

OCEAANBORINGEN: VERLEDEN EN TOEKOMST

Jan H. Stel*

INLEIDING

Annapolis, USA, 29 april 1986, negen uur 's morgens. In een zeventiende eeuwse herberg begint een gezamenlijke vergadering van de Ocean Drilling Council en de JOIDES Executive Committee. Vandaag is het dan zover. Namens de European Science Foundation (ESF), een niet-gouvernementele wetenschappelijke organisatie, tekent de president van de ESF, prof. dr. E. Seibold, een verdrag met de National Science Foundation van de USA. In dit verdrag wordt de deelname van twaalf kleine Europese landen aan het Ocean Drilling Program (ODP) geregeld. Dit programma is de opvolger van het zeer succesvolle, vijftien jaar durende Deep Sea Drilling Project (DSDP). Het jaarlijks ODP budget bedraagt maar liefst circa US \$ 36.000.000; het tienjarenprogramma kost derhalve ruim 1 miljard gulden!

Het is bijna vijf jaar geleden dat de auteur de eerste verkennende gesprekken met DSDP begon. De directeur van de Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO) prof. dr. R. van Lieshout, die tevens vice-president van de ESF is, zorgde ervoor dat de ESF het idee overnam om een Europees Consortium te vormen voor de deelname aan het oceaانبoringenprogramma. Na drie jaar onderhandelen door de ESF is er een consortium van twaalf landen gevormd en is men met ingang van 1 juni 1986, lid van het ODP geworden. Het consortium bestaat uit de Noorse landen (Denemarken, Finland, Noorwegen, IJsland en Zweden). België, Griekenland, Italië, Nederland, Spanje, Turkije en Zwitserland. Te samen brengen ze de jaarlijkse contributie van US \$ 2.500.000 op.

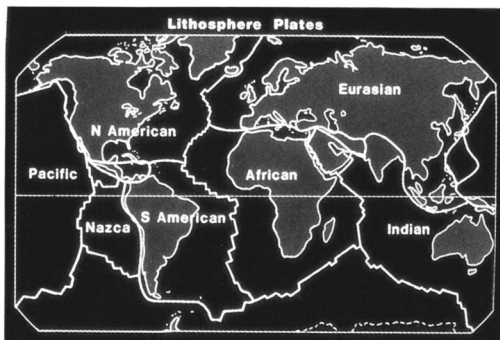


Fig. 1: De meest opvallende structuren in de oceaانبodem zijn mid-oceanische ruggen en smalle, diepe troggen. Het systeem van mid-oceanische ruggen omcirkelt de aarde zoals de naden in een tennisbal. De diepzee-troggen bevinden zich vooral langs de randen van de Stille Oceaan.

HET GEOLOGISCH DENKEN VOOR DSDP

Sinds de achttiende eeuw werd geologisch onderzoek uitgevoerd aan gesteenten en afzettingen die voor de dag kwamen door boringen en mijnbouw op het land. Het oppervlak van de aarde dat met water bedekt was (70%) bleef ontoegankelijk. Kennis van dit gebied droeg tot ongeveer 20 jaar geleden zo goed als niets bij aan ons begrip van de geschiedenis en de ontwikkeling van onze planeet. Het lijkt nu vreemd dat geologen uit de eerste helft van deze eeuw er van overtuigd waren dat zij de aarde begrepen ondanks dit duidelijke gat in hun kennis.

Tot in het begin van de zeventiger jaren beschouwden de meeste geologen de diepzee als een vast, constant en niet veranderend verschijnsel aan de de oppervlakte van de aarde. Men nam aan dat de sedimenten in de oceanen een volledige 'record' van de geschiedenis van de aarde bevatten. Hoewel het klimaat van de continenten en de ondiepe randzeeën in de geologische geschiedenis duidelijk veranderd waren, werd de open oceaan als de grote stabilisator van het aardoppervlak beschouwd.

De geologie is een unieke wetenschap met een historisch aspect waardoor geologen de neiging

* Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
Nederlandse Raad voor Zeeonderzoek, Postbus 19121,
1000 GC Amsterdam.

hebben conservatief te zijn en slechts langzaam nieuwe ideeën te accepteren. De door James Hutton geïntroduceerde filosofie 'Het heden is de sleutel tot het verleden' is zo in het denken van de geoloog ingeprent dat weinig aandacht werd gegeven aan de mogelijkheid dat er een geheel van het huidige verschillend wereldbeeld mogelijk kan zijn. Wegeners' (1912) hypothese over de drift der continenten werd algemeen, maar wel met name door de Noord-Amerikaanse geologen, verworpen.

T.C. Chamberlin suggereerde in 1906 dat het mogelijk was dat er een geheel verschillende oceaan en atmosfeer kon zijn geweest waarbij het verschil in zoutgehalte in plaats van het verschil in temperatuur de motor van de oceanische circulatie was. Bovendien nam hij aan dat de atmosferische CO₂ niveau's in het verleden veel hoger konden zijn geweest. Aan al deze ideeën werd geen aandacht geschonken totdat ze, hoofdzakelijk als een gevolg van kennis verkregen door diepzeeboringen, opnieuw werden bekeken en meestal algemeen werden geaccepteerd.

Vanwege de tijdschaal waarin hij leeft denkt de mens dikwijls dat de natuur niet verandert. Hij beschouwt de continenten als vast, de zee als eeuwig. Slechts het klimaat varieert binnen een voor hem te begrijpen bekende tijdschaal, een mensenleeftijd. Soms wordt de natuur echter verstoord door stormen, aardbevingen, vulkaanuitbarstingen enz. Geologen hebben ook lange tijd gedacht dat de processen die de aarde vormen vooral langzaam verliepen. Dit is niet juist. De geschiedenis van de aarde bestaat uit korte tijden waarin dramatische veranderingen plaatsvonden afgewisseld door lange rustige periodes. IJstijden kwamen en gingen, bergen ontstonden en werden afgesleten. Zelfs continenten en oceanen veranderen voortdurend van plaats en vorm.

In de zestiger jaren vond een omwenteling plaats in het geologisch denken door de aanvaarding van de theorie van de platentektoniek. Het overtuigende bewijs hiervoor werd verkregen door het Deep Sea Drilling Project. Deze Copernicaanse revolutie betrof alle aspecten van de aardwetenschappen. Slechts enkele van onze opvattingen over de aarde zijn hierdoor niet beïnvloed. De platentektoniek theorie is nog volop in ontwikkeling. Nieuwe ideeën worden geformuleerd en leiden tot modellen die op kwantitatieve wijze de processen in en op de aarde beschrijven en voorspellen. Ons wereldbeeld in het jaar 2000 zal zeker even zoveel verschillen van het huidige als deze verschilt van die toen het oceaانبoren begon. Het nieuwe Ocean Drilling Program, de opvolger van het Deep Sea Drilling

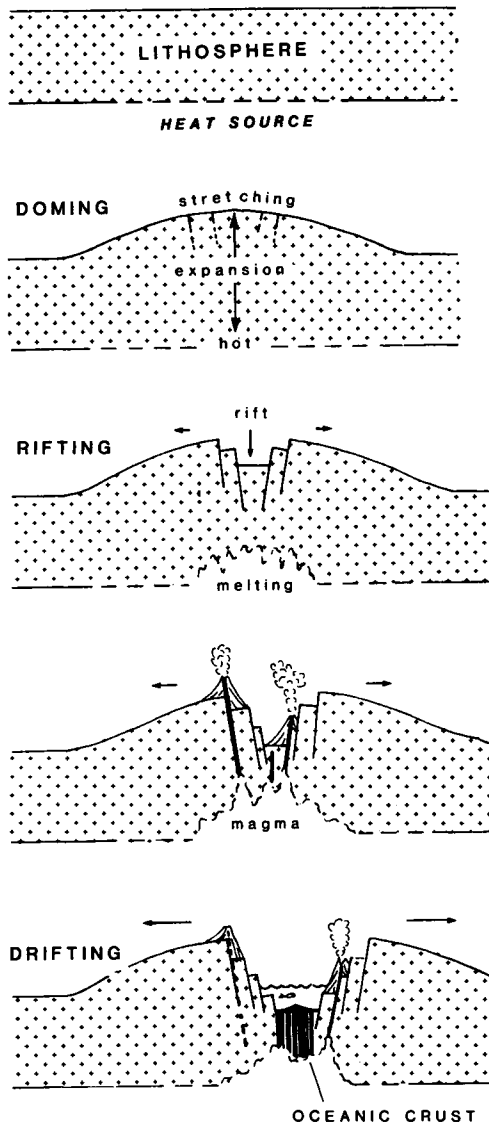


Fig. 2: Het openbreken van een continent begint met lokale verwarming van de lithosfeer. Hierdoor ontstaat expansie waardoor het aardoppervlak opwelt. Bovendien ontstaat stervormige scheuren welke de 'riftvalleys' vormen. Tenslotte wordt de stationaire 'rift' fase gevolgd door een 'drifting' fase. Door de intrusie van oceanische korst en het overstromen van de 'riftvalley' door de zee ontstaat de embryonale oceaan.

Project zal tot vele grote veranderingen in de aardwetenschappen leiden.

MOHOLE EN JOIDES

Om de exploratie van de oceaانبodem te stimuleren stelde de 'American Miscellaneous So-

ciety' voor de Mohorovicic discontinuïteit te doorboren. De Moho is de seismisch bepaalde grens tussen de korst en mantel van de aarde. Deze grens ligt onder de oceaanbekkens op een diepte van circa 12 kilometer. De boringen begonnen op 6 maart 1961 en wel met de 'CUSS I' van de Global Marine Exploration Company te Los Angeles. De eerste boring vond plaats in een waterdiepte van 948 meter voor de kust van La Jolla, Californië en eindigde negen dagen later nadat men 315 meter in de zeebodem was doorgedrongen. Een tweede boring vond plaats direct daarna plaats en wel 40 mijl ten oosten van het eiland Guadalupe voor de kust van Californië. Deze boring vond in 3558 meter diep water plaats en ging door 183 meter sediment en 13 meter basalt. Dit alles gebeurde in een tijd waarin de wetenschappelijke wereld nog niet geloofde in de platentektoniek theorie. Het Mohole project werd om meerdere, maar vooral financiële, redenen verlaten. De interesse voor wetenschappelijke oceaanboringen om de sedimentaire 'record' te bemonsteren bleef zich echter ontwikkelen.

In 1964 was het duidelijk dat er veel geleerd kon worden van het bemonsteren van diepzeesedimenten. Vier oceanografische instituten in de USA en wel Woods Hole, Lamont, Miami en Scripps vormden het samenwerkingsverband 'Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling' (JOIDES). JOIDES heeft zich ontwikkeld tot een internationale organisatie die zorg draagt voor oceaanboorprogramma's. JOIDES' eerste operatie, gefinancierd door de NSF, was een boorcampagne van 2 maanden (april/mei 1965) voor de oostkust van Florida. Hierbij werd gebruik gemaakt van de 'Caldwell'. Er werden kernen van 6 boringen genomen. Deze kernen toonden aan dat er zeer verschillende klimatologische en oceanografische condities aanwezig waren in de geologische geschiedenis van dit gebied.

JOIDES selecteerde het Scripps Institution of Oceanography als de operationele coördinator voor een booroperatie van 18 maanden. De NSF keurde het JOIDES voorstel voor dit diepzeeboorprogramma goed. Global Marine paste daarop een in aanbouw zijnd boorschip aan. Dit schip werd later de 'Glomar Challenger' gedoopt en werd het onderzoeksinstrument speciaal ontworpen voor het boren en verzamelen van kernen uit de diepzeebodem.

De eerste expedities (legs) van DSDP waren zo succesvol dat het project tot 1983 werd voortgezet als een reeks van 2- en 3- jarige verlengingen. Deze verlengingen werden in het begin uitsluitend door de NSF gefinancierd. Doordat echter

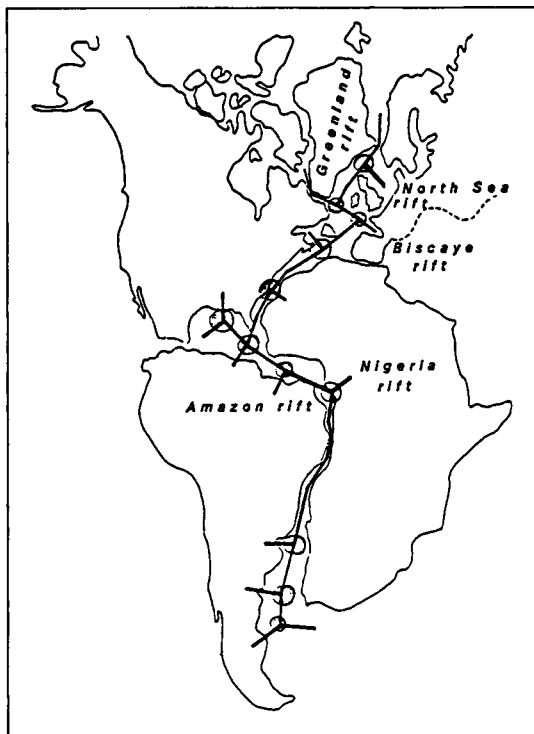


Fig. 3: Het uiteenvallen van het oercontinent Pangea, 200 miljoen jaar geleden, begon door het ontstaan van een reeks van opwellingen boven warmtebronnen onder de korst. Hierdoor ontstond een reeks van driepuntige scheuren. Twee van de drie scheuren (rifts) raakten elkaar en vormden aldus de proto-Atlantische Oceaan. In de derde niet actieve riftzone worden vaak grote voorkomens van olie en gas aangetroffen.

onderzoekers van vele landen aan het onderzoek deelnamen en gezien de algemene belangstelling voor het project begon men in 1972 de mogelijkheden van een meer formele internationale deelname te onderzoeken. In 1975 sloten overheidslichamen van de USSR, Groot-Brittannië, Frankrijk, West-Duitsland en Japan zich bij de NSF aan en steunden de verlengingen van het project als de International Phase of Ocean Drilling (IPOD).

Instellingen van deze landen, zoals het Institute of Oceanology van Groot-Brittannië, het Centre Nationale pour l'Exploration des Océans, de Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, de Academie van Wetenschappen van de USSR en het Ocean Research Institute van de Universiteit van Tokyo werden lid van JOIDES. In de USA ondersteunden de Universiteiten van Washington, Hawaii, Rhode Island, Texas, Texas A&M en Oregon State de reeds genoemde vier instellingen en werden eveneens lid van JOIDES.

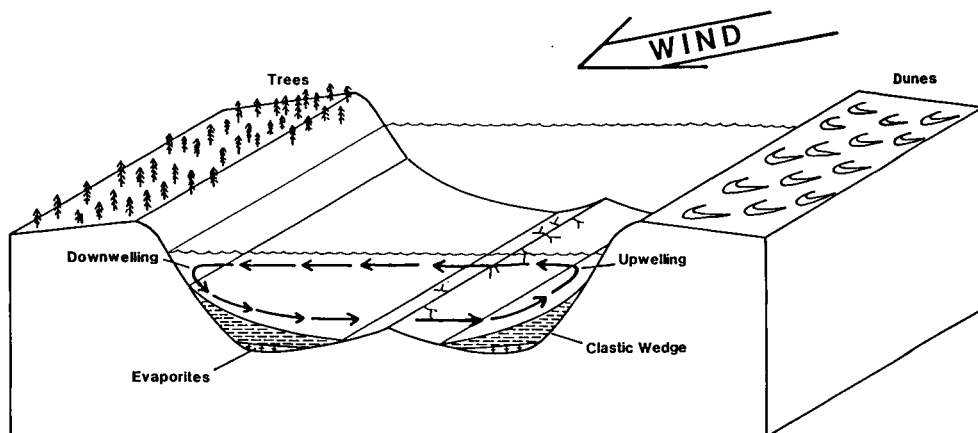


Fig. 4: Het systeem van passaatwinden over de proto- Atlantische Oceaan (150 miljoen jaar geleden). Zie ook de tekst op pag. 212.

Het is één van de meest toevallige gebeurtenissen in de geschiedenis van de wetenschap dat een revolutionaire theorie, en wel die van de seafloor spreading en de platentektoniek, en de instrumenten noodzakelijk voor het onderzoek ervan in dezelfde tijd werden ontwikkeld. Seafloor spreading was in het begin van de jaren zestig voorgesteld. De algemene acceptatie ervan door de geologische gemeenschap in zijn geheel is rechtstreeks toe te schrijven aan het overvloedige ondersteunende bewijsmateriaal dat door het DSDP is verzameld. De oorspronkelijke beweegreden voor diepzeeboringen was het verkrijgen van secties van sediment en sedimentair gesteente van de oceaانبekkens om de kennis van de klimatologische geschiedenis van de aarde te verfijnen. Omdat de theoretische en technologische ontwikkelingen samenvielen, is het uitvoeren van wetenschappelijke oceaانبoringen snel ontwikkeld van een waarnemende naar een voorstellende wetenschap.

HET DEEP SEA DRILLING PROJECT

Om het effect van het oceaانبoren op de denkwijze in de geologie te begrijpen moeten we terug gaan naar de jaren zestig toen het Deep Sea Drilling Project begon. In die tijd waren bijna alle geologen specialisten op één of ander nauw begrepen en, door zowel de traditie als de onderzoekstechnieken, wel omschreven gebied. De theorie van de platentektoniek was net ontwikkeld. Het verschaft een raamwerk waarmee de aarde begrepen kon worden. Het werd echter niet algemeen geaccepteerd. Op een AAPC-SEPM bijeenkomst in de USA in 1969 vond een symposium over de eerste resultaten van de diepzeeboringen plaats. Het bleek dat hooguit 20% van de aanwezigen de theorie van de platentekto-

niek aanvaardde! De situatie veranderde echter snel met de publikatie van de resultaten van Leg 3 welke aantoonde dat de ouderdom van de oceaانبodem toenam met de afstand ten aanzien van de mid-oceanische rug. Dit resultaat wordt veelvuldig aangehaald als het meest overtuigende bewijs voor 'sea floor spreading'.

In die tijd waren onze ideeën over de oceaانبodem erg naïef. Uit de seismische gegevens wisten we iets over de snelheid van seismische golven door de oceanische korst. Er was een terminologie opgesteld die de omvang van onze kennis zeer goed weerspiegelden. Men sprak over laag 1, 2, 3 en 4. We wisten slechts dat laag 1 uit sedimenten bestond en dat laag 2, 3 en 4 vermoedelijk van vulkanische oorsprong waren. De platentektoniek theorie was in die tijd ook opvallend eenvoudig niettenstaande het feit dat het volstrekt nieuw was voor de geologische gemeenschap. Het idee was dat oceanische korst bij de mid-oceanische ruggen werd gevormd, dat deze korst enige tijd bestond en dat opslokking (subductie) onder de continenten plaatsvond. Dit betekende eenvoudigweg dat er oceanische korst werd gevormd, dat dit enige tijd bestond en dat het weer vernietigd werd. Het algemene patroon van lithosfeer platen was bekend, maar de oorzaak en het belang van onregelmatigheden in de vorm van de plaatgrenzen was onbekend. Op dat moment vonden een aantal internationale projecten plaats. Hierbij waren relatief gezien slechts een aantal wetenschappers betrokken die slechts voor korte tijd - hooguit een paar dagen per jaar - bijeen kwamen om ideeën uit te wisselen.

Er is veel veranderd. Ons begrip van de oceanische korst is buitengewoon veranderd. We beschouwen het niet meer als materiaal dat ge-

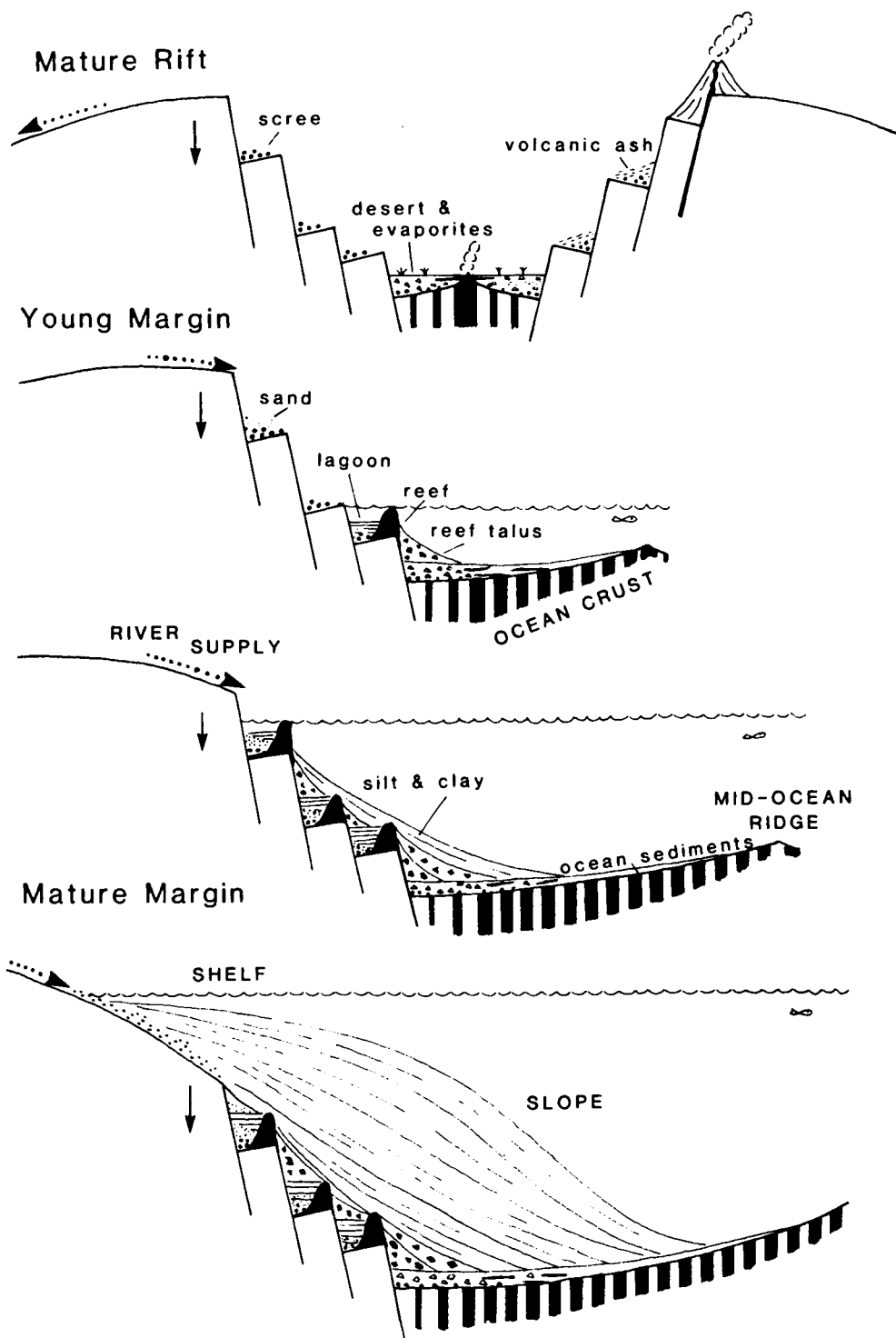


Fig. 5: In een volgroeide continentale rift is een ondiep bekken ontstaan waarin evaporieten worden afgezet te samen met vulkanische zanden en materiaal dat vanaf het land wordt aangevoerd. Naarmate de spreiding voortgaat en de rift breder wordt koelt de continentrand af en zakt deze onder zeeniveau. Aldus ontstaat een ondiepe zee waarin koralen groeien, waarin organische stof zich ophoopt in het sediment en waarin stranden langs de kust ontstaan. Tenslotte is het continent zo diep gezonken dat het drainage patroon op het continent zich omkeert. Grote hoeveelheden silt en klei begraven de rissen en de zwarte schalies. Aldus ontstaan de continentale randen van een passieve continentrand.

vormd wordt en vervolgens weer wordt vernietigd. Integendeel we weten nu dat de oceaan als onderdeel van een hydrothermaal systeem door het midoceanische - rug - systeem circuleert. Hierdoor verandert de korst niet alleen fysisch maar ook chemisch in de loop van de tijd als de korst de stadia van jong, volwassen naar oud doorloopt. Het gesteente dat bij de midoceanische rug ontstaat is derhalve niet hetzelfde als dat wat subductie ondergaat. Wel beschouwt moeten er in de continentale geologie analogen voor deze situatie zijn. Geologen beschouwen het idee dat de samenstelling van een batholiet kan afhangen van zijn ouderdom als een bizar concept. Toch is dit het concept dat uit het onderzoek van de oceanische korst naar voren komt. Het is zeer wel mogelijk dat over 20 jaar, wanneer we iets meer over de continentale geologie weten, we zullen ontdekken dat dergelijke processen inderdaad niet alleen tot de oceanische korst zijn beperkt. We beschouwen de korst nu als een fysisch en chemisch dynamisch systeem. Toen het DSDP begon werd een dergelijk geavanceerd niveau in onze zienswijze van de aarde in het geheel niet verwacht.

PASSIEVE CONTINENTRANDEN

Wat de passieve continentranden betreft is het duidelijk geworden dat het openbreken van het supercontinent Pangea de sedimentatie controleerde op zowel de continentranden als in de diepzee. Het spreidingsproces van continentaal gesteente begint met een buitengewone reeks van gebeurtenissen welke meestal de vorming van alluviale fans en meerafzettingen omvat. De erop volgende afzetting van evaporieten werd in het jonge oceanbekken gevolgd door een intensieve opwellings episode. Geen van de gevolgen voor het milieu was te voorzien door eenvoudig het tektonische opbrekingsproces te beschouwen. Er was heel wat goed gedocumenteerde informatie voor nodig voordat deze processen en interrelaties duidelijk werden. Bovendien is duidelijk geworden dat het openbreken in hoge mate de toekomstige geologie van de continentale blokken vastlegt. Het openbreken zelf legt waarschijnlijk vast waar miljoenen jaren later de grote rivieren zullen stromen. Het tektonische proces dat de jonge oceaan vormt bepaalt het regionale klimaat door de wisselwerking met de atmosfeer.

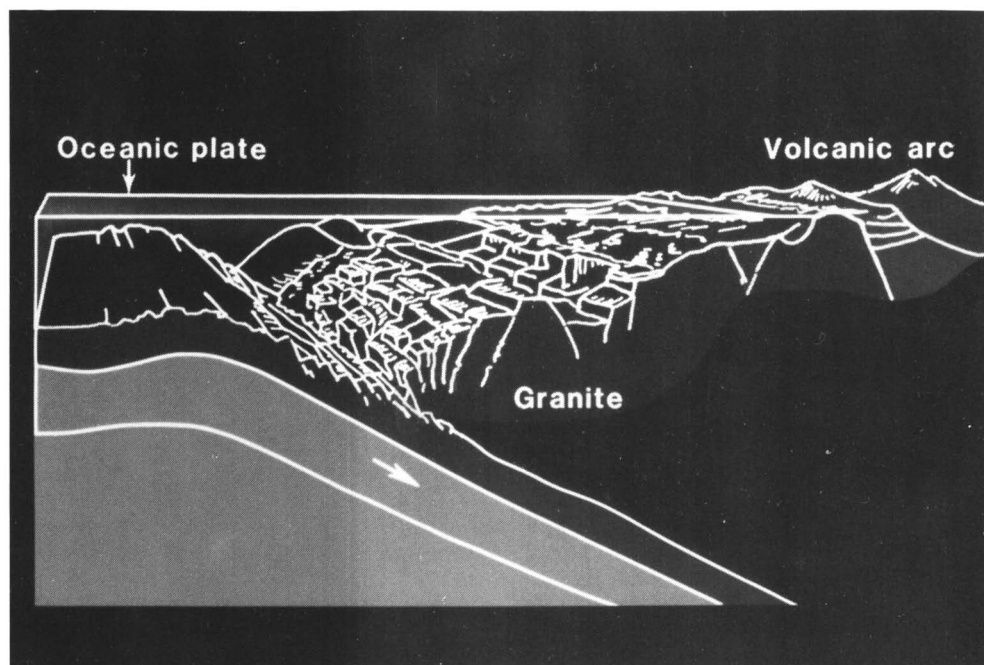


Fig. 6: Een subductiezone is complex en aanzienlijk breder dan de diepzee-trog. Een botsing begint met step faults aan de oceanische kant. In de trog worden de oceanische korst en de diepzee sedimenten begraven onder trog afzettingen die vooral van de andere kant worden aangevoerd. Het sediment evenals de delen van de oceanische korst worden door de rand van de overschuivende plaat van de andere plaat afgeschraapt en onder de reeds bestaande sedimentwigen geduwd. Aldus ontstaat een boog van gedeformeerde sedimenten. Zo ontstaan tenslotte een met sediment gevuld bekken en een vulkaanboog. Achter de vulkaanboog ligt een 'backarc' of randbekken waarin ook een spreidingszone kan ontstaan.

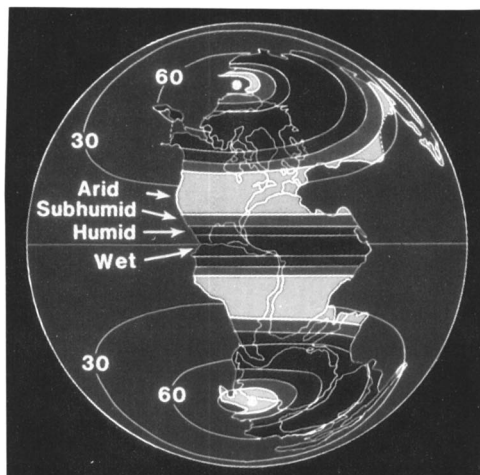


Fig. 7: De temperatuur van Panthalassa en de klimaat-zones op Pangea.

sche circulatie. Zo blies het passaatwind systeem in de jonge Noord-Atlantische Oceaan diagonaal over de oceaan naar Amerika. Hierdoor ontstond een woestijnkust aan de Afrikaanse kant en een beboste kust aan de Amerikaanse kant. Omdat deze winden op vele plaatsen min of meer evenwijdig aan de randen de oceaan inbliezen, ontstond er een circulatie patroon waardoor opwelling aan de Afrikaanse kant en 'down welling' aan de Amerikaanse kant werd gestimuleerd. Het resultaat was dat er een hoge plankton productie aan de oostkant plaatsvond, welke uiteindelijk kan leiden tot het ontstaan van olie, en een lage plankton-productie, maar wel met veel aanvoer van hout vanaf het land, aan de westkant waardoor hier geen olie maar juist aardgas werd gevormd (zie ook fig. 4).

Het speciale regionale klimaat van een jong oceaانبekken kan leiden tot het ontstaan van lagunen waar warm, zout water wordt gevormd. Dit water kan onder het oceanische bodemwater of het intermediaire water stromen en aldus leiden tot een zuurstofminimum of anoxische omstandigheden in de oceaan. Aan het eind van de zestiger jaren presenteerde één van de beroemdste geochemici in de Verenigde Staten een verhaal onder de titel: 'Waarom de oceaan niet anoxisch kan worden.' Binnen een jaar toonde het DSDP aan dat de oceaan anoxisch was geweest en veranderde hiermee radicaal onze denkwijze over de chemie van de vroegere oceanen. De mogelijkheid van een algemeen verbreide anoxische toestand in de oceaan is nu algemeen aanvaard. Wie zou twintig jaar geleden gedacht hebben dat tektonische processen die leiden tot het openbreken van een continent ook van invloed zouden zijn op het klimaat, het zeespiegel-

niveau en de circulatie in de oceaan? We beginnen nu te begrijpen dat het openbrekingsproces niet willekeurig gebeurt, maar dat het zelf wordt bepaald door de vroegere geschiedenis van de continenten. De geschiedenis van de continenten en oceanen omvat processen met een 'geheugen' welke van invloed is op het gesteente, de atmosfeer en de oceanen.

AKTIEVE CONTINENTRANDEN

Laten we de actieve margins eens bekijken. Volgens de theorie van de platentektoniek aan het eind van de zestiger jaren waren de actieve margins vanzelfsprekend de plaatsen waar continentale groei plaatsvond. Het was immers voor vele geologen duidelijk dat continenten groeien aan hun randen. De actieve margins waren daar de meest vanzelfsprekende plaats voor. We weten nu dat actieve margins waarschijnlijk plaatsen van continentale abrasie zijn en wel op zijn minst net zo vaak en misschien wel vaker dan dat ze plaatsen van continentale aangroei (accretie) zijn. Een bewijs hiervoor is de nu beroemd geworden Oyoshio landmassa voor de kust van Japan. Oceaanboringen voor de kust van Japan zouden het proces van continentale accretie onderzoeken. Tot iedereen verbazing bleek de verwachte, door accretie gevormde sedimenten van de binnenste wand van de Japanse trog een oude landmassa te zijn. Dit gebied was gedurende de laatste 30 miljoen jaar in de diepte gezonken en wordt nu geërodeerd! In plaats dat Japan door accretie groeit is het nu duidelijk dat Japan kleiner geworden door afslijping (abrasie).

Tegenwoordig zouden we zeggen dat het subduktieproces schijnbaar op een zodanige wijze werkt dat de oceanische korst en de pelagische sedimenten terugkeren in het inwendige van de aarde. Seamounts en submariene platformen passen echter niet in subduktie zones en zij worden aan de continenten toegevoegd. De actieve margins ontstaan derhalve uit zogenaamde exotische 'terrains' die van een grote afstand - soms van een onbekende plaats - worden aangevoerd. In sommige gevallen zijn deze afgesplitst van continentale margins. In andere gevallen zijn ze submariene platformen, plateaus en seamounts. De specialisten op dit gebied spreken van het ontdokken, wegdrijven en dokken van delen van de aardkorst. De terminologie die ze gebruiken wijst erop dat ze de 'terrains' met schepen vergelijken. Het is zeer onwaarschijnlijk dat een dergelijke terminologie zou zijn ontwikkeld wanneer een aantal van de betrokken personen niet veel tijd aan boord van een boorschip had besteed (vgl. ook figuur 5 en 6).



Fig. 8: De JOIDES Resolution (Sedco/BP471) is een commercieel boorschip dat is aangepast voor wetenschappelijk onderzoek. Het kan op hoge breedten opereren en beschikt over een boorpijp van 10.000 meter. Hiermee kan in waterdiepten tot 9.000 meter worden geboord. De laboratoria aan boord zijn zeer modern ingericht. Dergelijke geavanceerde apparatuur wordt slechts in enkele laboratoria op het land aangetroffen. Er is ruimte voor 50 wetenschappers. (Foto F. Hooger-vorst)

OASEN IN DE DIEPZEE

‘Beelden van een verloren wereld uit de oertijd’. Zo omschreven onderzoekers hun ervaring toen zij voor het eerst de dierenwereld waarnamen rond de warmwaterbronnen in de Stille Oceaan. Meterslange rode wormen in witte kokers, enorme mosselen, blinde witte krabben en vele tientallen nog nooit waargenomen levensvormen. Het decor werd gevormd door zwarte zwavelstof uitspuwende metershoge ‘schoorstenen’, glinsterende heuvels van daaruit neergeslagen mineralen en grote velden met ‘kussens’ van gestolde lava.

De ontdekking van deze opmerkelijke fauna is een direkt gevolg van de theorie van de platen-tektoniek en kwam als een volslagen verrassing. Niet zo zeer het feit dat er leven is in de diepzee, dan wel de rijkdom van de fauna in deze ‘diepzeeoasen’ en de sterke aanwijzingen dat deze on-

afhankelijk van het zonlicht bestaat. Normaal is de diepzee dun bevolkt, de dierenwereld leeft daar voornamelijk van het schaarse afval uit de hogere waterlagen. Daarmee is zij, hoewel levend in totale duisternis toch indirect afhankelijk van de zon. De fauna van deze ‘diepzeeoasen’ is echter wel duizendmaal talrijker er leeft voornamelijk van de overvloed aan voedingsstoffen die via de geisers, uit het inwendige van de aarde komen.

Vanaf 1973 onderzoekt men de spreidingsgebieden met diepzeevaartuigen. Begonnen werd met de mid-atlantische rug, een langzaam spreidingsgebied (3 cm/jaar). In 1977 daalden Amerikaanse geologen ook af naar een snel spreidingsgebied (10 cm/jaar) op 2,5 km diepte bij de Galapagos eilanden. Dat gebeurde in de ‘Alvin’, een in 1964 gebouwd onderzoekvaartuig, dat plaats biedt aan een navigator en twee onderzoekers. De uitrusting bestaat onder meer uit apparatuur voor het verzamelen van bodem- en watermonsters, netten voor het vangen van levende dieren en uitstekende camera’s voor het maken van onderwateropnamen. De te onderzoeken plaatsen moeten van te voren zo nauwkeurig mogelijk worden bepaald, omdat men in de ‘Alvin’ hoogstens zes uur op de bodem kan blijven en de zoeklichten niet verder dan 10 à 15 meter reiken.

DE BRONFAUNA

In het warme, mineralenrijke, water (20° C) van de diepzeeoasen, bleek zich een fantastische dierenwereld te hebben ontwikkeld, die grote sensatie veroorzaakte onder de biologen. Het bronwater is zeer rijk aan bacteriën die in staat zijn om de in dit water voorkomende zwavelwaterstof te oxideren. De hierbij vrijgekomen energie gebruiken zij voor het omzetten van anorganische stoffen in organisch voedsel. Door dit proces van **chemosynthese** wordt dus voedsel gemaakt met behulp van chemische energie, op eenzelfde wijze als dat bij fotosynthese gebeurt onder invloed van zonlicht. Dit proces werkt hier zo goed, dat de bacteriën zich snel vermenigvuldigen en op hun beurt weer dienen als voedsel voor de bronfauna.

Het meest opmerkelijke dier van de toch al exotische fauna is een reusachtige kokerworm, die in dichte kolonies in het warme water vlak bij de bron leeft. De witte aan de bodem vastzittende kokers zijn tot 4 meter lang, de erin huizende worm is wat korter. De wormen bevatten veel hemoglobine en zijn daardoor rood van kleur. Zij hebben geen ogen, mond, darmsysteem of anus. Vergelijkbare dieren filteren hun voedsel dikwijls uit het zeewater via duizenden fijne ten-



Fig. 9: Een van de vele moderne laboratoria aan boord van de JOIDES Resolution. (Foto F. Hoogervorst)

takels. De juiste manier waarop deze kokerworm aan zijn voedsel komt is nog niet opgelost. Op de kokers van de wormen leven kleine slakken van een soort waarvan men aannam dat die al ruim 300 miljoen jaar geleden was uitgestorven. Dergelijke levende fossielen worden thans, dankzij de steeds geavanceerdere hulpmiddelen voor oceanografisch onderzoek, regelmatig ontdekt.

Een ander opvallend dier is een ten hoogste 30 cm. lange mossel die meer dan een kilo rood vlees bevat. Dit is het enige thans bekende weekdier dat hemoglobine bevat. Deze mossel groeit circa 4 cm per jaar. Dit is 500 keer zo snel als zijn soortgenoot in de ondiepe kustwateren. De leefgemeenschappen bij de warmwaterbronnen zijn alle ongeveer 30 meter breed en 100 meter lang. Behalve de kokerwormen leven de dieren in water met de normale temperatuur zoals die gewoonlijk in de diepzee voorkomt en wel van 2° C. Dit water zit echter wel vol met mineralen. Ieder dier schijnt zijn eigen vaste afstand tot de bron te hebben.

DE OOSTPACIFISCHE GEISERS

Een Frans-Amerikaans-Mexicaans onderzoeksteam trof in het spreidingsgebied aan de noordkant van de Oostpacifische rug, ook warmwaterbronnen aan. Sommige bronnen hadden de

vorm van schoorstenen, die wel 10 meter hoog waren. Daaruit stroomde heet water, dat door de daarin opgeloste zwavel verbindingen op zwarte rook lijkt. De temperatuur bleek meer dan 350° C te bedragen. Toch kookt dit water niet vanwege de enorme druk. In de omgeving van de schoorstenen trof men grote hoeveelheden erts aan: koper, ijzer, zwavel, zink en in mindere mate zilver, lood, kobalt en cadmium. Deze zijn uit het hete bronwater neergeslagen bij de menging met het koude zeewater. De schoorstenen zelf bestaan ook uit deze mineralen. Men kan ze vergelijken met de sintelkegels bij de geisers op IJsland en in de Verenigde Staten.

Diepzeegeisers werden onlangs ook aangetroffen in de Atlantische Oceaan. Dit gebeurde tijdens leg 106 van het Ocean Drilling Program. Tijdens deze leg werd voor het eerst in gesteente geboord dat jonger is dan 100.000 jaar. Hiertoe werd een metalen constructie op de harde zeebodem geplaatst. Door middel van deze met cement vastgezette trechter werd voorkomen dat de boorkop weggleed op de vulkanische ondergrond. Het installeren van deze constructie werd aan boord door een TV-camera gevolgd. Bij toeval vond men ook een aantal diepzeegeisers.

Het bronwater is oorspronkelijk oceaanwater. De jonge aardkorst van de mid-oceanische rug is

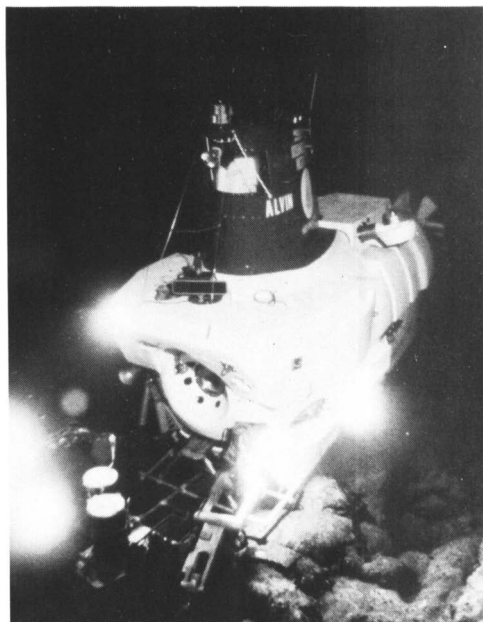


Fig. 10: De 'Alvin' is het diepzeevaartuig waarmee de diepwatergeisers, met de erbij behorende bronfauna zijn ontdekt.

zeer poreus. Heet zeewater sijpelt er doorheen, komt in aanraking met het hete magma onder de aardkorst en stijgt verhit en verrijkt met mineralen weer naar de oppervlakte. Het bestaan van deze hydrothermale watercirculatie verklaart tevens een oud raadsel rond de chemische samenstelling van het zeewater. Er is in de oceanen minder magnesium en meer mangaan dan men zou verwachten wanneer alle mineralen in de zee gedeponereerd zouden worden door de rivieren. Het blijkt nu dat het zeewater door de hydrothermale circulatie in de spreidingsgebieden magnesium afvoert en mangaan opneemt. Aldus is het verschil eenvoudig te verklaren.

DE GEOLOGIE ALS EEN GESLOTEN SYSTEEM

Eén ding dat het DSDP en ook het huidige ODP doet en dat op geen enkele andere wijze kan worden bereikt is dat het een inventarisatie geeft van al het materiaal dat aan het oppervlak van de aarde voorkomt. Oceaanboringen hebben de geologie getransformeerd in een gesloten systeem. In de jaren zestig was de geologie een bijzonder open systeem. Geologen bestudeerden bepaalde gebieden. Bij de reconstructie van de geologische geschiedenis was het gebruikelijk om voor te stellen dat sedimenten en magma aangevoerd werden van een niet nader omschreven omgeving en dat materiaal werd geërodeerd

en getransporteerd naar een gebied dat buiten dat van het onderzoek viel. Het was niet nodig en niet mogelijk de geologische processen kwantitatief te benaderen want er waren vele gebieden op aarde waar we niets van wisten. Door het DSDP is deze fase in de geologie afgesloten en beschikken we nu over een goed gegevensbestand van de oceanen. De DSDP-gegevens vormen het grootste homogene gegevensbestand in de geologie. Twintig jaar geleden was het pelagische gebied zo goed als onbekend evenals de continentale helling en rise. Deze gebieden vormen een wezenlijk onderdeel van het aardoppervlak en wel 2/3 ervan. Pelagische sedimenten zijn niet zo indrukwekkend in termen van massa. Slechts 10% van alle sedimenten op aarde behoren ertoe. Het pelagische sediment verschilt in samenstelling echter aanzienlijk van alle andere sedimenten. De algemene chemische samenstelling van deze sedimenten is uniek. Dit is niet verwonderlijk want ze zijn overwegend het produkt van biologische fixatie. De helft wordt gevormd door calcium-carbonaat en 1/4 is opaalachtig silicium. Bovendien zijn pelagische sedimenten jong omdat ze op de bewegende oceaانبodem worden afgezet. Geen enkel pelagisch sediment in de oceaan is meer dan 180 miljoen jaar oud.

Een recente compilatie van de ouderdomsverspreiding van alle sedimenten op aarde illustreert hoeveel sediment zich in de diepzee en de passieve continentale margins bevindt. Tweevijfde van de sedimentmassa op aarde wordt gerecycled met een snelheid van 5% van de massa per 10 miljoen jaar. Dit proces was gedurende het grootste deel van het Phanerozoicum aan de gang. De gegevens van het DSDP wijzen er echter op dat voor de laatste 10 miljoen jaar de snelheid van recycling is veranderd naar 10% van de sedimentmassa in 10 miljoen jaar. Het schijnt dat de geologische processen die we nu waarnemen afwijkend zijn en niet echt kenmerkend voor de geologische geschiedenis op de lange termijn. Vele geologen hadden dit reeds vermoed maar konden hun vermoeden echter niet onderbouwen. Dat kunnen we nu wel.

Door DSDP/ODP beschouwen we de wereld als een dynamisch systeem waarin de tektoniek, het klimaat en de oceanografie onderling afhankelijk zijn. Het heeft ons er van doordrongen dat het leven aan de oppervlakte van deze planeet op een zodanige wijze werkt dat het de condities aan de oppervlakte controleert. De mensen die deelnamen aan 's werelds grootste reizende 'seminar' zoals de onderzoektochten met de 'Glomar Challenger' wel worden genoemd, zijn niet langer specialisten. Ze werden gedurende een bepaalde tijd op zee afgezonderd met anderen die

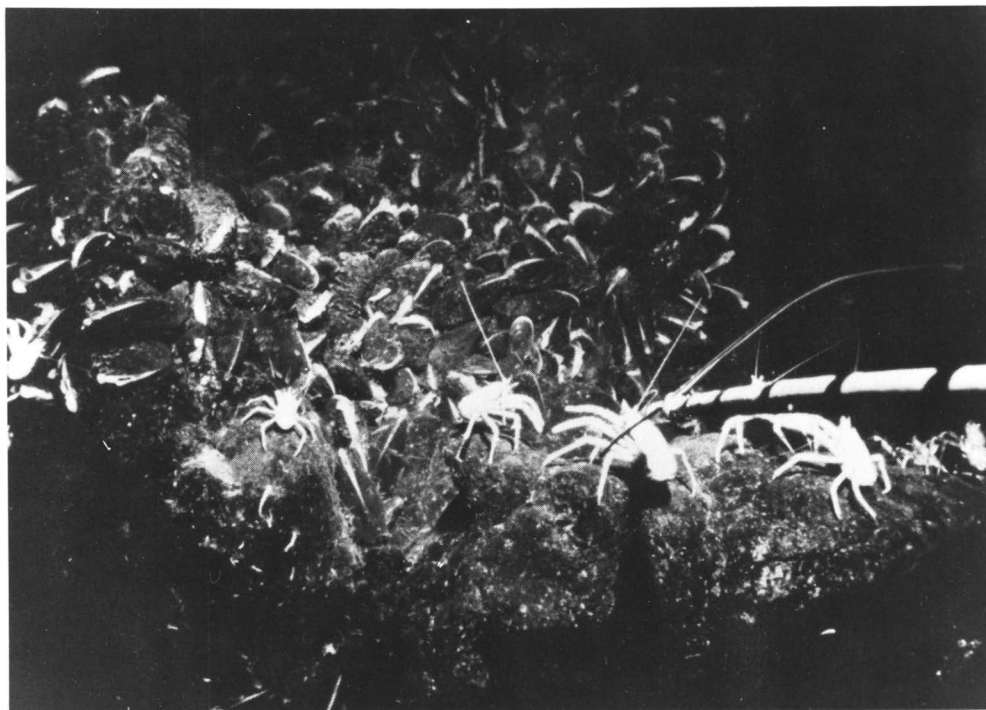


Fig. 11: Gigantische kokerwormen vormen een typerend onderdeel van de bronfauna.



Fig. 12: Krabben en mossels, welke het dichtst bij de bron voorkomen, zijn eveneens typerende dieren in deze unieke diepzee levensgemeenschap.

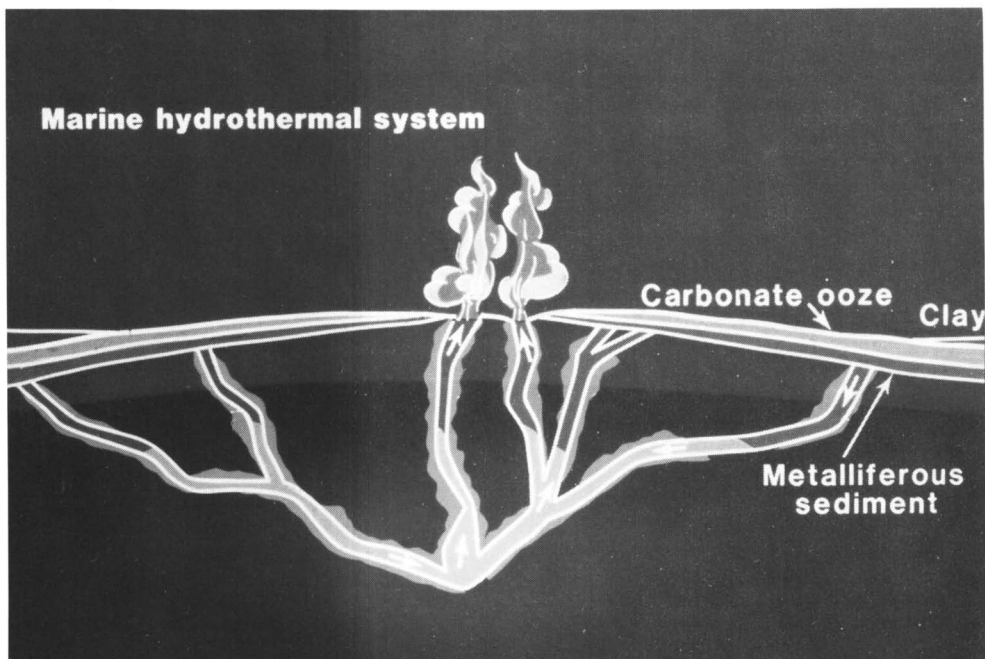


Fig. 13: Door de zogenaamde hydrothermale circulatie van koud water door spleten in het gesteente koelt de korst bij de mid-oceanische rug af. Het verwarmde water keert via heetwater geisers in de oceaan terug. Tijdens deze circulatie door de korst slaan bepaalde mineralen neer en worden andere, zoals metalen en mangaanoxiden opgenomen. Laatstgenoemde slaan rondom de diepzeegeisers neer.

specialist op andere gebieden waren. Het resultaat is dat de paleontologen publikaties over de klimatologie of de chemie beginnen te schrijven; de chemici beginnen te schrijven over de evolutie van organismen en iedereen begint na te denken over onderwerpen waarvan ze het bestaan niet wisten toen ze aan DSDP/ODP gingen deelnemen! Geologie en geofysica hebben geen scherpe grenzen meer. Specialisatie heeft niet langer de toekomst, aardwetenschappers met een brede opleiding, interesse en begrip worden gevormd door DSDP en ODP.

HET OCEAN DRILLING PROGRAM

Het nieuwe 'Ocean Drilling Program' onderscheidt zich in vele opzichten van zijn voorganger. Het is een tienjaren programma - DSDP werd steeds met een periode van vier jaar verlengd - dat door of via de National Science Foundation (USA) wordt gefinancierd. Deelnemers aan dit internationale onderzoekprogramma zijn naast tien grote Amerikaanse oceanografische instituten, West-Duitsland, Frankrijk, Canada, Japan, Groot-Brittannië, de European Science Foundation en per 1 januari 1987 ook de USSR. De niet Amerikaanse deelnemers betalen hun jaarlijkse contributie van US\$ 2,5 miljoen aan de NSF. Het gehele programma van tien

jaar kost de deelnemende landen circa één miljard gulden.

Met dit geld wordt een uiterst moderne onderzoek faciliteit gefinancierd. Er is een boorschip, de 'JOIDES Resolution' (SEDCO/BP-471), gehuurd dat onder andere van een zes verdiepingen tellend laboratorium met een vloeroppervlak van 4.000 m² is voorzien. Dit laboratorium kan als één van de meest geavanceerde marien geologische laboratoria ter wereld worden beschouwd. Het biedt ruimte aan 50 onderzoekers, afkomstig uit de aan het ODP deelnemende landen. Het schip dat over een computer gestuurde dynamic positioning system beschikt en een bemanning van 52 personen heeft kan boringen verrichten in een maximale waterdiepte van 9.000 meter. Het nieuwe boorschip is circa 60% groter dan de 'Glomar Challenger'. Hierdoor kan ook gewerkt worden onder de slechtere weersomstandigheden zoals die op hogere breedten worden aangetroffen. Bovendien is het schip aangepast om onderzoek in de poolgebieden te kunnen doen. Bij de Texas A & M University (USA), dat het ODP operationeel coördineert, is een nieuw onderzoek instituut gebouwd. Hier werken circa 200 personen en worden de verzamelde monsters en gegevens opgeslagen. De wetenschappelijke planning vindt plaats

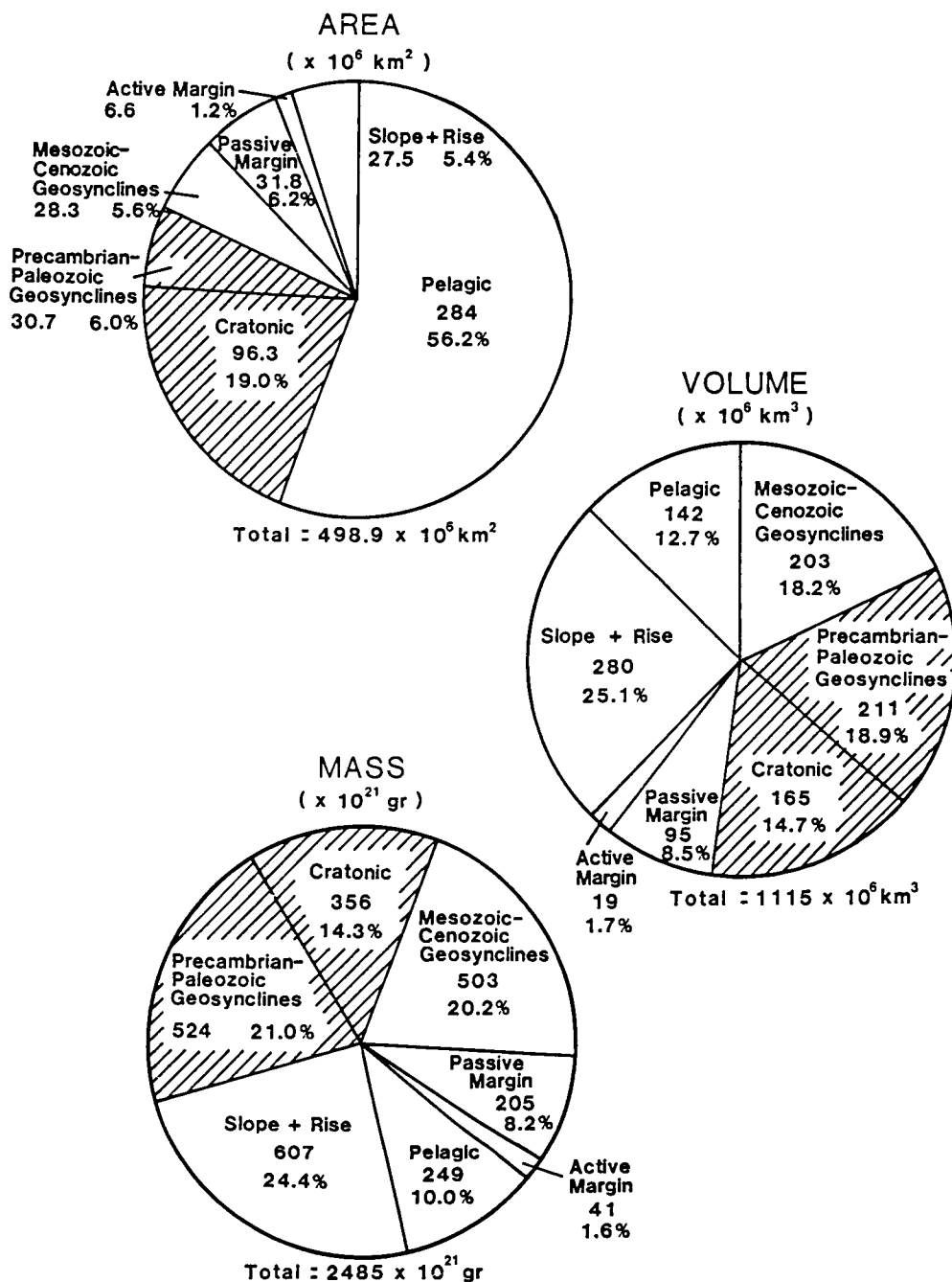


Fig. 14: De verspreiding van de sedimenten op aarde.

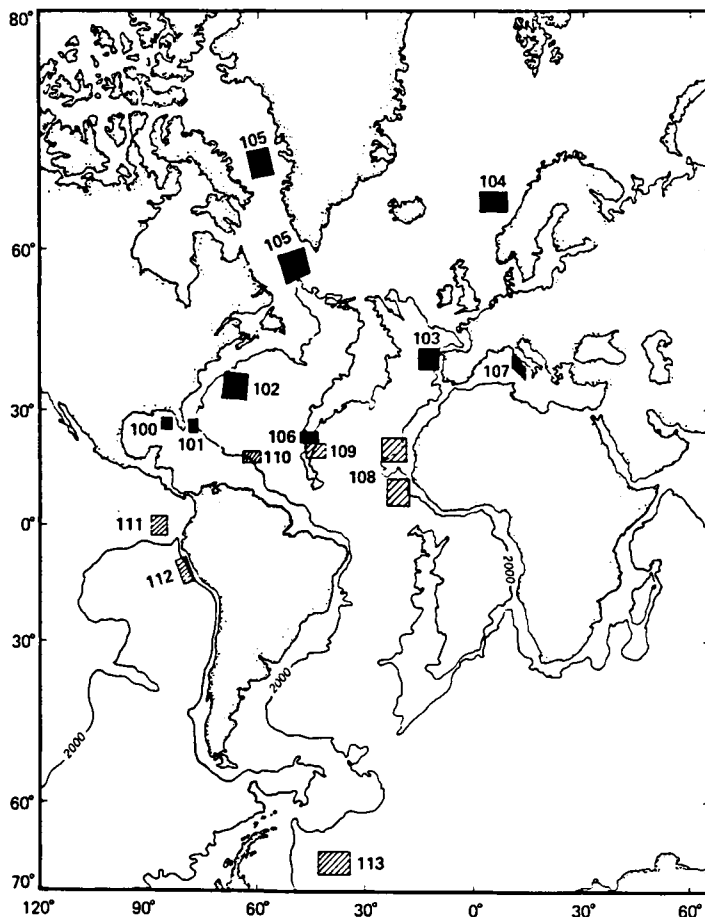


Fig. 15: De lokaties waar in 1985 en 1987 oceanboringen worden verricht.

door het Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling (JOIDES), een advieslichaam dat vrijwel uitsluitend uit vooraanstaande wetenschappers uit de deelnemende landen bestaat. Het wetenschappelijk onderzoek dat met de 'JOIDES Resolution' wordt verricht verschilt in hoge mate met dat van de 'Glomar Challenger'. Met het laatstgenoemde schip werd gedurende 15 jaar verkennend onderzoek verricht. Tijdens het ODP zullen bepaalde wetenschappelijke problemen, zoals hydrothermale circulatie, centraal staan. Verder worden de boorgaten door de plaatsing van een speciale set van instrumenten gebruikt als in situ laboratoria. Tenslotte zal veel aandacht worden gegeven aan paleoklimatologisch onderzoek. Omdat de 'Glomar Challenger' niet op hoge breedte graden kon werken beschikt men immers nauwelijks over informatie uit de bodem van de Poolzeeën. Zonder deze informatie is het echter onmogelijk klimaatschommelingen enz. te begrijpen. De eerste onderzoekgebieden van de 'JOIDES Resolution' zijn de Noorse Zee (zomer 1985) en de Weddell Zee (1987).

ODP is een uniek project. Qua opzet en om-

vang is het zeer wel te vergelijken met investeringen die in de hoge energie fysica gebruikelijk zijn. De internationale geologische gemeenschap beschikt met de 'JOIDES Resolution' over een nieuw zeer geavanceerd instrument om de aarde te onderzoeken. Er kunnen nu meer individuen aan deze opwindende onderneming deelnemen dan vroeger mogelijk was. Ons idee over de wereld zal in het jaar 2000 zonder meer aanzienlijk verschillen van dat wat we nu hebben, evenals ons huidige beeld aanzienlijk verschilt van dat welke we 20 jaar geleden hadden aan het begin van het oceanboorprogramma.

LITERATUUR

- HAY, W.W., 1986. The past and future of scientific ocean drilling. Proceedings International Geological Congress, Moscow, 1984.
- VAN ANDEL, T.H., 1985. New views on an old planet, continental drift and the history of earth. Cambridge. University Press, Cambridge.
- HSÜ, K.J., 1982. Ein Schiff revolutioniert die Wissenschaft, die Forschungsreisen der Glomar Challenger. Hoffmann und Campe, Hamburg.
- De letter W, juni 1981