld gegeven van een diatomeeënzoningering van de diepzee sedimenten uit de Equatoriale Pacificische Oceaan in de periode Mioceen, Pliocene en Kwartair (BARRON, 1985). Correlaties worden gemaakt met diatomeeënzoningeringen in de Noord-Pacifische Oceaan, het vasteland van Californië en Zuidelijke Oceaan. Absolute dateringen zijn verkregen door de zones te correleren met de paleomagnetische stratigrafie.

Ook op de continenten worden biostratigrafisch (en paleo-ecologisch) diatomeeënonderzoeken verricht. De meeste daarvan vinden plaats in mariene en non-mariene diatomieten en kalkarme afzettingen uit het Tertiair; o.a. in Kigore area, Cherry County, Nebraska, USA (ANDREWS, 1970), in de Mecsek en Börzsöny gebergten in Hongarije (HAJOS, 1979), en in Thomas County, Georgia, USA (ANDREWS & ABOTT, 1985).

Biostratigrafisch diatomeeënonderzoek wordt aan de Tertiaire afzettingen in de onder-

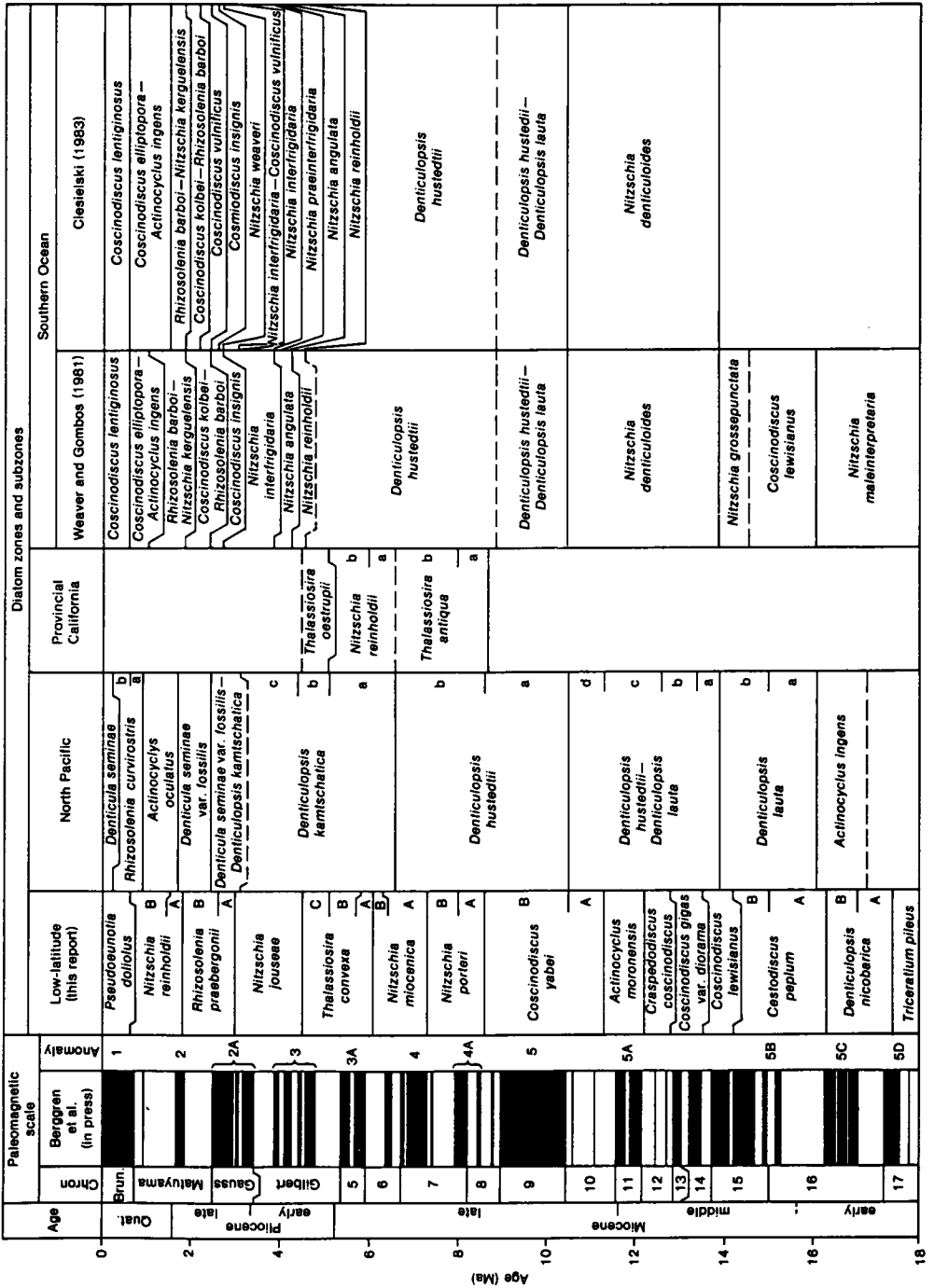


Fig. 11: Correlatie van de diatomeeënzoning van de Equatoriale Pacifiche Oceaan (fig. 10, BURCKLE, 1972 en BARRON, 1983) met die in de Noord-Pacifische Oceaan (BARRON en KELLER, 1983), het vasteland van Californië (BARRON, 1981 en de zuidelijke Oceaan (WEAVER en GOMBOS, 1981; CIESIELKI, 1983). In: BARRON, 1985.

grond van Nederland niet uitgevoerd. Dit omdat (voor zover onderzocht) de meeste Tertiaire afzettingen geen diatomeeën bevatten, waarschijnlijk door oplossing als gevolg van grondwaterstromingen.

Diatomeeën zijn als biostratigrafische indicatoren wel te gebruiken in de mariene afzettingen van het Kwartair. Een karakteristieke soort voor de mariene afzettingen van het Holsteinien is *Hyalodiscus subtilis*. Kenmerkend voor mariene afzettingen uit het Eemien is de aanwezigheid van subtropische en Mediterrane soorten *Cocconeis clandestina* en *Biddulphia pulchella* en het ontbreken van de voor het mariene Holoceen karakteristieke soorten *Aulacodiscus argus* en *Biddulphia rhombus* var. *trigona*.

Het is waarschijnlijk ook mogelijk om binnen het Holoceen diatomeeën te gebruiken als biostratigrafische indicatoren, b.v. in West-Nederland verschuiven de percentages van het totaal aantal *Cymatosira belgica* in de loop van de tijd. Gericht onderzoek op dit gebied is echter nog niet verricht.

DIATOMEËËNNAARDE ALS OLIE-RESERVOIRGESTEENTE EN DELFSTOF

Diatomeënaarde of diatomiet is een licht gekleurd, poreus, licht gesteente dat vrijwel geheel uit skeletjes van diatomeeën bestaat. In oceanen komen diatomeënrijke sedimenten

voor in de opwelling zones - gebieden waar, door afluende wind, het oppervlaktewater van de kust wordt weggedreven, waardoor dieper voedselrijk oceaanoewater naar de oppervlakte komt (b.v. de kustzone van Peru en Californië). Dit heeft als gevolg dat in deze gebieden de diatomeeënproductie hoog is. Ook in zoetwatermilieus kunnen diatomieten zich vormen als de diatomeeënproductie (in deze milieus) hoog en de klastische sedimentaanvoer laag is.

Diatomeënaarde wordt vaak in dikke lagen gevonden (tientallen tot honderden meters). Indien de diatomeënaarde niet te diep onder het aardoppervlak voorkomt (rekristallisatie), kan diatomiet vanwege zijn grote porositeit een goed reservoirgesteente voor aardolie zijn (b.v. de Monterey Formatie in Californië).

Het is waarschijnlijk dat de diatomeeën zelf ook een rol hebben gespeeld bij de olievorming.

Diatomeënaarde is daarnaast een belangrijke delfstof die bij tal van industriële toepassingen gebruikt wordt, zoals filtermateriaal, isolatiemateriaal, slijp- en polijstmiddel, bron voor reactief kiesel, en opvulmiddel dat onder meer gebruikt wordt in de verf- en luciferindustrie en bij het vervaardigen van springstof (nitroglycerine + diatomiet = dynamiet).

Een eerdere uitgave van Grondboor en Hammer (LABAN, 1987) geeft meer informatie over diatomeënaarde (o.a. diatomietvoorkomens en productiecijfers).

SUMMARY

Diatoms are for several reasons of special interest for geology:

- 1) In recent aquatic environments, particularly tidal areas, diatoms play an active role in stabilizing the sediment surface by the secretion of mucilage. Therefore they improve the sedimentation velocity.
- 2) Diatoms are valuable paleo-ecological indicators, since they are known to be very sensitive to changes in (marine and non-marine) environmental variables such as salinity, tidal currents, flooding frequency, trophic conditions, and pH.
- 3) From the Upper-Cretaceous, diatoms are also useful in both marine and non-marine biostratigraphy. Their biostratigraphic application has been aided in large part by the use of deep-sea sediment cores, related with paleomagnetic stratigraphy and data from other microfossil groups.
- 4) Diatomite is, because of the special characteristics, suitable for a lot of industrial uses such as filters, insulating material, absorbents, source of reactive silica and structural material. Because of the high porosity, diatomite can be a potential reservoir rock for oil and gas.

In this article, these applications of diatom research for geology will be demonstrated by some case studies.

DANKWOORD

Jolanda van Iperen (N.I.O.Z.) wordt bedankt voor het maken van de fraaie SEM foto's.

LITERATUUR

- ANDREWS, G.W., 1970: Late Miocene nonmarine diatoms from the Kilgore Area, Cherry County, Nebraska. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 683-A, 1-22.
- ANDREWS, G.W. & ABBOTT, W.H., 1985: Miocene diatoms from the Hawthorn Formation, Thomas County, Georgia. *Bulletins of American Paleontology* 87 (321), 57-109.
- BARRON, J.A., 1985: Late Eocene to Holocene diatom biostratigraphy of the Equatorial Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 85. In: L. Mayer et al. (reds.) *Initial Reports of the Deepsea Drilling Project*, Vol. LXXXV, Washington D.C., 413-456.
- BARRON, J.A. 1987: Diatomite: Environmental and geologic factors affecting its distribution. In: J.R. Hein (red.) *Siliceous Sedimentary Rock-Hosted Ores and Petroleum*, 164-178.
- CHOLNOKY, B.J., 1968: Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässer. J. Cramer Verlag, 699 p.
- COLES, S., 1979: Benthic microalgal populations on intertidal sediments and their role as precursors to salt development. In: R.L. Jefferies & A.J. Davy (reds.) *Ecological Processes in Coastal Environments*, 25-42.
- FLOWER, R.J. & BATTARBEE, R.W., 1983: Diatom evidence for recent acidification of two Scottish lochs. *Natura* 305, 130-133.
- IPEREN, J.M. VAN, WEERING, T.C.E. VAN, JANSEN, J.H.F. & BENNEKOM A.J. Van: Diatoms in surface sediments of the Zaire deep-sea fan (SE Atlantic Ocean) and their relation to overlying water masses. *Neth. J. Sea Res.* 21, 203-217.
- HAJOS, M. 1979: Marine diatoms in Upper Helvetian (Carpathian) sediments. *Nova Hedwigia*, Beiheft 64, 447-461.
- LABAN, C., 1987: Diatomeeënarde nog niet op. *Grondb. en Hamer* 41 (2), 31-35.
- PISCIOTTO, K.A., 1981: Diagenetic trends in the siliceous facies of the Monterey Shale in the Santa Maria region, California. *Sedimentology* 28, 547-571.
- VOS, P.C., 1987: Sediment stabilisatie door benthische diatomeeën in het intergetijd gebied van de Oosterschelde. *Landschap* 41, nr. 3, 233-247.
- VOS, P.C., DE BOER, P.L. & MILDORP, R., 1988: Sediment stabilization by benthic diatoms in intertidal sandy shoals. In: P.L. de Boer et al. (reds.) *Tide-Influenced Environment and Facies*, 511-526.
- VOS, P.C. & DE WOLF, H., 1988a: Methodological aspects of paleo-ecological diatom research in coastal areas of the Netherlands. *Geol. en Mijnbouw* 67, 31-40.
- VOS, P.C. & DE WOLF, H., 1988b: Paleo-ecologisch diatomeeën-onderzoek in de Noordzee en de provincie Noord-Holland in het kader van het Kustgenese Project, Taakgroep 5000. Rapport no. 500, Afdeling Paleobotanie Kenozoicum Diatomeeën, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.