

Reise in die tiefe Biosphäre

Heribert Cypionka

Vortrag am Mittagstisch des Präsidenten der Universität Oldenburg vor Vertretern aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Justiz in Oldenburg

8. Januar 2003

Meine Damen und Herren,

ich darf mich herzlich für Ihr Interesse an einem exotischen wissenschaftlichen Thema ganz herzlich bedanken und möchte Sie zur Belohnung an einem frostigen Januartag mitnehmen auf eine Reise in südliche, warme Gefilde.

Startpunkt einer großen Forschungsreise, an der ich vor fast genau einem Jahr teilgenommen habe, war San Diego in Kalifornien. Es ging weit hinaus in den Pazifik, über den Äquator, an den Galapagos-Inseln vorbei vor die Küste von Peru, und weiter bis nach Valparaiso in Chile.

Die zweimonatige 'Traumreise' führte aber vor allem in eine fast gänzlich unbekannte Welt dunkle Welt unter uns, die so genannte tiefe Biosphäre in den Sedimenten. Es war wenig Urlaub und Entspannung dabei, sondern viel, auch körperlich harte Arbeit.

Der Kurs des Schiffes wurde auch nicht wegen des angenehmen Klimas gewählt, sondern weil während der Fahrt Proben aus nährstoffarmen Sedimenten tausend Kilometer vor der Küste als auch in einem geologisch höchst komplexen Gebiet vor den Anden gewonnen werden sollten. Sie wissen sicherlich, dass die Anden eigentlich das höchste Gebirge der Welt sind. Sie erheben sich zwar 'nur' 6000 m über den Meeresspiegel, aber vor der Pazifik-Küste Südamerikas fällt der Meeresboden steil ab. Hier schiebt sich nämlich eine der Platten, aus denen die Erkruste gebildet wird, unter den südamerikanischen Kontinent und drückt dabei die Anden in die Höhe. Wir haben Proben aus dem Meeresboden durch 5000 m Wasser hindurch gewonnen, zum Teil mehrere hundert Meter tief unter dem Meeresboden. An manchen Stellen durften wir nur 100 m tief in das Sediment eindringen, an anderen bis zu 340 m, bis auf den Basalt, der den Untergrund des Sediments bildet und bis zu 40 Millionen Jahre alt ist.

Ein weiterer wichtiger Grund für die Wahl der Probenahmestandorte war die Tatsache, dass alle Standorte bereits vor Jahren beprobt worden waren. Wir kannten deshalb viele geologische und geochemische Gegebenheiten bereits vorher. Allerdings richtet sich der Blick der Wissenschaft erst in der jüngsten Zeit auf die Mikroorganismen, die in gewaltigen Mengen in den Sedimenten leben und die die tiefe Biosphäre bilden.

Man hört und liest ja immer wieder von der Frage, ob es außerhalb der Erde Leben im Weltall gibt. Es werden Unsummen ausgegeben, um etwa Proben vom Mars zu analysieren. Dabei gibt es direkt auf unserer Erde Standorte, die ähnlich unbekannt und schwer zu beproben sind, und die - wie wir seit wenigen Jahren wissen - sicher voller Leben sind.

Als ich vor gut zehn Jahren auf einen Lehrstuhl für Paläomikrobiologie am Institut für Chemie und Biologie des Meeres berufen wurde, war mir nicht ganz wohl. Ich bin nämlich gar kein Paläontologe, der sich mit Lebewesen vergangener Zeiten beschäftigt und Fossilien betrachtet und interpretiert. Statt dessen habe ich mich immer mit lebenden Bakterien und ihren Ansprüchen, Leistungen und Möglichkeiten beschäftigt. Zu meinem Glück hat sich jedoch in der Zwischenzeit das wissenschaftliche Weltbild bzw. Erdbild gewandelt. Wir untersuchen Proben, die hunderttausend oder auch Millionen Jahre alt sind und finden darin lebende Organismen. In unserem Institut finden wir besonders in den geochemischen Arbeitsgruppen ideale Kooperationspartner. Die Kollegen sagen uns, welche chemischen Prozesse und Veränderungen ablaufen. Und wir versuchen, die dazu passenden Organismen als Katalysatoren des Geschehen zu finden. Vieles, was in der Geologie vor zehn Jahren als chemischer oder physikalischer Prozess galt, hat sich inzwischen als mikrobielle Umsetzung herausgestellt. Man schätzt, das etwa 10 bis 60 Prozent der lebenden Biomasse unserer Erde aus Mikroben - Bakterien und Archaeen - in den tiefen Sedimenten besteht.

Das ODP-Programm und das Forschungsschiff 'JOIDES Resolution'

Um die tiefen Sedimente beproben zu können, benötigt man Geld und Technik. Das Geld kommt aus einem internationalen Forschungsprogramm, dem so genannten 'Ocean Drilling Program', abgekürzt ODP. Dieses Programm wurde finanziert von 12 Ländern oder Länderkonsortien, insgesamt mit 50 Millionen Dollar pro Jahr. Deutschland hat davon 5 Millionen getragen, die Amerikaner deutlich mehr. Wichtige Partner sind außerdem Japan, England, Frankreich, die skandinavischen. Das Programm läuft 2003 aus, wird aber mit gesteigertem Einsatz und einem neuen Schiff, das die Japaner bauen, fortgesetzt.

Bisher wurde mit dem Geld wurde ein Spezialschiff gechartert und mit spezieller Technik ausgerüstet. Die JOIDES Resolution ist 143 m lang und hat einen Bohrturm von 63 m Höhe. Mit ihr kann man durch mehrere tausend Meter Wassertiefe hindurch tausend Meter in den Meeresgrund bohren. Dabei wird jeweils ein Rohr (10 m-Abschnitte mit Plexiglas-Umhüllung) mit 25 t Gewicht in den Grund geschossen und dann nach oben transportiert. Es gibt kein Schiff auf der Welt, auf dem mit vergleichbarer Erfahrung unkontaminierte Proben aus dem Untergrund gewonnen werden.

Das Schiff fährt sechsmal im Jahr auf zweimonatige Fahrten, zu denen neben Amerikanern jeweils ein oder zwei Wissenschaftler aus den beteiligten Staaten eingeladen werden. Für die Festlegung der Route und die Einladungen sind entsprechende internationale Gremien eingerichtet. Die konkreten Forschungsarbeiten werden außerdem in den jeweiligen Ländern begutachtet und gefördert, wofür in Deutschland das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF) vertreten durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zuständig sind.

Die Probenahmetechnik

Die ODP-Fahrt Numer 201, an der ich teilgenommen habe, führte in Regionen klassischer Reisen der Wissenschaftsgeschichte von Darwin und Alexander von Humboldt. Und zumindest für die Geomikrobiologie dürfte die Fahrt 201 wohl in Meilenstein werden. Wir hoffen auf durchaus sensationelle Entdeckungen in der Welt der Mikroben. Es waren nämlich noch nie so viele Geomikrobiologen aus aller Welt an Bord. Außerdem wurden noch nie so viele Proben in alle Welt verschickt. (Jeder Forscher in den beteiligten Ländern kann nämlich

Proben anfordern, wenn er nicht selbst an Bord ist.) Vor allem aber wurden erstmals besondere Kontaminationstests angewendet, mit deren Hilfe wir sicher sagen können: Das Material stammt wirklich aus den beprobten Sedimentschichten und nicht aus dem Meerwasser oder der Bohrflüssigkeit.

Um dies zu überprüfen, wurden nämlich der Bohrflüssigkeit chemische Indikatoren und künstliche Bakterien zugesetzt. Wenn diese dann in einer Probe nachweisbar waren, wussten wir: die ist kontaminiert und sollte besser nicht ausgewertet werden. Ansonsten wurden die Plexiglasröhren angeritzt und gebrochen oder mit sterilen Klingen geschnitten, um an das Sediment zu kommen. Davon wurden dann Proben auf vielfältige Weise konserviert, eingefroren oder in Kulturmedien verdünnt.

Woher weiß man, dass in den tiefen Sedimenten so viele Bakterien leben?

Wenn ich eine Sedimentprobe unter das Mikroskop oder auch ein Elektronenmikroskop lege, sehe ich kaum irgendwelche Bakterien, sondern überwiegend Reste der Kalk- oder Silikat-Schalen von Algen und anderen Planktonbewohnern. Und wenn da irgendwo ein Pünktchen aussieht wie ein Bakterium - wie kann man sicher sein, dass es wirklich eins ist und auch noch lebt? Zum Glück gibt es heute Möglichkeiten, mit speziellen Farbstoffen lebende Bakterien zum Leuchten zu bringen. Manche dieser Stoffe dringen in eine Zelle ein und beginnen zu fluoreszieren, nachdem sie sich an das Chromosom in der Bakterienzelle angelagert haben. Andere lagern sich an die so genannten Ribosomen der Bakterien an. Das sind Organellen, die für die Proteinsynthese zuständig sind. Man kann die Farbstoffe so konstruieren, dass nur Mitglieder einer bestimmten Bakteriengruppe leuchten. Dann kann man mit diesen Techniken sogar analysieren, welche Arten vorhanden sind. Es gibt außerdem heute eine Vielzahl molekularbiologischer Methoden, mit deren Hilfe Bakterien identifiziert werden können. Unser Vorgehen ähnelt dabei dem der Kriminologen, die mit einem Speicheltest nach Gewaltverbrechern suchen. Im Prinzip reicht ein Bruchstück eines einzelnen DNA-Moleküls, um ein Bakterium zu identifizieren.

Neben der Identifizierung einzelner Mikroorganismen gibt es aber einen weiteren, einfachen aber schlagenden Beweis für die Aktivität der tiefen Biosphäre: Es gibt nämlich in den Sedimenten verschiedene chemische Gradienten, die durch nichts anderes als mikrobielle Umsetzungen bewirkt werden können. So verschwinden etwa Methan und Sulfat in bestimmten Schichten gleichzeitig. Es müssen dort Bakterien vorhanden sein, die Methan oxidieren und Sulfat reduzieren. Rein chemisch können diese Verbindungen nicht einfach miteinander reagieren. Dort wo kein Sulfat mehr vorhanden ist, kann sich hingegen Methan anreichern - als Stoffwechselprodukt von methanogenen Archaeen - und bleibt über lange Zeiträume erhalten.

Generationszeiten und Ernährungsweisen

In einem Millionen Jahre alten Sediment muss nicht die einzelne Zelle Millionen Jahre alt sein, sondern die Population. Aus den Zellzahlen und Aktivitäten kann man die Generationszeiten der Bakterien abschätzen und kommt dabei allerdings auf Zeiträume von Jahrhunderten oder gar Jahrtausenden. Wir verstehen überhaupt noch nicht, wie die Bakterien so lange Zeit überleben können. Zwar kennt man Sporen als Dauerformen, die lange überleben können ohne aktiv zu sein. Es gibt aber viele Arten, die keine Sporen bilden können.

Die Sedimente tief unter dem Meeresboden werden ja auch nicht regelmäßig durch Produkte der Photosynthese der grünen Pflanzen gefüttert, von den das Leben an der Oberfläche abhängt. Auch Sauerstoff dringt nur wenige Zentimeter in den Meeresboden ein. Die tiefe Biosphäre lebt ohne Sauerstoff, also anaerob. Verwertbare organische Stoffe sind meist nach relativ kurzer Zeit verbraucht. Es herrscht also ewiger Hunger. Allerdings gibt es viele Bakterien, die sich von anorganischen Stoffen ernähren können. Diese können zum Beispiel Wasserstoff-Gas, das langsam von Basaltgestein freigesetzt wird, als Futter verwenden. Es gibt weitere Möglichkeiten, auf die ich in der Kürze der Zeit nicht eingehen kann. Man darf sich keinesfalls die Sedimente so eintönig und homogen vorstellen wie das Wasser in einer Badewanne.

Kultivierung und molekularbiologische Analyse

Der 'Königsweg' der Mikrobiologie ist natürlich die Kultivierung eines Bakteriums im Labor. Das ist auch der Schwerpunkt unserer wissenschaftlichen Arbeiten. Aber es ist unendlich schwierig, ein Bakterium, das tausend Jahre geschlafen hat, innerhalb einer Diplom- oder Doktorarbeit zum Wachstum zu bringen. Standardverfahren der klassischen Mikrobiologie versagen. Wir verwenden extrem verdünnte Medien, denen wir Partikel zur Anheftung zusetzen. Dennoch beobachten wir, dass Sediment-Bakterien, die darin wachsen, angeschwollen und verformt sind, als würden sie an Verfettung leiden. Die Wachstumsversuche im Labor werden von molekularbiologischen Analysen und hochempfindlichen Messungen der Aktivität begleitet. So hoffen wir, ein Bild vom Leben der tiefen Biosphäre zu gewinnen.

Ergebnisse der Fahrt 201 und früherer Fahrten

Ergebnisse der Fahrt 201 gibt es in unserem Labor erst wenige. Und die müssen noch mit vielen Kontrollparametern abgeglichen werden. Erfahrungsgemäß dauert es Jahre, bis eine solche Analyse abgeschlossen ist. Immerhin haben wir im letzten Jahr eine Arbeit in Science veröffentlichen können, die sich mit Analysen von bis zu 200 000 Jahre alten Sedimentproben aus dem Mittelmeer beschäftigt. Die Proben wurden 1998 auf einer Forschungsfahrt der Meteor gewonnen. Auch hier konnten wir die Aktivität der Bakterien messen, Bakterienzahlen bestimmen und neue Arten isolieren. Tatsächlich haben die meisten bisher aus der tiefen Biosphäre gewonnenen Isolate Verwandte an der Oberfläche. Man muss sich klar machen, dass zwanzig Millionen Jahre für die Bakterien keine lange Evolutionszeit bedeuten. Schließlich gibt es sie hier schon seit 3800 Millionen Jahren. Andererseits gibt es mit Sicherheit viele spezielle Anpassungen der Bewohner der tiefen Biosphäre. Denn unter entsprechendem Selektionsdruck läuft die Evolution extrem schnell ab. Denken Sie etwa an die Vielfach-Resistenzen gegen Antibiotika, die viele Krankenhaus-Keime schon fünfzig Jahre nach der Einführung von Penicillin entwickelt haben.

Perspektiven

Wozu soll nun die Forschung an Standorten, wo sich Bakterien alle tausend Jahre teilen, nun führen? Erstens können wir Antworten zu grundsätzlichen Fragen nach den Mindestanforderungen an Lebensprozesse erwarten. Weiterhin ist es natürlich eine der Aufgaben der Biologie, die Organismen auf unserem Planeten zu erfassen und zu

beschreiben. Ein guter Teil war uns da bisher völlig entgangen. Drittens kann man eine große Zahl von Anwendungsmöglichkeiten erwarten. Gerade so genannte extremophile Mikroorganismen weisen zahlreiche Enzyme auf, die biotechnologisch interessant und zum Teil - vom Waschmittel bis zur Molekularbiologie - bereits angewendet werden. Last not least werden sich viele geologische Prozesse nur mit Kenntnisse der tiefen Biosphäre verstehen lassen. So ist in den letzten Jahren klar geworden, dass in den Sedimenten gewaltige Mengen von Methan als Methanhydrate in eisähnlichen dünnen Schichten eingelagert sind. Die Menge der bekannten fossilen Brennstoffe auf unserer Erde hat sich durch diese Entdeckung verdreifacht. Bei dem Methan handelt es sich um ein Produkt mikrobiellen Stoffwechsels. Und natürlich kann - wie bereits oben erwähnt - Methan auch durch Mikroben wieder verbraucht werden. All diese Prozesse sollten wir verstehen lernen. Für die Fortführung des internationalen Tiefseebohrprogramms ist die Untersuchung der tiefen Biosphäre jedenfalls zu einem Zugpferd geworden.

Weitere Informationen im Internet

Unsere Homepage enthält Berichte, viele hundert Fotos und Präsentationen (meist als PDF-Files), sowie Publikationen zur tiefen Biosphäre: www.icbm.de/pmbio

Der vorläufige Bericht der Fahrt 201 (in Englisch) ist abrufbar unter:
www-odp.tamu.edu/publications/prelim/201_prel/201toc.html

Aktuelle Bilder vom derzeitigen Standort der JOIDES Resolution gibt es unter:
www-odp.tamu.edu/public/life

Informationen zur deutschen Beteiligung am ODP-Programm bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe:
www.bgr.de/odp