

**leven  
zonder  
zon**

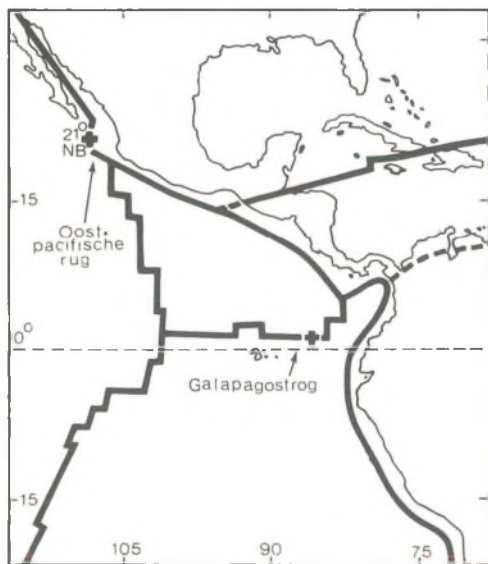
# Leven zonder zon

Dit artikel is tot stand kunnen komen dankzij de medewerking van de Nederlandse Raad voor Zee-onderzoek, deel uitmakende van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, welke instituut ons de gegevens en het fotomateriaal, afkomstig van het Woods Hole Oceanographic Institution in de Verenigde Staten, beschikbaar stelde. Aanvullende gegevens ontleenden wij aan De Letter W, de nummers 1981/8 en 1982/15, een uitgave van de Dienst Wetenschapsvoorlichting. Wij zijn deze instanties hiervoor bijzonder erkentelijk.

## INLEIDING

Volgens de theorie van de platen tektoniek bestaat de buitenste laag van de aardkorst uit een tiental losse 'platen', die als legpuzzelstukjes aan elkaar passen. In de grensgebieden tussen bepaalde platen wordt vanuit het binnenste der aarde steeds nieuwe aardkorst gevormd en naar boven gedrukt. Hierdoor worden de dekplaten langzaam opzij geschoven met een snelheid van slechts enkele centimeters per jaar.

De gebieden, waar zich dit afspeelt, de zogenaamde midoceanische ruggen, zijn ongeveer 75.000 km lang. Eerst in 1973 is men begonnen om met diepzeevaartuigen deze spreidingsgebieden te onderzoeken. Reeds bij de eerste onderzoeken kreeg men het vermoeden, dat er op grote diepte warmwaterbronnen bestonden. Via van een oppervlakteschip neergelaten instrumenten had men na-



Afb. 2 De Galapagostrog en de Oostpacifische rug zijn de plaatsen, waar men heetwaterbronnen heeft aangetroffen.

Afb. 1 Als een dichte rookkolom stijgt het hete water uit het inwendige der aarde de oceaan in.  
Foto dr. Robert D. Ballard.  
Foto titelpagina.





Afb. 3 Op de Oostpacifische rug komt het hete water uit soms meterslange schoorstenen. Op de voorgrond de thermometer van het onderzoeksvaartuig Alvin. Foto Dudley Foster.

melijk op sommige plaatsen geringe temperatuur-verhogingen geregistreerd. Dit was daarom opvallend, omdat de watertemperatuur op de oceaانبodem zeer constant ongeveer 2°C pleegt te bedragen.

In 1977 hebben de Amerikanen het onderzoek voortgezet en zijn daartoe afgedaald op een plaats gelegen ongeveer 380 km noord-westelijk van de Galapagoseilanden en circa 1000 km uit de kust van Ecuador (afb. 2). Dit was mogelijk door gebruik te maken van een onderzoeksvaartuig, de 'Alvin', dat plaats biedt aan een navigator en twee onderzoekers. En inderdaad, reeds spoedig bleek de veronderstelling, dat zich op de oceaانبodem warmwaterbronnen bevonden, juist. Er werd in de nabijheid daarvan een watertemperatuur van 20°C gemeten. In 1979 werd dit onderzoek herhaald en in

dat zelfde jaar bezocht een Frans-Amerikaans-Mexicaans onderzoekteam de Oostpacifische rug, en wel op 21° NB, ongeveer 240 km zuidelijk van de Baja California (afb. 2). Ook daar trof men heetwaterbronnen aan (afb. 1). Sommige hadden de vorm van een schoorsteen (afb. 3) met een hoogte van soms wel 10 meter. Daaruit spuit heet water als een zwarte rook, het gevolg van de daarin neergeslagen zwavelverbindingen. Hoewel de temperatuur van dat hete water 350°C bedraagt, kookt het niet tengevolge van de hoge druk, die op een diepte van ruim 2,5 km heerst.

Door het in aanraking komen van het hete water met het koude oceaانwater slaan de metalen - koper, ijzer, zink en in mindere mate zilver, lood, kobalt en cadmium - en de zwavel neer. Hierdoor worden de bijzondere afzettingen, die men tot dan niet kende, verklaard. Ook de schoorstenen zijn door



Afb. 4 Hele struiken van tot de Vestimentifera behorende kokerwormen in de nabijheid van een heetwaterbron. Op de voorgrond tweekleppigen.



deze afzettingen van metalen gevormd.

Dit hete bronwater is zelf oorspronkelijk oceaanwater, dat door de jonge poreuze aardkorst en de breuken sijpelt en verhit en verrijkt met mineralen op bepaalde plaatsen met kracht weer terug in de oceaan wordt gespoten.

## VREEMDE FAUNA

Het waren echter niet alleen de heetwaterbronnen, die men enkele jaren geleden ontdekte. In de omgeving daarvan trof men een opmerkelijke dierenwereld aan. Op zich zelf is dierenleven op de oceaanbodembodem niet zo bijzonder, maar wel merkwaardig is, dat men nabij de warmwaterbronnen dichte leefgemeenschappen aantrof in water met een overvloed aan bacteriën en andere micro-organismen. Het grootste deel van de oceaanbodembodem is namelijk slechts zeer dun bevolkt, omdat het leven daar afhankelijk is van de schaarse organische stoffen, die uit de hogere waterlagen naar de bodembodem zakken. Des te opvallender is het, dat grote aantallen dieren bijeen op een betrekkelijk klein oppervlak van zo'n 30 bij 100 meter leven. Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat dit samenhangt met de zeer grote bacteriënrijkdom. Ongeveer een meter boven de uitstroming van het hete water zijn wel 1.000.000 bacteriën per  $\text{cm}^3$  aangetroffen. Men spreekt dan ook wel van diepzee-oases.

De dieren, die in zulke oases leven, behoren tot verschillende diergroepen. Hoewel nog niet bekend waarom, leeft iedere soort op een eigen afstand van de bron. Aangezien het hete water betrekkelijk snel afkoelt, zal niet zo zeer een hogere temperatuur dan wel de grote voedselrijkdom door de aanwezigheid van veel bacteriën bepalend zijn voor de aantallen dieren in zo'n oase.

Een grote voedselrijkdom leidt tot een snelle groei en hierin kan weer een aanwijzing liggen voor een betrekkelijk korte levensduur. Dit zou kunnen samenhangen met een in duur beperkte voedselaanvoer en dus met een naar verhouding korte duur van de werking van de heetwaterbron. Aanwijzingen hiervoor heeft men gevonden in grote gebieden met dode tweekleppigen, de overblijfselen van wat eens een rijke fauna was geweest.

De dieren, die nabij de warmwaterbronnen wonen, kennen een larvaal stadium, dat betrekkelijk lang duurt, zodat er in dat stadium genoeg tijd is om door de zeestromingen naar een elders gelegen vestigingsplaats te worden gevoerd. Op deze manier is iedere soort tegen uitsterven behoed zolang de aardkorst zorgt voor nieuwe heetwaterbronnen.

De lavaformaties op grotere afstand van de bronnen zijn nogal kaal. Af en toe treft men er koraal, zee-anemonen of zeekomkommers aan. Naar mate men de bron dichter nadert, ziet men ook krabben, eikelwormen en hydroidpoliepen. In de nabije omgeving van de heetwaterbronnen leven tweekleppigen, grotere aantallen kleine zee-anemonen en kokerwormen.

## KOKERWORMEN

Zeer opvallend waren de beelden van enorme kokerwormen (afb. 4). Kleinere soortgenoten waren reeds bekend en toen ondergebracht in de stam Pogonophora (Webb, 1969). In 1977 echter heeft dr. van der Land, verbonden aan het Rijksmuseum van Natuurlijke Historie te Leiden, tijdens een expeditie met de Hr. Ms. Luymes een soortgelijke worm op de continentale helling voor de kust van Guyana op 500 m diepte aangetroffen. Samen met de Deen Norrevang is hij toen tot de conclusie gekomen, dat deze dieren behoren te worden ingedeeld in een aparte klasse, de Vestimentifera, los van de Pogonophora. De exemplaren, die in de Galapagos-trog zijn verzameld waren kleiner - tot 76 cm - dan die welke in 1979 werden aangetroffen. Deze maten 2,4 tot 3 meter. Het grootste exemplaar, dat naar boven is gebracht, meet 2,4 meter en de worm zelf geprepareerd 1,5 meter met een diameter

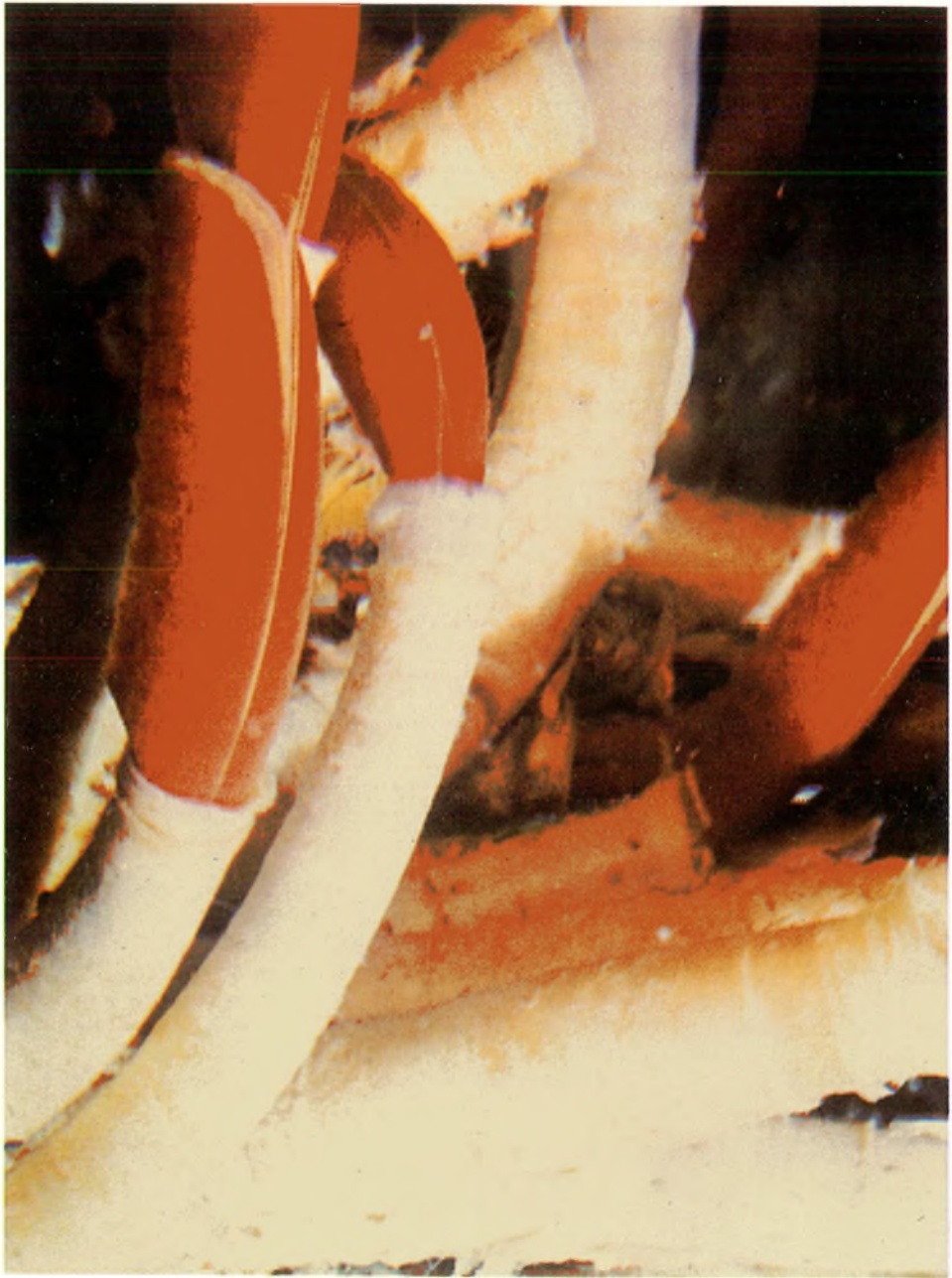


Afb. 5 *Clyptogena elongata*, een tweekleppige, die tot 30 cm lang kan worden. Waar de heetwaterbronnen niet meer werken, ziet men vele schelpen als herinnering aan vruchtbaarder tijden.

van ongeveer 5 cm. De jonge exemplaren, die nog slechts 15 cm lang zijn, zitten verzameld aan de voet van een volwassen worm.

Deze kokerworm heeft een schitterend rode kleur (afb. 6). Die kleur is afkomstig van de hemoglobine, de rode bloedkleurstof, die ook het bloed van mensen kleurt. De wormen hebben geen ogen, mond, darm en anus. Het is nog niet duidelijk, hoe deze dieren zich voeden. Vermoedelijk filteren zij orga-

Afb. 6 Opvallend is de rode kleur van de kokerwormen, welke kleur wordt veroorzaakt door de hemoglobine, de rode bloedkleurstof. →





nisch materiaal en zuurstof uit het water met hun vele fijne tentakels. Dit wordt vervolgens door het bloed door het lichaam getransporteerd.

Aangenomen wordt dat deze wormen van gescheiden geslacht zijn en dat eieren en sperma in het water worden gedeponneerd, alwaar de bevruchting plaats vindt.

#### WEEKDIEREN

Ook de weekdieren zijn in de duistere diepte nabij de heetwaterbronnen vertegenwoordigd. Van deze dieren valt in de eerste plaats op een naar verhouding grote tweekleppige. De lengte van de verzamelde exemplaren daarvan varieert van 130 tot 264 mm. Op grond van anatomische gegevens behoort dit weekdier tot de familie der Vesicomidae (orde Veneroida) en wel tot het geslacht *Calyptogena*. De soort wordt *Calyptogena elongata* genoemd (afb. 5).

In afwijking van andere tweekleppigen is dit de enige bekende soort met rood bloed en een vleesachtige geur. Ook hier wordt de rode kleur veroorzaakt door de hemoglobine, de rode bloedkleurstof. Bij deze tweekleppige is de affiniteit van de hemoglobine tot zuurstof groot, een eigenschap welke wellicht verband houdt met de mogelijkheid van tijden, waarin zuurstof in mindere mate voorhanden is. *Calyptogena elongata* groeit snel. Wel enkele centimeters per jaar, hetgeen ongeveer 500x sneller is dan een kleinere soortgenoot elders, die dan ook 100 jaar kan worden. Aan de Yale University hebben onderzoekers de leeftijd van een 22 cm lang exemplaar met de uranium-thorium-methode (zie Fossielen, pagina 58) bepaald op minder dan 10 jaren.



Afb. 7 In de oases bij de heetwaterbronnen leven de tweekleppigen in de spleten tussen de lavakussens. Alvin-camera.



Evenals *Calypptogena elongata* zich ophoudt in de spleten tussen de kussenachtige lava-afzetting (afb. 7) leven daar ook de mosselen. Merkwaaarderwijs zijn alleen mosselen aangetroffen in de Galapagostrog en niet op de Oostpacificische rug. Zij behoren tot een nieuw geslacht van de familie der Mytilidae. Hun bestaan in de buurt van de actieve bronnen delen zij met rode borstelwormen (Polychaeta), die in de mantelholte leven. Deze symbiose werd op bepaalde plaatsen veelvuldig aangetroffen en op andere plaatsen nauwelijks. Evenals hun soortgenoten zijn ook deze mosselen in staat tot het vervaardigen van glanzende parels. Enige kleinere exemplaren hebben de onderzoekers gevonden. Niet alleen echter tweekleppigen bevolken de diepzee-oasen. Zowel op de kokers van de reeds genoemde kokerwormen als op de rotswanden van de bronnen leven schaalhorenachtige dieren, levende fossielen. Men neemt aan, dat deze slakken zich voeden door het filteren van het bacteriënrijke water.



Afb. 8 Blinde witte krabben bij de warmwaterbronnen in de Galapagostrog. Op de achtergrond mosselen. Foto dr. Robert Hessler.

## NOG ANDERE DIEREN

Maar er werden ook nog verscheidene andere interessante dieren ontdekt, zoals verschillende krabben, die tussen de kokerwormen en over de mosselen (afb. 8) en de lavakussens wandelden. Heel bijzonder is een kleine, garnaalachtige geleedpotige, behorende tot de orde der Leptostraca. Het bijzondere van dit dier wordt gevormd door de kamachtige structuur aan het einde van de oogsteel, waar zich bij andere geleedpotigen de ogen bevinden. Een dergelijke constructie is van geen ander geleedpotig dier bekend. Wellicht worden de kammetjes gebruikt om het voedsel (micro-organismen) van rotsen en schelpen te schrappen.

Verder werd de aandacht getrokken door een ander merkwaardig dier, dat alleen op de Oostpaci-fische rug is aangetroffen. Het is een borstelworm, die uit de mineralen in het water een koker vormt, welke hij vasthecht bij de schoorstenen. De onderzoekers doopten hem Pompei-worm, omdat hij een constante regen van metaalneerslag moet overleven. Deze borstelworm voedt zich vermoedelijk met bacteriën, die met de tentakels worden gevangen (afb. 9).

Een dier uit een geheel andere groep is een hydroïedpoliep, behorende tot de familie der Rhododaliidae. Deze familie behoort tot de orde der Siphonophora, evenals de Physaliidae, de familie waarvan het Portugese oorlogsschip, *Physalia physalis* L. deel uitmaakt. Het uiterlijk verschilt evenwel nogal, aangezien onze hydroïedpoliep meer op een paardebloem lijkt. De drijfblaas vormt dan het hart, terwijl de daaromheen gegroepede poliepen de indruk van bloemblaadjes wekken.

Tenslotte noemen we nog de eikelwormen of Enteropneusta - stam Hemichordata -, die als bodembe-woners bekend staan. Zij vulden de eerste beelden van de vreemde onderwaterwereld in de omge-ving van de heetwaterbronnen. De enigszins krioelende massa witte, wormvormige weefsels lever-den hun de naam van 'spaghetti' op.

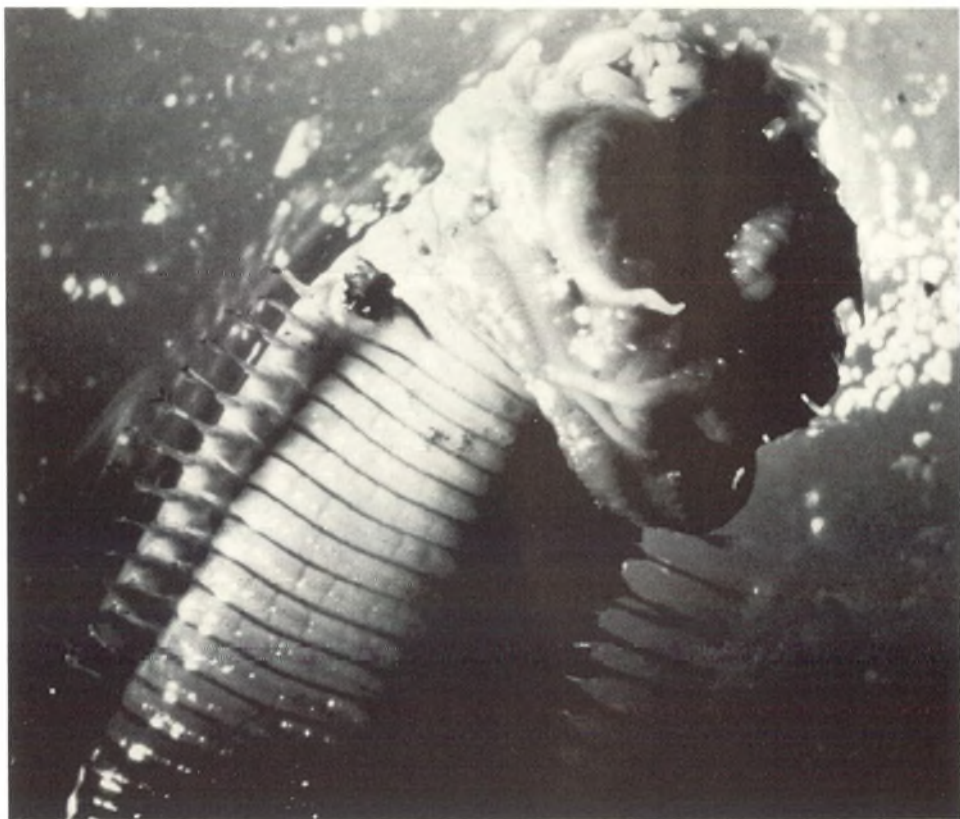
## CHEMOSYNTHESE

Zoals reeds opgemerkt is het niet zo zeer de temperatuur, die de aanwezigheid van een rijke fauna in de omgeving van de heetwaterbronnen verklaart. De temperatuur van het uitgespoten water daalt snel en alleen dus vlak bij de bron heerst een voor de diepzee aangename temperatuur. Veel belang-rijker is de ook in soortental grote rijkdom aan bacteriën. Maar op zich zelf is ook dit nog niet voldoende. Het bijzondere is daarbij, dat die bacteriën in staat zijn zich snel te vermenigvuldigen en daardoor te zorgen voor een aanzienlijke voedselvoorraad voor de andere dieren.

De vraag is echter hoe deze bacteriën diep onder water, waar de zon niet doordringt, zich zo snel kunnen vermenigvuldigen. Het blijkt dat deze bacteriën in staat zijn de in het water voorkomende zwavelwaterstof te oxyderen en de daarbij vrijkomende energie te gebruiken voor het omzetten van anorganische stoffen in organisch voedsel. Dit proces noemt men chemosynthese, hetgeen staat te-genover fotosynthese, waarbij de zon de energie levert.

Dat de bacteriën zich snel kunnen vermenigvuldigen, is ook in het laboratorium aangetoond. Zo heeft John A. Baross, microbioloog aan de universiteit van Oregon (V.S.), experimenten uitgevoerd met monsters van het water, dat uit de schoorstenen van de diepwaterbronnen is gekomen. Op het Scripps Oceanographic Institute te San Diego (V.S.) heeft hij die bacteriën aan hoge druk en tempera-tuur blootgesteld. Bij een druk van 265 atmosfeer en een temperatuur van 250°C bleek het aantal bacteriën in het bronwater zich in 40 minuten te verdubbelen. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat de voedselvoorraad bij de warmwaterbronnen enige malen groter is dan aan de oppervlakte van de oceaan. Overigens staat niet vast, dat de fauna bij de waterbronnen uitsluitend leeft van de bacte-riën, die zich met behulp van de chemosynthese vermenigvuldigen. Het is geenszins uitgesloten, dat ook voedsel uit het omringende zeewater een rol speelt.

Onwillekeurig rijst uit de ontdekking van de chemische energie als bron voor het leven, de vraag, of die levensomstandigheden, waarbij het zonlicht geen rol speelt, ook vroeger zijn voorgekomen. En die vraag moet bevestigend worden beantwoord. Met de platentektoniek als leidraad kan men op het vaste land, zoals Zuid-Afrika, Australië en Groenland, gebieden aanwijzen, waarvan de gesteenten onder dezelfde omstandigheden zijn gevormd als bij de midoceanische ruggen. En in die 3,5 miljard jaar oude gesteenten zijn fossiele levensvormen gevonden, die lijken op die welke experimenteel zijn verkregen zonder zonlicht. Volgens Baross wijst dit uit, dat de ontwikkeling van het leven op aarde tot stand kon komen met de aardwarmte als energiebron en dus zonder fotosynthese. Ook zou dit kunnen betekenen, dat de veronderstelling, dat leven bij hoge temperatuur en druk onmogelijk is - zoals op de planeet Venus -, niet juist behoeft te zijn. Het is wel merkwaardig, dat de ontdekking van leefgemeenschappen, die de theorie dat zonlicht voor het leven onontbeerlijk is, aan het wankelen brengt, juist moest plaats vinden in de onmiddellijke omgeving van de Galapagoseilanden, waar Darwin tevoren zijn theorieën over het ontstaan van de soorten ontwikkelde.



Afb. 9 De Pompei-worm, een borstelworm, die aan een voortdurende neerslag van metalen is blootgesteld. Foto Emory Kristof.





Afb. 10 Het onderzoeksvaartuig Alvin (rechts op de voorgrond) met het moederschip Lulu.

#### ONDERZOEK

Tijdens de in augustus 1982 plaats gehad hebbende oceanografische conferentie in Canada heeft prof. H.W. Jannasch van het Oceanografisch Instituut te Woods Hole medegedeeld, dat bacteriën uit de warmwaterbronnen in zeewater gemengd met zwavelwaterstof zich snel vermenigvuldigen en dat men de daaruit voortkomende 'biomassa' kan gebruiken voor het vervaardigen van synthetische brandstoffen. Wellicht is het ook mogelijk industriële afvalgassen door een tank met diepzeebacteriën te leiden, opdat deze de zwavel, de veroorzaker van de zure regen, eruit kunnen halen.

De onderzoekers in Woods Hole zijn er inmiddels al in geslaagd mosselen te kweken met behulp van diepzeebacteriën in kunstmatige heetwaterbronnen. Ook daarbij diende een mengsel van water en zwavelwaterstof om de bacteriën zich snel te laten ontwikkelen en op die manier de mosselen een overvloed aan voedsel te verschaffen. Al deze onderzoeken wijzen erop, dat we hierover in de toekomst stellig nog veel meer zullen horen.

#### ADDITIONELE LITERATUUR

BALLARD, Robert D. & J. Frederik GRASSLE. 1979. Incredible world of the deep-sea oases. National Geographic, vol. 156, no. 5. pp. 680 - 705.