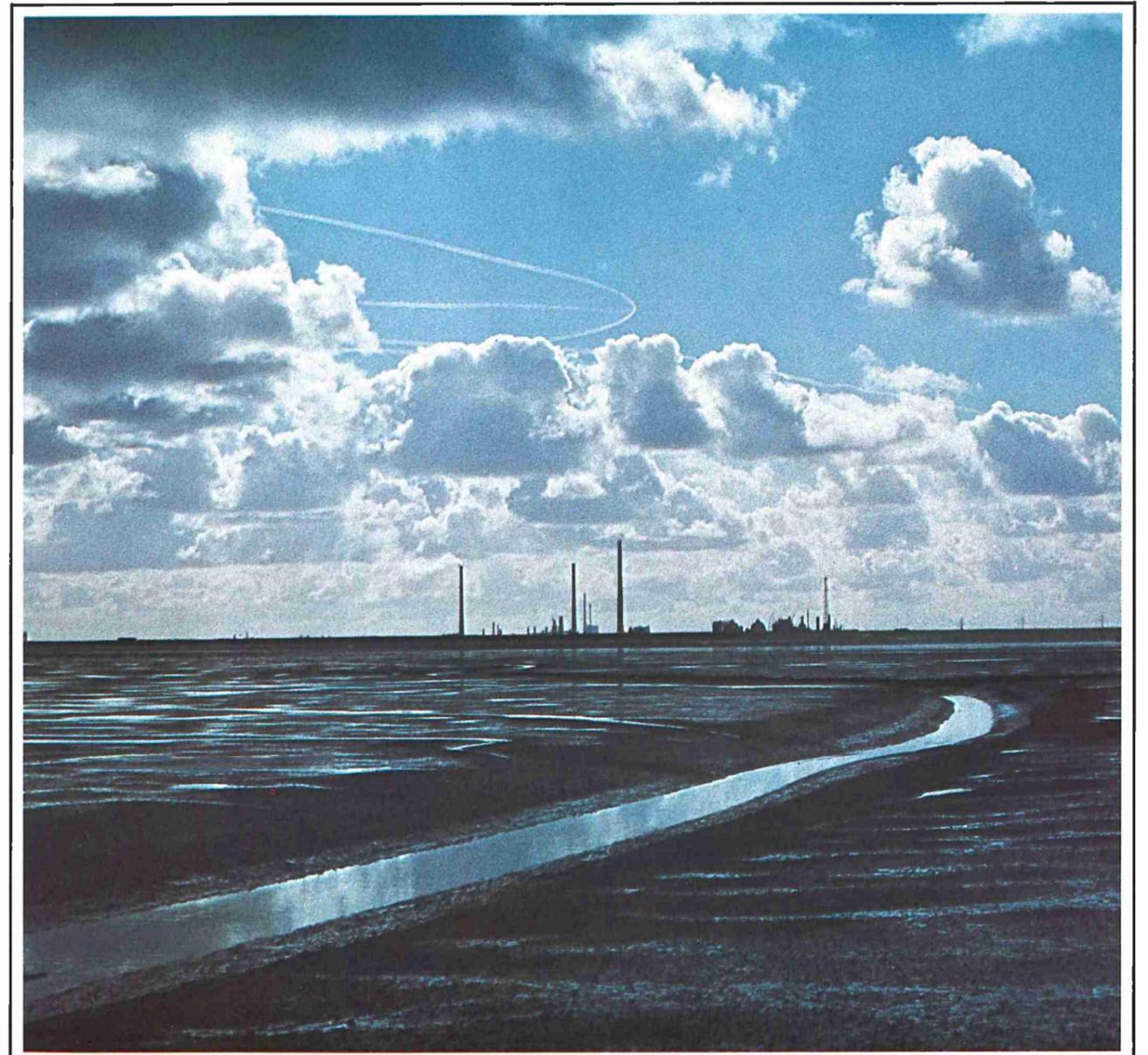


Einblicke

Forschung an der
Universität Oldenburg



Nr. 7

POIESIS 2

Peter Sloterdijk Poiesis • Otto von Simson, Gert Selle, Rudolf zur Lippe Fridhelm Klein • Fridhelm Klein Briefe und Notizen, Bilder und Photographien • Maria Hippus - Gräfin Dürckheim Entstehungsgeschichte des geführten Zeichnens • Birger P. Priddat Der Poet des Besitzes. Miscellen zur romantischen Ökonomie • Karl Josef Pazzini Der Ärger mit dem Rahmen • Jürgen Funke Wege der Bewegung • Ruth Walz Bewegungsstudien mit Schauspielern • Hartmut von Hentig Erkenntnis und Humanität

ποιέω, f. ἴσω, machen, thun, von Hom. an allg. u. zwar 1) wie das deutsche machen, eine schaffende Thätigkeit, eine Wirkung und deren bleibendes in die Sinne fallendes Erzeugniß bezeichnend; dah. 1) ein Ding, eine Arbeit, ein Werk herstellen, verfertigen, zu Stande bringen, hervorbringen, zunächst von jeder äusserlichen Thätigkeit, die sich in Hervorbringung irgend eines in die Sinne fallenden Products kund gibt, von Handwerkern u. Künstlern, von Hom. an allg.

... Häuser, Wohnungen bauen ... eine Schrift abfassen... überhaupt hervorbringen ... es regnen lassen ... erdichten, ersinnen ... einen Zustand, ein Verhältnis bewirken, verursachen, erregen, bereiten, bewerkstelligen, veranstalten, zu Wege bringen ... handeln, verrichten, die subjective Wirksamkeit bezeichnend, daher auch den Begriff einer fortgesetzten Thätigkeit oder Handlung enthaltend... bewirken, daß etwas geschieht .. seine Bundesgenossen muthig machen ... einem Sterblichen eine Göttin zur Gattin geben ...

ποίησις, εως, ἡ, (ποιέω) das Machen, Hervorbringen, Bilden, Schaffen, Verfertigen

erscheint in regelmäßiger Folge als Zeitschrift des Instituts für Anthropologie e.V. (Cappenberg, Westf.), herausgegeben und redigiert von Rudolf zur Lippe und Gert Selle

Bestellungen an den Herausgeber
Universität Oldenburg, Fachbereich 2, Postfach 2503,
2900 Oldenburg

Praktisch-theoretische Wege ästhetischer Selbstbeziehung

Einblicke

Forschung an der Universität Oldenburg

Inhalt

Dieter Giani/Wolfgang E. Krumbein Experimentelle Salzgärten	5
Thomas Höpner Das Wattsediment als biokatalytisch aktives Reaktionsmedium	8
Gisela Gerdes Paläomikrobiologie	14
Hans-Jörg Ferenz/Peter Jaros/ Horst Schminke/Johann-Wolfgang Wägele/ Axel Willig/Gerd-Peter Zauke Schwerpunkt Crustaceenforschung	17
Erich Zeeck/Jörg Hardege/ Helga Bartels-Hardege/Günter Wesselmann Pheromone	21
Gunther Kruse/Rainer Reuter Fronten in der Deutschen Bucht	24
Eberhard Hilf/Friedrich Kammer/ Jürgen Metzger/Wilfried Tuszyński/Karl Wien Lassen sich schwere organische Moleküle im Watt wiegen?	30
Peter Springer Mit Malerei habe ich überhaupt nichts zu tun - Natur und Naturwissenschaftliches bei Joseph Beuys -	34

TITELBILD: Watt und Industrie, Natur und Zivilisation - ein Antagonismus, der das Leben auslöscht? - Nur mit Hilfe der Wissenschaft sind heute noch die verseuchten Meere zu retten. Das neugegründete Institut für Chemie und Biologie des Meeres leistet dazu einen Beitrag.



Über zehn Jahre Meeresforschung an der Universität

Fernsehnachrichten führen es uns täglich neu vor Augen: Meeresforschung tut not; ihre Intensivierung ist notwendiger denn je. Nur so besteht eine Chance, marine Lebenswelten zu erhalten. Als der Senat der Universität Oldenburg am 8. Oktober 1986 die Errichtung des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) beschloß, konnten die Meeresforscher an unserer Universität bereits auf zehnjährige Erfahrungen zurückgreifen. Ein großer Teil dieser Forschungserfahrungen ist in das ICBM eingeflossen. In der vorliegenden Ausgabe unseres Forschungsmagazins EINBLICKE werden einige Projekte der Oldenburger Meeresforschung vorgestellt.

Das ICBM ist für die Struktur künftiger Entwicklungen der Universität Oldenburg nicht untypisch: sicherlich bedeutet sein Ausbau auf der einen Seite eine Spezialisierung, die sich quantitativ und qualitativ von anderen Einheiten absetzt; auf der anderen Seite ist diese Spezialisierung aber nicht mit einer fachlichen Einschränkung verbunden, im Gegenteil: die interdisziplinären Ansätze werden der Komplexität der Forschungsgegenstände auch insoweit gerecht, als eine Vielzahl von Fächern bis zu den klassischen Geisteswissenschaften Anregungen durch die Arbeit des ICBM und die Mitarbeit in diesem Institut erhalten. Gerade wenn es um ökologische und globale physiologische Fragestellungen geht, können die Grenzen zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und praktischen Eingriffen in die Natur nicht mehr so deutlich gezogen werden, wie das ein traditionelles Verständnis von der Arbeitsteilung der Disziplinen nahelegt.

Das ICBM verbindet einen international ausgewiesenen Forschungsansatz mit sehr konkreten regionalen Interessen: gerade der Nordwesten Niedersachsens bietet an seiner Küste einen „Untersuchungsgegenstand“, den zu erhalten und lebensfähig zu halten in besonderem Maße der Forschung bedarf. Im Zusammenspiel der verschiedenen Orte der Meeresforschung in der Bundesrepublik kommt Oldenburg mit seinen partnerschaftlichen Beziehungen zum Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven sowie zur Stadt Wilhelmshaven mit ihrem Tiefwasserhafen eine besondere Bedeutung zu. Es steht zu hoffen, daß die Landesregierung die Oldenburger Meeresforschung und den Ausbau des ICBM durch die Bereitstellung der notwendigen personellen und materiellen Ressourcen weiterhin tatkräftig unterstützt.

Prof. Dr. Michael Daxner
Präsident der Universität Oldenburg

Das Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM)

Die Konzepte für das Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) und das Zentrum für Flachmeer-, Küsten- und Meeresumweltforschung (TERRAMARE) wurden von einer Arbeitsgruppe der Koordinierungskonferenz Meeresforschung/Meerestechnik des Landes Niedersachsen unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Vinken (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) 1986/87 entwickelt. Nach Beantragung des fächerübergreifenden ICBM durch die Universität Oldenburg genehmigte der Niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kunst, Dr. Johann-Tönjes Cassens, dessen Einrichtung am 7. Juli 1987. Gegenwärtig gehören dem ICBM-Kollegium Professor Dr. Ebenhöf (Mathematik), Prof. Dr. Hilf (Physik), Prof. Dr. Höpner (Biochemie), Prof. Dr. Krumbein (Geomikrobiologie), Prof. Dr. Vareschi (Zooökologie) und Prof. Dr. Zeeck (Chemie) an. Im Besetzungsverfahren befinden sich zur Zeit die Professuren für Organische Geochemie (C 4), Theoretische Physik (C 3) und Paläomikrobiologie (C 4). Professuren für Anorganische Geochemie und biologische Rohstoff-Forschung werden folgen. Insgesamt sollen bis 1993 34 Stellen für ICBM und 9 für TERRAMARE geschaffen werden. Etwa 30 der geplanten 43 Stellen sollen nach Ansicht des Kabinetts bis 1993 in den Haushalt des MWK übernommen sein. Laut einem dem Wissenschaftsrat vorgelegten Vorschlag sollen etwa 50 % in Wilhelmshaven, unmittelbar am Nassauhafen nahe „Senckenberg am Meer“ erstellt werden. Das Kabinett hat beschlossen, für die Neubauten 40 Millionen Mark bereitzustellen.

→ 1.)

Das ICBM ist ein interdisziplinär arbeitendes Institut. In seiner Forschung befaßt es sich mit solchen Fragen der Meeresbiologie, der Meereschemie und der Meeresphysik, die disziplinengebundenen Methoden allein nicht zugänglich sind. Die geplanten Forschungsthemen lassen sich in drei Bereiche gliedern:

- Grundlagenforschung und globale Ökologie,
- marine Ökosystemforschung und Umweltforschung,
- marine Technologien und Biotechnologien.

Wir wissen heute, daß die Erde als Leben tragender Planet Parallelen zu einem Organismus aufweist. Dieser Denkanatz - Geophysikologie - hat sich als außerordentlich fruchtbar sowohl für die erdgeschichtliche Betrachtung der Atmosphäre, der Meere und der Gesteinsbildung als auch für das Verständnis der aktuellen Klimaproblematik im Zusammenhang mit den Spurengasen in der Atmosphäre erwiesen. Es ist ein Hauptanliegen des Instituts, zur Untersuchung der biokatalysierten Stoffkreisläufe beizutragen. Zu den aktivsten Schlüsselssystemen für die Stoffkreisläufe gehören die Flachmeere und Küstengebiete, speziell das Wattenmeer und die Ästuarien. Auf diese Flächen konzentriert sich die Forschungsarbeit des gesamten Institutes.

Die Untersuchung der Stoffkreisläufe umfaßt zum einen die Bilanzierung, zum anderen das Studium ihrer Steuerung durch biologische Komponenten, darunter an hervorragender Stelle durch marine Mikro-Organismen. Die Bilanzen sollen für die rezenten und im planetären Maßstab durch den Menschen beeinflussten Zweige der Kreisläufe aufgestellt werden, aber auch für geologische Zeiträume, weil die rezenten Stoff-Flüsse an die fossilen Reservoirs gekoppelt sind. Erst Einsicht in die Wechselbeziehungen mit der gegenwärtigen Biosphäre ermöglicht das Verständnis der aktuellen Prozesse. Die Denomination von zwei der ersten neuen Professuren als *Paläomikrobiologie* und *Organische Geochemie* unterstreicht die Bedeutung, die im ICBM dieser

Verbindung zugemessen wird. Im gleichen Sinne ist es weitschauend, die Erde als „Bioplanet“ mit einem eigenen Stoffwechsel zu betrachten, dessen Untersuchung dann Aufgabe einer „Geophysikologie“ wäre. Dieser Aufgabe stellen sich die Arbeitsgruppen von W.E. Krumbein (Hypersaline Systeme, Paläomikrobiologie; siehe Beiträge in diesem Heft).

Zur Analyse der Stoff-Flüsse in den Meeren, insbesondere für Sedimentationsvorgänge und das Wachsen und Zerfallen kleiner Partikel, sind die physikalischen Mechanismen im Größenbereich zwischen Makromolekülen und Bakterien von zentraler Bedeutung. Dieser Mesoskalenbereich entzieht sich der traditionellen klassischen Beschreibung ebenso wie der quantenmechanischen. Mit der Fraktalphysik und der Physik kleiner Cluster ist für diesen Größenbereich ein Wissenschaftszweig im Entstehen, dem auch die neue Professur für *Theoretische Physik* und die Arbeitsgruppe von E.R. Hilf (Beitrag in diesem Heft, siehe auch EINBLICKE Nr. 6) zuzurechnen ist.

Der zweite große Aufgabenkreis des Institutes ist die Ökosystemforschung. Auch sie trägt zum Verständnis der globalen Stoffkreisläufe bei, richtet ihr Augenmerk aber auf die Struktur und Funktion begrenzter mariner Ökosysteme. Aus Struktur und Funktion sollen Erkenntnisse über Robustheit und Elastizität bzw. Sensitivität der Ökosysteme gewonnen werden. Hier verbindet sich theoretische und praktische ökologische Grundlagenforschung mit angewandter Umweltforschung. Im Vordergrund steht dabei die Konfrontation der südlichen Nordsee und besonders des Wattenmeeres mit dem Nährstoffüberschuß und anderen anthropogenen Einflüssen. An diesem Aufgabenkreis arbeiten die Arbeitsgruppen von Th. Höpner (Ziel: Forschungsvorhaben EUROWATT, Beitrag in diesem Heft), von W. Ebenhöf (Mathematische Modellierung mariner Ökosysteme, siehe auch EINBLICKE Nr. 2), von E. Vareschi (Angewandte Ökosystemforschung) und von E. Zeeck (Signalstoffe mariner Invertebraten; siehe Beitrag in diesem Heft).

In der aquatischen Ökosystemforschung ist erst in den letzten Jahren die herausragende Bedeutung der Mikroorganismen in das allgemeine Bewußtsein getreten. Somit ergeben sich sehr enge Berührungen zur globalen Ökologie, in der die Mikroorganismen ohnehin dominieren. Bei der mathematischen Modellierung ist die wichtigste Aufgabe der nahen Zukunft die Verbindung von Modellen biologischer Prozesse mit den weit ausgereifteren physikalischen Transportmodellen.

Der dritte Forschungsbereich, *marine Technologien* und *Biotechnologien*, wird erst mit den späteren neuen Professuren aufgebaut. Er wird die Forschungsschwerpunkte in Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) und in Clausthal durch biologische Rohstoff- und Lagerstättenforschung ergänzen und nach Möglichkeiten biotechnologischer Gewinnung von Rohstoffen aus dem Meer suchen. Alle drei Bereiche der Forschung im ICBM gehören zu den zukunftssträchtigen Feldern moderner naturwissenschaftlicher Forschung. Durch die enge Verflechtung von Lehre und Forschung an der Universität ist dies zusammen mit dem interdisziplinären Charakter aller Projekte von größtem Nutzen für die Studierenden aller Fächer, insbesondere der Mathematik, Biologie, Physik und Chemie. Der hier dargestellte Teil des breiten Spektrums der Meeresforschung an der Universität Oldenburg wird hoffentlich den entsprechenden Nachhall in der Öffentlichkeit finden.

Prof. Dr. Wolfgang Krumbein
Geschäftsführender Direktor des ICBM

Experimentelle Salzgärten

Von Dieter Giani und Wolfgang E. Krumbein



Ernte in einem bretonischen Salzgarten

Salzgärten - oder Meersalz-Salinen - sind hochinteressante Untersuchungsobjekte der mikrobiellen Ökologie. Die durch kleine Kanäle miteinander verbundenen Eindampfbecken einer Saline besitzen unterschiedliche Salzkonzentrationen von der des Seewassers bis zur konzentrierten Lauge, aus der Kochsalz (NaCl) auskristallisiert. Man findet nicht nur interessante Mikroorganismen und Kleinlebewesen in solchen Becken, sondern auch - an der Sedimentoberfläche - komplexe Mikrobenmatten.

Mikrobenmatten

Mikrobenmatten sind vollständige und sozusagen unabhängige Ökosysteme im kleinen, oft nur wenige Millimeter dick. Sie bestehen aus einem dichten, miteinander verwobenen Verbund von Mikroorganismen, innerhalb dessen Stoffkreisläufe vollständig abgewickelt werden, von der Primärproduktion, also der Kohlendioxid-Fixierung, bis zum Endabbau des organischen Materials zurück zu Kohlendioxid oder Methan. An der Oberfläche solcher Mikrobenmatten finden sich typischerweise Grünalgen und Diatomeen, die hohe Lichtintensitäten für die Photosynthese nutzen können. Unter der Grünalgensicht leben Cyanobakterien (Blualgen), die teilweise andere Wellenlängenbereiche für die Photosynthese nutzen können und mit geringeren Lichtintensitäten auskommen. Sie verwenden also die Algen-schicht oder mitunter ihre eigenen Schleime quasi als Sonnenbrille. Unter der Cyanobakteriensicht, unmittelbar über dem Sediment, findet man gewöhnlich Anoxyphotobakterien. Während bei der Photosynthese von Pflanzen und Cyano-

bakterien Sauerstoff aus Wasser entsteht, entsteht bei der Photosynthese der Anoxyphotobakterien Schwefel oder Schwefelsäure aus Schwefelwasserstoff. Das Sulfat der Schwefelsäure wird von den im reduzierten, schwarzen Sediment angesiedelten Sulfatreduzierern ständig wieder zu Schwefelwasserstoff umgesetzt, gleichzeitig wird organisches Material zu Kohlendioxid oxidiert.

Mikrobenmatten haben infolge der Schichtung photosynthetischer Organismen eine auffällige farbliche Struktur: Oben grün (Grünalgen), braun (Diatomeen) oder rot (durch die Diatomee Rhopalodia oder die Grünalge Dunaliella), darunter blaugrün (Cyanobakterien) und darunter wieder purpurrot bis rosa, manchmal tiefgrün (Anoxyphotobakterien). Natürlich sind auch viele andere, weniger augenfällige Mikroorganismengruppen beteiligt, die etwa dafür sorgen, daß der untere Abschnitt einer solchen Mikrobenmatte reduziert ist, oder daß totes organisches Material und Stoffwechselprodukte umgesetzt werden, so daß die Sulfatreduzierer sie verwerten können. Viele - auch der photosynthetischen - Mikroorganismen sind beweglich, es gibt Mikrozonierungen, und eine Mikrobenmatte ist trotz des strukturierten Aufbaus ein ganz dynamisches Gebilde, vergleichbar einem Dschungel mit seinem Tag- und Nachtleben.

Heute treten Mikrobenmatten besonders dort hervor, wo es anderen Lebewesen zu unwirtlich ist: Hypersaline Seen und Salinenbecken oder heiße Quellen sind hervorragende Standorte, aber sie siedeln auch in Gletschereis. Man weiß, daß Mikrobenmatten vor Jahrmilliarden die ganze Erde beherrschten, daß in ihnen die oxygene Photosynthese erfunden wurde und von hier

aus die Atmosphäre mit Sauerstoff aufgefüllt wurde. Dies ist einer der Gründe, warum man sie heute intensiv untersucht. Ein anderer Grund ist, daß sie als Modell für andere Ökosysteme gelten können und somit einfach zu handhabende Systeme der vergleichenden Ökologie darstellen, ein dritter, daß man hier Mikroorganismen mit bisher unbekanntem Stoffwechseleigenschaften finden kann. Die Reihe läßt sich fortsetzen. Aber auch kommerziell interessante Gesichtspunkte gibt es. Mikrobenmatten haben eine extrem hohe Primärproduktionsrate, Licht wird also extrem effektiv zur Biomasseproduktion ausgenutzt. Außerdem werden in Mikrobenmatten interessante Rohstoffe gebildet. An der Universität Bonn wurde z.B. vor einiger Zeit eine bis dahin noch ganz unbekannte Substanz aus einem hypersalinen Anoxyphotobakterium isoliert, die osmoregulatorische Wirkung hat und die man vielleicht zur Enzymstabilisation einsetzen könnte. Weiterhin könnte man Mikrobenmatten ohne aufwendige Technologie in Entwicklungsländern kultivieren, in denen Sonne, Land und Meerwasser zur Verfügung steht, und noch dazu könnte man sie sehr billig, einfach durch Abschaben, ernten. Schließlich haben wir zeigen können, daß die wichtigsten Lagerstätten von Uran, Gold, Silber, Eisen und Phosphat durch Mikrobenmatten angereichert wurden.

Eine Saline im Labor

Hypersaline Seen und Salinen findet man nur in klimatisch begünstigten Regionen - weit entfernt von Oldenburg. Die nördlichst gelegenen Salinen Europas, in denen noch heute Salz geerntet wird, bilden die Salzgartenlandschaft bei La Baule in der Bretagne. Wenngleich diese Salinen nur drei bis vier Monate im Jahr zur Salzgewinnung verwendet werden können und nur dann hohe Salzgehalte in den Eindampfbecken erzielt werden, bilden sich jeden Sommer an der Sedimentoberfläche der Becken ausgeprägte Mikrobenmatten. Wir haben diese Salinen vor Ort mikrobiologisch untersucht, aber auch von Anfang an die Idee gehabt, sie ins Labor zu holen. Eine Saline im Labor erspart teure, wenn auch reizvolle Reisen in die Bretagne, und natürlich gibt es im Labor viel bessere Untersuchungsmöglichkeiten als im Feld.

Tatsächlich gelang es, in einem klimaregelten Brutraum eine solche Laborsaline zu installieren. Diese Saline läuft jetzt fast zwei Jahre unter Klimabedingungen, wie sie an einem typischen Sommertag in der Bretagne herrschen, und es haben sich Mikrobenmatten von bis zu zehn Millimeter Dicke entwickelt. Der Organismenbestand ist typisch und entspricht weitgehend dem der Mikrobenmatten der Salzgärten in der Bretagne. Auch die Ionenzusammensetzung in den verschiedenen Eindampfbecken ist mit der in den großen Salinen vergleichbar. Aber nicht nur die natürlichen Verhältnisse lassen sich nachahmen: Durch Veränderung beispielsweise der Lichtbedingungen lassen sich stabile Mikrobenmatten anderen Aufbaus erzeugen, in denen ursprünglich nur schwach vertretene Organismen sich zur Reife und Fülle entwickeln.

Unser „experimenteller Salzgarten“ ist mikrobiologisch gesehen eine spezielle Weiterentwicklung der berühmten Winogradski-Säule. Eine Winogradski-Säule stellt man her, indem man Sediment einige Zentimeter hoch in einen Glaszylinder füllt und mit Wasser überschichtet. Durch Zusatz von Nährstoffen zum Sediment und durch die Verwendung von Lichtfiltern läßt sich das System modifizieren. Im Endeffekt stellen sich verschiedene Gradienten, u.a. in bezug auf Sauerstoffkonzentration, Schwefelwasserstoffkonzentration und Lichtverteilung ein, die zur Anreicherung bestimmter Bakterien in „Platten“ in bestimmtem Abstand vom Sediment führen.



Mikrobenmatten aus der Laborsaline unter dem Mikroskop. Oben: Das Cyanobakterium *Merismopedia elegans* zwischen fädigen Arten der „LPP“-Gruppe. Mitte: Das Cyanobakterium *Johannesbaptistia*, umgeben von *Aphanothece cohenii*. Unten: Cyanobakterien der Gattung *Spirulina* zwischen bisher kaum bekannten hypersalinen Anoxyphotobakterien der Gattung *Chloroflexus*.

Die Laborsaline - unseres Wissens die erste größere Mikrobenmattenkultur im Labor - hat sich zu einer kleinen Attraktion für ökologisch orientierte Mikrobiologen entwickelt und Proben aus dieser Saline werden inzwischen in verschiedenen Labors außer-

halb Oldenburgs untersucht. So versucht man, an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover über die Bestimmung des C^{12}/C^{13} Verhältnisses der verschiedenen Mattenschichten und der in den Matten gebildeten Gase Aufschluß über das Zustandekommen der C^{12}/C^{13} Verhältnisse von Gasen in Salzlagerstätten zu gewinnen oder sucht an der Universität Bonn nach neuen osmoregulatorischen Substanzen. Am Biology Dept. des Wheaton College untersucht man die Iridiumanreicherung und in Boston wird unser System mittlerweile kopiert.

Sumpfgas im Salzgarten

Noch niemand hat Irrlichter in Salinen gesehen. Trotzdem entsteht auch hier das als Sumpfgas bekannte, nach Gewittern Irrlichter erzeugende Methan. Bis vor kurzem hatte das niemand vermutet: Methanbakterien und Sulfatreduzierer setzen die gleichen Stoffe um. Da die Sulfatreduzierer diese Stoffe effektiver nutzen können, sollten sich die Methanbakterien nur dort durchsetzen können, wo es kein Sulfat gibt, also in Süßwassersedimenten und Mooren. Tatsächlich findet man in sulfatreichen marinen Sedimenten auch kaum Methan.

Anders ist es in hypersalinen Sedimenten. In bestimmten Eindampfbecken der Salinen in der Bretagne wurden Methanbildungsraten gemessen, die 100-fach höher waren als die typischer mariner Sedimente. Die Ursache dafür sind Nährstoffe, die zwar von Methanbakterien, nicht aber von Sulfatreduzierern genutzt werden können und nur in hypersalinen Biotopen in entsprechendem Umfang vorkommen: Methylamine und Dimethylsulfid, Abbauprodukte osmoregulatorischer Substanzen, die das Zusammenschrumpfen der Organismen in hohen Salinitäten verhindern. Dies ist nicht nur für die Grundlagenforschung interessant: Vielleicht liegt hier die Grundlage für eine marine Biogastechnologie.

Auch dieser Prozeß läßt sich an der Oldenburger Laborsaline studieren, wenngleich bei weitem nicht die Methanbildungsraten der großen Salinenbecken in der Bretagne erreicht werden. Aber Fragen wie die, welche Organismen das Methan bilden, ob es weitere Nährstoffe gibt, die zu Methan umgesetzt werden, oder wieviel des gebildeten Methans in den Mikrobenmatten wieder oxidiert werden kann, ehe es in die Atmosphäre diffundiert, konnten auch an der Laborsaline untersucht werden.

Perspektiven

Weit über 90 Prozent der Mikroorganismen wachsen in der Natur sessil auf Oberflächen. Im mikrobiologischen Labor ist es meist umgekehrt: Bevorzugt werden Organismen kultiviert, die homogen in der Nährlösung verteilt wachsen. Tatsächlich bereitet es große Schwierigkeiten, etwa Wachstumsrate oder Proteingehalt von Kulturen zu erfassen, die an der Wand des Kulturgefäßes kleben. Organismen, die am Aufbau von Mikrobenmatten beteiligt sind, leben zudem in einem Milieu wechselnder physikochemischer Gradienten: Zeitweise ist Sauerstoff vorhanden, zeitweise ist ihre Umgebung reduziert und enthält Schwefelwasserstoff. Oder Salinitätsschwankungen führen zur Ausscheidung bestimmter Stoffwechselprodukte. Manche Organismen setzen sich vermutlich nur deshalb durch, weil sie gerade in ihrer Anpassungsfähigkeit an diese Schwankungen anderen Mikroorganismen überlegen sind. Es ist dann natürlich sehr schwierig, solche Organismen in Reinkultur zu bringen und damit der mikrobiologischen Untersuchung zugänglich zu machen.

Bisher gibt es nur wenige Methoden zur Untersuchung mattenbildender Mikroorganismen. Ein vielversprechender methodischer Ansatz ist die Verwendung von Mikroelektronen zur O_2 -, pH-, Eh- und Sulfidmessung und Mikrolichtsensoren lassen sich bestimmte Stoffwechselleistungen, Eigenschaften und wirksame Milieuparameter für bereits kleine Anhäufungen bestimmter Mikroorganismen in ihrer natürlichen Umgebung, im Ökosystemzusammenhang untersuchen. Die Kultivierung von Mikrobenmatten im Labor - unter definierten Bedingungen, die zu reproduzierbaren Mattensystemen führt - ist ein weiterer Fortschritt, der die sinnvolle Anwendung solcher Techniken erleichtert und der es zudem erlaubt, Organismen, die man noch nicht isoliert kultivieren kann, anzureichern und so für Analysen zur Verfügung zu stellen.

Dennoch hoffen wir langfristig darauf, daß die Landesregierung und das BMFT uns nicht nur größere Salzgärten in Wilhelmshaven und Oldenburg ermöglicht, sondern auch eine Dauerstation in den nördlichsten Salinen der Welt. Hier können Grundlagen der marinen Biotechnologie vor Ort studiert werden, die in Niedersachsen noch fehlen.

Veröffentlichungen aus dem Zentrum für pädagogische Berufspraxis der Universität Oldenburg

Oldenburger Vordrucke

Mit dieser Reihe nimmt das ZpB die angelsächsische Tradition der "pre-Prints" auf. Unregelmäßig erscheinend, unaufwendig produziert und zum Selbstkostenpreis vertrieben, werden geeignete Texte zur Diskussion gestellt, bevor sie in anderer, endgültiger Form zu veröffentlichen sind.

Eine Auswahl bisher erschienener Hefte:

- | | |
|---|--|
| 1/87 M. Korol u.a.: Die Vierzigjährigen - die neuen Machthaber. 37 S., DM 3,- | 6/87 D. Fröhlich: Spiele im mathematischen Anfangsunterricht. 36 S., DM 3,- |
| 3/87 M. Korol: Jugendliche heute und neue Boheme. 22 S., DM 2,- | 7/87 H. Hasler: Rechtschreibung - aus Fehlern lernen. 20 S., DM 2,- |
| 5/87 W. Engelhardt: Denk mal - Spiel mal. Spiel mal: Denkmal. Elemente aus Augusto Boals "Theater der Unterdrückten" - für den Unterricht aufbereitet. 41 S., DM 3,- | 8/87 W. Fichten/W. Jank/H. Meyer: Unterrichtsmethoden. Scripte zu den Veranstaltungen in der Pädagogischen Woche '87. Ca. 50 S., DM 4,- |

Vertrieb: Universität Oldenburg - Zentrum für pädagogische Berufspraxis
Postfach 2503, 2900 Oldenburg (Vorausscheck + DM 4,- Versandkosten)

Das Wattsediment als biokatalytisch aktives Reaktionsmedium

Von Thomas Höpner

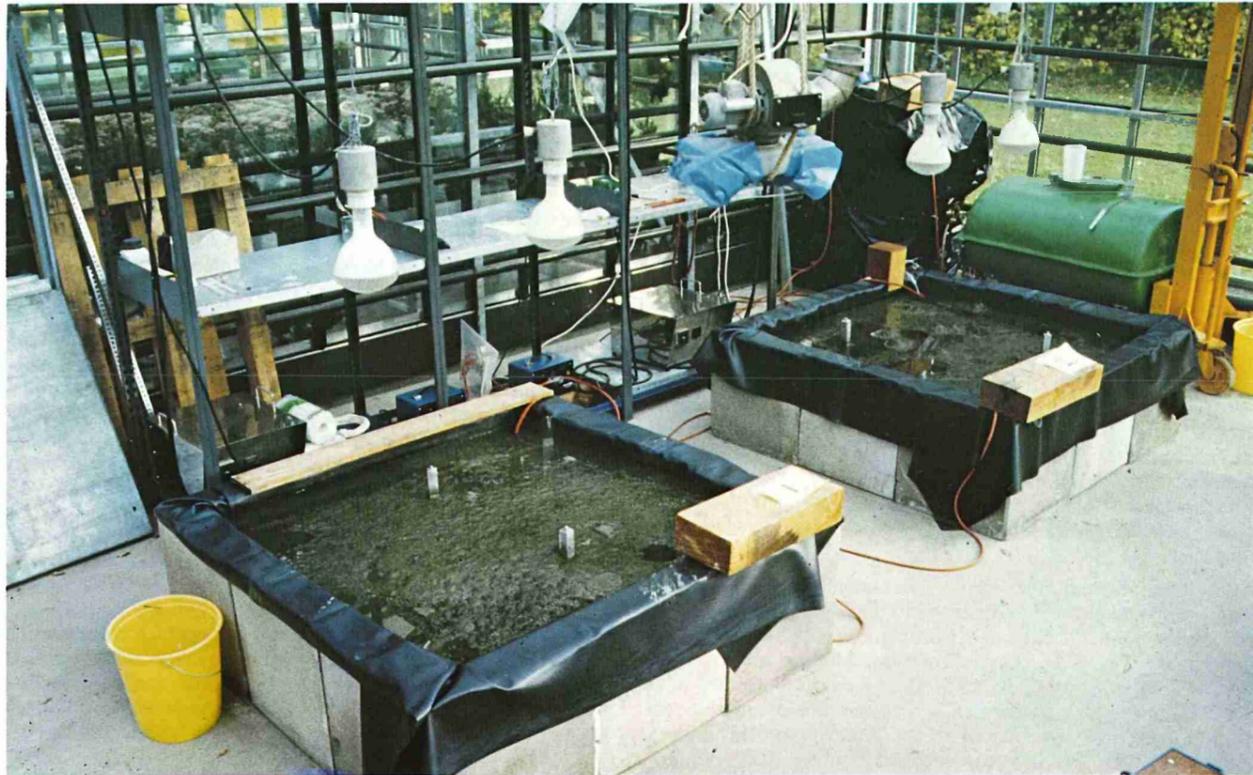


Abb. 1: „Kunswattflächen“ (Wattmodelle) im Glashaus-Labor A 245 auf dem Gelände des naturwissenschaftlichen Universitätsbereichs Wechloy. Im Regal: Schaltuhren, Tidewasserpumpen. Tidewasservorratstank (rechts hinten, ca. 300 l) gegen Algenwuchs mit schwarzer Folie bedeckt.

Ausgehend von der Mitarbeit an dem Forschungsprogramm des Bundes über Vorsorge und Bekämpfung von Öltankerunfällen auf See hat sich die ICBM-Arbeitsgruppe Biochemie in den letzten Jahren grundsätzlichen Fragen der Kreisläufe des Kohlenstoffs und des Stickstoffs im Wattenmeer zugewandt. Aus der leidvollen Erfahrung, daß Freilandarbeiten im Watt sehr personalintensiv und gemessen am Aufwand beschränkt effektiv sind, ergab sich die Suche nach einem Konzept, das Laborexperimente, Benutzung von Kunswattflächen (Wattmodelle) und Freilandkontrollen in angemessener Weise kombiniert. Biologisch-chemische Aspekte erwiesen sich als wertvolle Bereicherung für das Verständnis der Funktionen des Wattenmeeres neben den herkömmlichen biologischen Studien. In diesem Bericht wird versucht, dies einer mit chemischen Grundlagen weniger vertrauten Universitätsöffentlichkeit zu vermitteln.

Wattflächen im Labor

Kann man ein kleines Stück Wattfläche, sagen wir zwei Quadratmeter, aus dem Wattenmeer holen, in einer Halle aufstellen, mit Seewasservorrat, Zeituhr und Pumpe Ebbe und Flut einhalten,

und darf man erwarten, daß dieses Modell dann auch ein Stück Wattbiologie ist und bleibt? Da kommen berechnete Zweifel: steht doch das Wattenmeer in beständigem Austausch mit der Nordsee, wird mit Nährstoffen, abbaubarer Biomasse und mit Larven versorgt, gibt Abbauprodukte an das Seewasser zurück. Das Experiment ist dennoch im Juni 1985 in dem Glashaus-Labor des Standorts Wechloy gestartet worden, und noch heute können wir dem Besucher biologisch aktive Wattflächen zeigen, noch heute dienen sie als zuverlässige Quelle mikrobiologisch aktiver Sedimentproben für biologisch-chemische Laborversuche (Abb. 1).

Die Diskussion, warum und unter welchen Bedingungen dies gelingt, führt uns gerade so weit in das Verständnis der biologischen und chemischen Funktionen der Wattflächen, wie als Grundinformation für diesen Bericht nötig ist.

Die Wattflächen leben von Biomasse, die im Wattsediment durch das „Benthos“, die Makro-, Meio- und Mikroorganismen, abgebaut wird. Diese drei Gruppen sind zunächst nur durch ihre Größe definiert: das Makrobenthos über 1 mm, das Meiobenthos zwischen 1 mm und ca. 100 µm, und darunter das Mikrobenthos.

FÜR BIOLOGIE UND MEDIZIN: AXIOVERT PLUS ICS-OPTIK.

DIE NEUE GENERATION INVERSER MIKROSKOPE. VON CARL ZEISS.

Ob Sie Routineuntersuchungen oder Forschungsprojekte in Biologie, Zellbiologie oder Medizin durchführen – die inversen Mikroskope *Axiobert* machen Kompromisse überflüssig.

Die ICS-Optik (Infinity Color-Corrected System) mit extrem großem Arbeitsabstand gewährleistet Bilder hoher Güte, kontrastreich und farbgetreu.

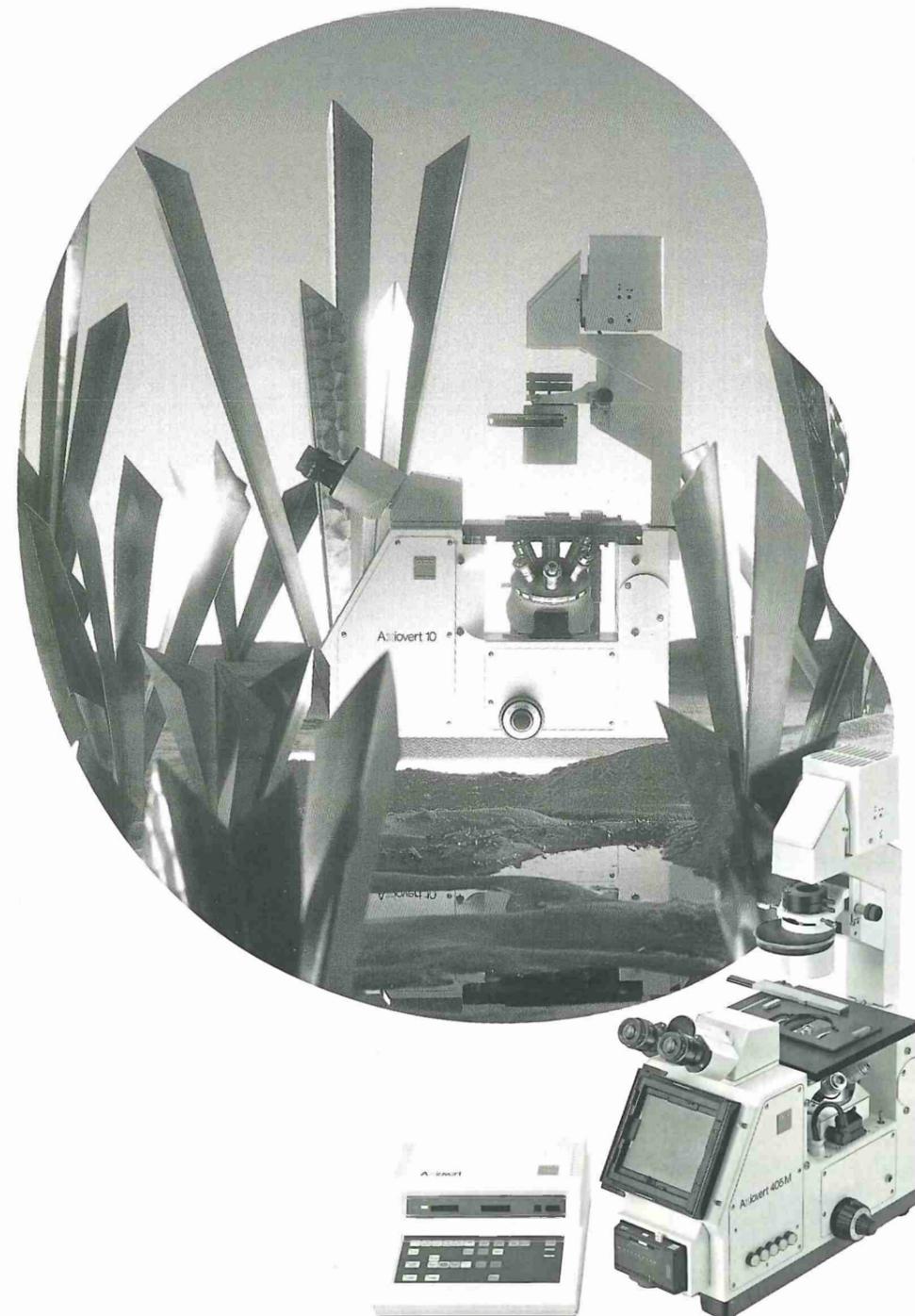
Alle Kontrastierungsverfahren sind durch die SI-Bauweise (System-Integration) in das Mikroskop integriert. Zusatzeinrichtungen, beispielsweise für die Mikroinjektion, machen die inversen Mikroskope *Axiobert* zu kompletten Arbeitsstationen.

Die Dokumentation erfolgt durch Kleinbild-, Großbild- und Sofortbild-Photographie, vom inversen Mikroskop *Axiobert 10* mit der Mikroskopkamera MC 100 bis zum komfortablen inversen Photomikroskop *Axiobert 405 M*.

Ergonomisch günstige Konstruktion gewährleistet ermüdungsfreies Mikroskopieren. Die von Carl Zeiss entwickelte, patentierte 3-Punkt-Auflage des Tisches sichert höchste Stabilität.

Carl Zeiss
Geschäftsbereich Mikroskopie
D-7082 Oberkochen

Die Inversen
von Zeiss:
Die neue Geometrie
für Mikroskope.



Repräsentanten der ersten Gruppe sind Würmer, Muscheln und Kleinkrebse, der zweiten die Nematoden, der dritten die Mikroorganismen. Unter den Makrobenthos-Organismen unterscheiden wir zwischen den Filtrierern, die ihre Nahrung aus dem Seewasser holen, und den Sedimentfressern, die von dem meio- und mikrobiologischen Aufwuchs auf den Sedimentpartikeln leben. Nahrungsquelle ist, was mit dem Tidewasser als lebende (Plankton) und tote (Detritus) Biomasse auf die Wattflächen transportiert wird. Demnach wären die Wattmodelle in der Halle ein verzweigtes Unternehmen, aus dem Ökosystem herausgeschnitten und abgeschnitten von der lebenserhaltenden Biomasse-Zufuhr.

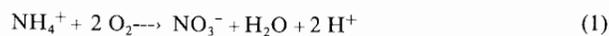
Nahrungsquelle ist aber auch das Epiphytobenthos, der Rasen einzelliger Algen (vor allem Kieselalgen, Diatomeen) und photosynthetisierender Bakterien auf der Wattoberfläche. Der Wattwanderer und Betrachter der Wattmodelle erkennt den braun-grünen fleckenhaften Belag, der wie jede Pflanzengesellschaft lichtabhängig ist. Es gibt Primärproduktion auf der Wattoberfläche. Betrachten wir ein Wattflächen-Element, so hat es eine externe (Plankton und Detritus) und eine interne (Epiphytobenthos) Nahrungsquelle. Sorgen wir dafür, daß das Epiphytobenthos die nötigen Voraussetzungen hat (und dem dient zum Beispiel die Zusatzbeleuchtung der Wattmodelle in der lichtarmen Winterzeit), dann gelingt es, die Möglichkeit der zumindest relativ langzeitlichen Autarkie eines solchen Wattflächen-Elements zu demonstrieren. Dies ist die Lehre, die die Wattmodelle vermitteln. Wenn wir, wie jetzt geschehen, ein Jahr lang das Tidewasser der Wattmodelle nicht erneuern (nur den Verdunstungsverlust mit destilliertem Wasser ausgleichen), dann können die Lebenszyklen ihrer Bewohner und deren Stoffwechsel nur auf Kreisprozessen beruhen.

Kreisprozesse der biologischen Chemie des Watts

Zum Zweck einer Betrachtung dieser Kreisprozesse geben wir der phytoplanktischen und epiphytobenthischen Biomasse und dem Detritus modellhaft die chemische Zusammensetzung

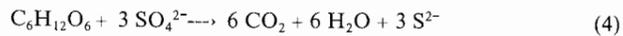
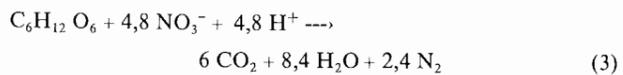
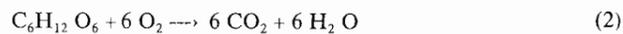


in Anlehnung an die Zusammensetzung von Algen-Biomasse. Sie wird durch die Wühlätigkeit (Bioturbation) des Makrobenthos und durch physikalische Wirkungen innerhalb der oberen ca. 30 cm des Wattsediments verteilt, also sowohl in der oberen aeroben, mit Sauerstoff versorgten, wie der darunter liegenden anaeroben Grenzschicht und der tieferen anaeroben Schicht (in der es keinen Sauerstoff gibt). Unter Bedingungen schlackigen Mischwatts (so in den 40 cm tiefen Wattmodellen) hat die aerobe Schicht ca. 3 cm, die Grenzschicht ca. 1 cm Dicke. Ein biologisch-chemischer Abbau ist in allen drei Schichten möglich. Dabei wird der Stickstoff (N) als Ammonium (NH₄⁺), der Phosphor (P) als Phosphat (HPO₄²⁻) frei (Mineralisierung), Ammonium kann in der Grenzschicht zu Nitrat (NO₃⁻) oxidiert werden (Nitrifikation):



Phosphat, Ammonium und Nitrat sind im Porenwasser des Sediments nachweisbar und diffundieren aus dem Sediment in das Tidewasser. Aus dem Poren- und Tidewasser heraus befriedigen sie den Nährstoffbedarf des Epiphytobenthos. So ist der Nährstoffkreislauf geschlossen.

Der Kohlenstoffanteil der Biomasse liegt als (CH₂O) vor, das ist ein Symbol für Kohlenhydrate (Zucker), als deren Prototyp wir für die weitere Diskussion Glukose, C₆H₁₂O₆, wählen. Die Glukose wird zu Kohlendioxid, CO₂, oxidiert, und das CO₂ kann in die Atmosphäre entweichen. Als Oxidationsmittel können, je nach betrachteter Sedimentschicht, Sauerstoff (O₂), Nitrat (NO₃⁻) und Sulfat (SO₄²⁻) dienen, wobei an Sulfat zunächst kein Mangel ist, weil es zu den wesentlichen Bestandteilen des Seewassers gehört. Die Redaktionsgleichungen:



Alle drei Reaktionen liefern Energie, die für die Aufrechterhaltung der Lebens- und Stoffzyklen nötig ist, am meisten Reaktion (2), als Lebensgrundlage der aerob-heterotrophen Mikroorganismen des Wasserkörpers und des aeroben Sediments. Kaum weniger Energie liefert Reaktion (3), aber das Seewasser enthält sehr wenig, im Sommer zeitweise kein Nitrat. Voraussetzung ist deshalb Reaktion (1), ihrerseits eine energieliefernde Reaktion. Weil Reaktion (1) aber sauerstoffabhängig ist, während Reaktion (3) durch Sauerstoff gehemmt wird, kann letztere nur in der sehr dünnen Grenzschicht ablaufen. Reaktion (4) liefert Sulfid (Schwefelwasserstoff). Wegen des Eisengehalts der Sedimente gibt es sich durch Schwarzfärbung (schwarzes Eisensulfid) zu erkennen, aber es bedarf nur der kleinen Mühe, ein wenig zu buddeln und sich das schwarze Sediment unter die Nase zu halten: der Geruch nach Schwefelwasserstoff ist auch ohne chemische Analyse unverkennbar. An das Sulfid schließt sich eine ganze Kaskade von Schwefel-Biochemie an, darunter auch die Oxidation zu elementarem Schwefel und zu Sulfat, Lebensgrundlage einer Schwefelbakterien-Gemeinschaft (Sulfuretum).

Den Kohlenstoff-Kreislauf schließt das Epiphytobenthos: Es fixiert Kohlendioxid mit der Photosynthese und baut ihn in die Biomasse ein.

Die Abb. 3, eines der Informationsposter für die ICBM- und TERRAMARE-Begutachtung durch den Wissenschaftsrat, symbolisiert den im Sediment verlaufenden Teil der Stoffkreisläufe zusammen mit typischen Ergebnissen von Laborversuchen über Mineralisierung im Sediment.

Chemische Indikatoren für biologische Aktivität

Das Watt lebt, wenn die Kreisprozesse laufen, und um die Kreisprozesse am Laufen zu halten, muß jede Organismengruppe ihre Funktionen erfüllen. Welche Kriterien legt der Chemiker an, um biologische Aktivität des Wattsediments zu beurteilen? Er kann an der Wattoberfläche messen, was in das Sediment hineindiffundiert (Influx, z.B. von Sauerstoff) und was herausdiffundiert (Efflux, z.B. Ammonium, Nitrat, Phosphat). Die direkte Messung ist nicht ganz einfach. Einfacher ist die Messung von Tiefenprofilen der Konzentrationen: wie ändert sich die Konzentration eines Stoffes mit zunehmender Tiefe (Konzentrationsgradient). Dazu ist in Oldenburg ein „Diffusionsprobenehmer“ entwickelt worden, der allerdings nur denjenigen Anteil des gesuchten Stoff-

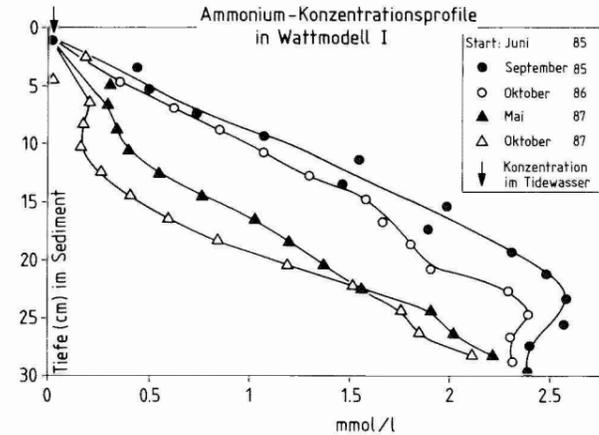


Abb. 2: Ammonium-Konzentrationsgradienten. 1 mmol Ammonium pro Liter sind 18 mg/l. Beachte die Anreicherung im Porenwasser gegenüber dem Tidewasser, dessen Ammoniumkonzentration links oben durch einen Pfeil dargestellt ist.

es erfaßt, der im Porenwasser gelöst ist. Mit dieser Methode sind Konzentrationsgradienten in den Wattmodellen zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen worden (Ammonium, Abb. 2). Man erkennt eine Zunahme der Konzentration mit zunehmender Tiefe. Nach dem Aufbau der Wattmodelle waren die Konzentrationen am höchsten, weil etliche tote Biomasse vorhanden war, die erst abgebaut werden mußte. Danach streben die Gradienten offensichtlich einer Endwert-Kurve zu.

Wieso überhaupt Konzentrationsunterschiede? Ohne „Leben“ würden sich diese in kurzer Zeit durch Diffusion ausgleichen. Die Existenz der Gradienten ist der Indikator für das Funktionieren der Stoffkreisläufe. Aus der Neigung der Kurven im oberen Bereich läßt sich der Ammonium-Efflux errechnen. Ihm muß ein ebenso großer Influx von Stickstoff entsprechen, in Form von Stickstoffgehalt der Epiphytobenthos-Biomasse oder von Nitrat des Tidewassers. So erhalten wir Daten für die Leistungen der Kreisprozesse. Unser Kriterium für die Naturnähe der Wattmodelle ist die Ähnlichkeit der Gradienten mit den in der Natur gefundenen, hier auf der Arbeitsfläche im Jadebusen, von der wir den Schlick mitsamt all seiner Biologie im Juni 1985 geholt hatten.

Nicht nur im Wattmodell, auch in der Natur ist das Epiphytobenthos fleckenhaft über die Wattoberfläche verteilt. Also verteilen sich die Voraussetzungen für Epiphytobenthos-Wachstum nicht gleichmäßig über die Wattoberfläche. Unter den vielen Voraussetzungen ist das Nährstoffangebot, hier das Angebot von Stickstoff und Phosphor, die naheliegendste. Also haben wir versucht, eine Beziehung zu finden zwischen der Verteilung des Nährstoff-Efflux und der Verteilung der Photosyntheseleistung der Diatomeen über die Wattoberfläche. Allerdings war es nicht einfach der Efflux von Ammonium (N) und Phosphat (P, beide in Menge pro Zeit- und Flächeneinheit), der die Diatomeenverteilung bestimmte, vielmehr fanden die Diatomeen dort die Wachstums-Voraussetzungen, wo das Mengenverhältnis zwischen N und P ihrem Bedürfnis entsprach. Dieses Mengenverhältnis ließ sich aus der Summenformel (0) ableiten: zwar nicht N/P = 16/1 (Mol pro Mol), aber etwa 12/1. Damit war eine Beziehung zwischen der Leistung eines Stoffkreislaufs und einer biologischen Erscheinung gefunden, zugleich auch eine Erklärung für die Fleckenhaftigkeit (patchiness) der Besiedlung der Wattoberfläche mit Diatomeen. Diatomeen wurden so umgekehrt zum Indikator für biologisch-chemische Stoffumsatzleistungen im Sediment.

Beziehung zu Umweltproblemen

Das jetzt bewilligte 4jährige BMFT-Vorhaben „Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt intertidaler Wattflächen“ soll eine großflächige Abschätzung von Mineralisierungsleistungen ermöglichen. Der Vergleich mit einer Kläranlage bietet sich an, will man die Notwendigkeit einer solchen Quantifizierung erläutern. Eine Kläranlage ist eine effektive Mineralisierungsanlage für Abwasser. Nordseewasser ist nicht mit Abwasser vergleichbar, aber unter den Umweltproblemen der Nordsee ist die Eutrophierung das am besten dokumentierte und das alarmierendste. Überversorgung mit Nährstoffen aus den Flüssen und aus der Atmosphäre setzt einen Prozeß von Biomassebildung und sauerstoffzehrendem Biomasseabbau in Gang, der die Mineralisierungsleistung des Wattenmeers in steigendem Maße herausfordert. Wir wissen noch nicht, wie groß der Anteil der Wattflächen an der gesamten Mineralisierungsleistung des Küstenwasserkörpers ist und wie weit er belastbar ist. Wattmodell- und Laborversuche sind zusammen mit Freilandmessungen eine Möglichkeit, darüber Informationen zu erhalten.

Dabei rückt die bisher nicht diskutierte Reaktionsgleichung (3) in den Mittelpunkt. Sie koppelt den Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen an die Umwandlung von Nitrat in gasförmigen Stickstoff (Denitrifizierung), der in die Atmosphäre entweicht. Dies ist der einzige Prozeß, der Stickstoff aus dem Ökosystem Wattenmeer entfernen kann. Alle anderen Teilreaktionen des Stickstoffkreislaufs wandeln nur Stickstoffverbindungen ineinander um, lassen aber den Stickstoff im System. Bisher weiß man wenig über Bedingungen und Leistungen der (in der Bodenkunde viel besser untersucht) Denitrifizierung, aber daß

Wattsediment als biokatalytisches Reaktionsmedium

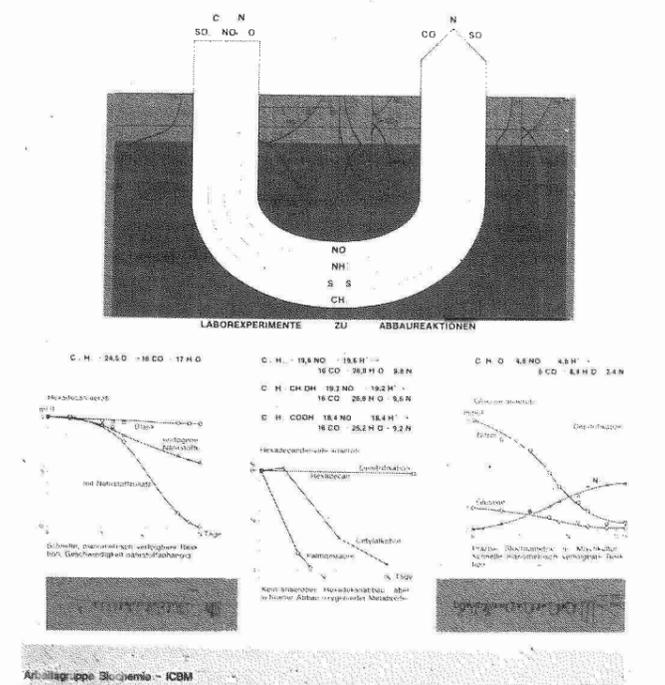


Abb. 3: Informations-Poster für die Wissenschaftsrats-Begutachtung.



Abb. 4: Aluminium-Arbeitsbrücke für Watt-Experimente. Spannweite 5 m. Die zusammengeklappte Brücke kann auf den beiden schwimmfähigen Watschlitten hinter einem Boot zum Einsatzort geschleppt werden.

ihre Rolle nicht vernachlässigt werden darf, zeigen Versuche der Erfassung des Stickstoffhaushalts von Wattflächen, in denen die Denitrifizierung als Bilanzlücke auftritt.

Ort der Denitrifizierung kann nur die Übergangszone zwischen aerober und anaerober Watschicht sein, so daß das Sedimentvolumen, in dem die Reaktion stattfindet, klein ist. Dies macht die experimentelle Untersuchung schwer. Der Lösungsansatz ist, zeitlich hintereinander zu schalten, was im Ökosystem örtlich übereinander in Stockwerken abläuft: Zuerst bzw. oben wird organischer Kohlenstoff auf Kosten von Sauerstoff mineralisiert. Danach bzw. darunter beginnt der Abbau auf Kosten von Nitrat, bis dieses verbraucht ist. Und danach bzw. darunter setzt die Sulfatreduktion ein. Während dieses zeitlichen Ablaufs ändern sich die Reaktionsbedingungen, und das läßt sich mit den Reaktionsbedingungen in den Stockwerken vergleichen. Die Denitrifizierung gemäß Reaktionsgleichung (3) läßt sich im Laborversuch gut verifizieren, und die Mengenverhältnisse (Stöchiometrie) der Gleichung werden recht exakt eingehalten, obwohl das Labor-Sedimentsystem nur eine nicht charakterisierte Bakterien-Mischkultur ist. Das linke untere Diagramm der Abb. 3 deutet dies an.

Die Arbeitsgruppe Biochemie hat ihre biologisch-chemischen Sedimenterfahrungen durch Mitarbeit an dem Ölunfall-Bekämpfungsprogramm des Bundes gewonnen, wo ihr die Aufgabe des Studiums des Kohlenwasserstoffabbaus im Wattediment zufiel. Auch hier handelt es sich um Mineralisierung. In Freiland- und Laborversuchen ist der aerobe (sauerstoffabhängige) und anaerobe (nitratabhängige) Abbau geprüft worden aus der Erkenntnis heraus, daß keine noch so gute technische Kampagne nach einem Tankerunfall alles Öl entfernen kann, schon gar nicht im Watt. Die Kenntnis des biologischen Abbaus der Restmengen und, wenn möglich, seine Förderung, muß deshalb Bestandteil einer Sanierungsstrategie sein. Da mußte aber demonstriert werden, daß ein Abbau in den anaeroben Schichten wegen grundsätzlicher biochemischer Prinzipien nicht erwartet werden kann und daß deshalb der Sauerstoff-Versorgung des verschmutzten Sediments eine Schlüsselrolle zukommt. Das mittlere und das rechte Diagramm der Abb. 3 deuten dies an. Zu den Lerneffekten gehörte, daß Kohlenwasserstoffe gute Modellsubstanzen für Mineralisierungsexperimente sind.

Aber es gibt auch ein positives Ergebnis: Im Sediment wird Öl 100- bis 1000fach schneller biologisch abgebaut als wenn es im Seewasser gelöst oder emulgiert vorliegt. Der Grund ist die Adsorption an die Sedimentpartikel und die damit enorm vergrößerte Oberfläche.

Die Abb. 4 schließlich soll einen Eindruck davon vermitteln, daß man den Methoden der Freilandarbeit einige Aufmerksamkeit widmen muß: Die Forschergruppe kann kaum anders als ihr Versuchsfeld zu zerstören, kommt sie nicht auf Ideen wie der dargestellten Arbeitsbrücke. Das Bild zeigt sehr eindrücklich, wie weitgehend die Umgebung einer Versuchsfläche unbrauchbar wird, während der von der (auf den beiden Watschlitten beweglichen) Brücke überspannte fast 5 m breite Streifen ungestört ist.

Schlußbemerkung

Die biologisch besiedelten Schichten des Wattediments können als biokatalytisch aktives Reaktionsmedium verstanden werden, die den Biochemiker herausfordern. Die Versuchung, sich dieses Medium in das Labor zu holen und dort die biologischen Reaktionen zu verfolgen, liegt nahe. Ihr nachzugeben, ist solange legitim, wie die Bearbeiter kontrollieren, ob ihre Laborbedingungen den - allerdings ständig wechselnden - Freilandbedingungen entsprechen. Die Wattmodelle sind ein Verbindungsglied zwischen Labor- und Freilandsituation mit dem gewissen Vorteil, daß die Schwankungen der „Umwelt“-bedingungen sehr viel kleiner sind.

Was auch immer bei der Untersuchung ausgewählter Wattflächentypen herauskommt, die Hochrechnung der Ergebnisse auf die Gesamtheit der Wattflächen wird mit zunehmendem Verständnis der Dynamik des Watts immer problematischer. Je mehr biologische und sedimentologische Bestandsaufnahmen von Wattgebieten bekannt werden, desto deutlicher werden die Funktion der Entmischung, die biologische Inhomogenität und die deterministische Entwicklung der „Mosaiksteine“, aus denen dieses Ökosystem zusammensetzt. Beim Arbeiten im Maßstab des Laborbiochemikers muß die Gesamtheit des Systems ebenso wie die Individualität seiner kleinsten Flächen- und Volumenelemente im Blickfeld bleiben. Nur so kann sich der Biochemiker in ökosystemare Zielsetzungen einfügen, denen ein Teil der Arbeit des ICBM gewidmet sein wird.

Mit voller Kraft auf klarem Kurs: Ihre OLB



Ein stabilisiertes wirtschaftliches Umfeld und intensiviertere Geschäftsbeziehungen zu Privat- wie Firmenkunden sind die bestimmenden Faktoren für das erfolgreiche Wirken der OLB.

Moderne Führungs- und Organisationsstrukturen, eine weitere Qualifizierung der Mitarbeiter sind Garantien für das Erreichen klar abgesteckter Ziele auf einem kontinuierlichen Wachstumskurs.

Diese günstige geschäftliche Position des Unternehmens ist das Ergebnis einer soliden, sehr engagierten und zeitgemäßen, klar regionalbetonten Geschäftspolitik. Die Vielzahl außergeschäftlicher

Ideen und Initiativen dokumentiert die Verbundenheit der OLB zur Weser-Ems-Region einmal mehr.

Ob im Firmenkunden-Geschäft oder in der Entwicklung der Beziehungen zu den Privatkunden, ob im Wertpapiergeschäft oder im Auslandsgeschäft, im Immobilien-, Versicherungs- und Bauparbereich: Ihre OLB ist mit voller Kraft auf klarem Kurs.

*Wenn Sie am OLB-Geschäftsbericht oder anderen Informationen interessiert sind, dann schreiben Sie uns bitte: Stau 15, 2900 Oldenburg. BTX-Teilnehmer erreichen uns unter *22100 #.*



OLDENBURGISCHE LANDESBANK AG

Die Bank, die hier zu Hause ist.

Paläomikrobiologie

Von Gisela Gerdes

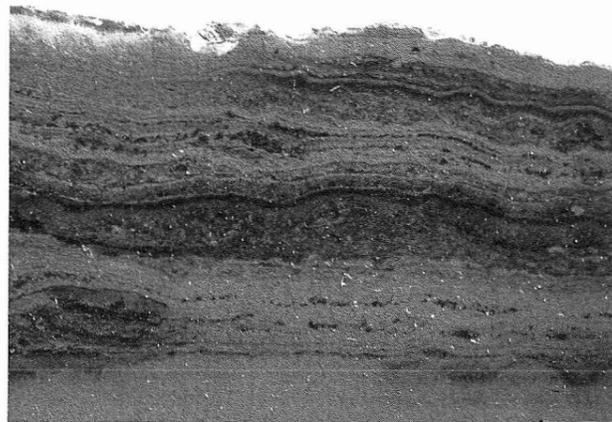


Abb. 1: Schichtgefüge eines Eisenstromatolithen, aufgebaut aus übereinanderlagernden, Eisenoxyd abscheidenden Pilzflechtwerken. Warstein (Tertiär)

Die Paläomikrobiologie ist ein Forschungsschwerpunkt des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) und des Zentrums für Flachmeer-, Küsten- und Meeresumweltforschung (ZFKM). Sie ist ein Teil der Abteilung Geobiologie des ICBM und wird eng mit den Abteilungen Geochemie und mikrobiologische Rohstoff- und Meeresumweltforschung zusammenarbeiten müssen, da einige der Methoden zur Erforschung paläomikrobiologischer Zusammenhänge in diesen Bereichen zu suchen sind. Bevor die Bedeutung der Paläomikrobiologie für das Institut im Zusammenhang mit den erdgeschichtlichen Aspekten der Flachmeerforschung angesprochen wird, soll ihr Bezug zur Paläontologie und Paläobiologie hergestellt werden.

Bezugsrahmen

Während bis weit in das 20. Jahrhundert hinein Zoologie und Botanik die traditionellen Fächer der Biologie waren, erweiterte sich deren Kanon schließlich nach dem II. Weltkrieg um ein weiteres Fach, die Mikrobiologie. Zoologie und Botanik, versehen mit der Vorsilbe „Pal...“, finden sich in Definitionen der Paläontologie als deren Teilwissenschaften wieder (z.B. Glossary of Geology 1980; Geologisches Wörterbuch 1983), während der Begriff der Paläomikrobiologie nicht auftaucht. Da Biologie die Wissenschaft von den lebenden, Paläontologie die Wissenschaft von den fossilen Wesen ist, müßte ein Feld für die Myriaden ausgestorbener Bakterien und anderer Mikroorganismen umschrieben werden. Mikroben herrschten während mehr als 85 Prozent der Lebensgeschichte ausschließlich über die Erde, und auch danach waren und bleiben sie die wichtigsten Faktoren der Sedimentbildung, Lagerstättenentstehung, Bioerosion und sämtlicher biogeochemischer Kreisläufe. Daher ist es nur logisch, neben Paläozoologie und Paläobotanik auch Paläomikrobiologie zu betreiben.

Eine der klassischen Aufgaben der Paläontologie ist, an den stratigraphischen Folgen eines Gesteines bewahrten fossilen Wesen mit den Mitteln des anatomischen und morphologischen Vergleiches Gestaltabwandlungen zu entdecken und darin die „Verknüpfung von Ahnen und Enkeln“ bestätigt zu finden. Der Grund, weshalb paläomikrobiologische Fragestellungen vor allem mit diesem Teil der Aufgabenformulierung der Paläontologie selten verknüpft sind, mag in der vergleichsweise geringeren „Neigung“ der Mikroben zum signifikant deutlichen Formwandel liegen, er mag darüber hinaus in der geringen Erhaltungsfähigkeit „unbeschalteter Protisten“ liegen. „Beschaltete“ Mikrofossilien dagegengestellt (z.B. Radiolarien, Foraminiferen, Sporen, Cysten, Fruchtkörperchen), liefern der Mikropaläontologie, einem weiteren Zweig der Paläontologie, wichtige Beweismittel zur stratigraphischen Abgrenzung.

Verbunden mit den Namen Dollo und Abel und von jenen formuliert, rechnet sich ein weiteres Gebiet zur Paläontologie, die Paläobiologie. Letztere sucht fossile Gegenstände vor allem physiologisch (nach Struktur und Funktion) zu deuten und bedient sich dabei vielfach der Vergleichsbeobachtungen am lebenden Organismus (Gloss. Geol. 1980: „A branch of paleontology dealing with the study of fossils as organisms rather than as features of historical geology“). Fügen wir in den Begriff Paläobiologie die Silbe „mikro“ ein, so ergibt sich die Paläomikrobiologie. Sie empfiehlt sich der Paläontologie somit als derjenige Forschungszweig, der Umwelt, Lebensweise und geophysiologische Leistungen fossiler Mikroorganismen aus dem einbettenden Sediment zu rekonstruieren sucht.

Fossil tatsächlich Bekanntes - fossil Mögliches

Der Paläobiologie wie Paläomikrobiologie immanent ist das „fossil tatsächlich Bekanntes“ (R. Richter 1928). Die wohl bekanntesten paläomikrobiologischen Urkunden der Vergangenheit sind die Stromatolithe. Sie verdanken ihre prägnante Feinlaminiierung der Eigenart bestimmter Gruppen von Mikroorganismen, sich flächig zu organisieren, einer Unterlage, sei sie schichtflächenparallel oder gewölbt, zu folgen, aufgetragene Sedimente, sich selbst oder auch ihre eigenen Biomineralisate zu überwuchern und zu begraben (Abb. 1). Es nimmt nicht wunder, daß solche Wachstumsschichtungen - da sie die bisher auffälligsten mikrobiogenen Sedimentstrukturen der Vergangenheit sind - zum zentralen Forschungsgegenstand der Paläomikrobiologie wurden und daß besonders präkambrischen Ablagerungsbereichen das Interesse galt, da diese zum Zeitpunkt ihrer Bildung vermutliche Domänen von Mikroben waren, von Tieren und Pflanzen noch weitgehend ungestört.

Sieht man von charakteristischen Strukturen der Stromatolithe ab, so steht die aus Gegenwartsuntersuchungen, auch aus der Biotechnologie (z.B. Leaching und Anreicherung begehrter Minerale) bekannte immense Vielfalt mikrobieller Stoffwechseltypen und Wechselwirkungen mit den verschiedensten Stoffen ei-

nes Milieus im krassen Gegensatz zu der geringen Zahl bisher nachgewiesener geologischer Erscheinungsbilder dieses Wirkens. Zweifellos ist das strukturgebende Spektrum der katalytisch in Stoffaustauschprozesse eingreifenden Mikroben fossil noch weitgehend unbekannt. So sind syngenetisch, d.h. im ehemals unverfestigten Sediment entstandene mikrobiogene Gefügeveränderungen bis heute schwer gegenüber Strukturen abgrenzbar, die aus späteren diagenetischen Sekundärprozessen resultieren. Abgrenzungskriterien zwischen syngenetischen und diagenetischen Gefügemerkmalen sind jedoch, unter anderem für die Erdölforschung, außerordentlich wichtig.

In diesem Zusammenhang ist zu fragen, inwieweit theoretische und methodische Aspekte des seit etwa 200 Jahren in der Geologie verankerten Gedankengrundsatzes des Aktualismus auf das neue Forschungsgebiet der Paläomikrobiologie anwendbar sind. Aktualismus geht von der Annahme gleichbleibender Wirkungsvorgänge durch die Erdgeschichte aus, setzt direkte, prozeßorientierte Methoden ein, wie sie der am Fossilien arbeitenden Geologie, Paläontologie und Paläobiologie verschlossen sind, und erklärt fossile Ablagerungen und Spuren vom Leben aufgrund noch heute gleich ablaufender Prozesse in der Natur oder im Experiment.

Aktuogeologische und aktuopaläontologische Forschung befaßt sich mit der „Bildungsweise fossil möglicher geologischer bzw. paläontologischer Urkunden in der Gegenwart“ (Richter 1928). Sie wird heute von vielen Instituten, vor allem der Meeresforschung, betrieben. Die Aktuogeologie führt Sedimentationsstrukturen auf physikalische und physikochemische Primärfaktoren zurück. Die Aktuopaläontologie befaßt sich (1) mit Veränderungen, die Lebewesen auf Wasser, Sediment, Gestein und versteinerte Reste anderer Lebewesen ausüben (Lebensspurenkunde), (2) mit Veränderungen von Körpern beim Übergang vom belebten, in Reaktion auf physikalische und chemische Außenkräfte antwortenden, zum unbelebten, diesen Kräften preisgegebenen Zustand (Todes- und Einbettungslehre), (3) dem Wirkungsgefüge benthischer Siedlungs- und Lebensgemeinschaften und ihrer Hinterlassenschaften im Sediment (Biofazies).

Wie die Paläontologie, so widmet sich auch die Aktuopaläontologie bisher überwiegend zoologischen und botanischen Phänomenen. Für Fragen der Bildungsweise fossil möglicher paläomikrobiologischer Urkunden in der Gegenwart müßte somit ebenfalls ein neues aktualistisches Feld umschrieben werden. Dieses wird im folgenden „Aktualistische Paläomikrobiologie“ genannt. Es beschreibt die Morphogenese und den Ist-Zustand „mikrobiolithischer“ Ablagerungen. Der jüngst geprägte Begriff Mikrobiolith (Burne & Moore 1987) umfaßt biosedimentäre Strukturen verschiedenster Erscheinungsformen, so stromatolithische (laminierte) und thrombolithische (unlaminierte) Ablagerungen, letztere mit klumpiger Internstruktur, Onkolithe und Ooide (konzentrisch laminierte Körner), Spherulithe (unlaminierte Körner), schließlich auch kryptische Gefüge (schichtflächenparallel angeordnete Porenraumgefüge, die sich in Dimension und Form deutlich vom Korngerüst einer durch physikalische Sedimentation entstehenden Ablagerung unterscheiden).

Ergebnisse der aktualistischen Paläomikrobiologie bilden ein Hilfsmittel der Paläomikrobiologie und der an Fragen der Sedimentbildung und Lagerstättenentstehung arbeitende Geologie. Aktuopaläomikrobiologie kann bereits auf einen reichen Fundus an Erkenntnissen der Geomikrobiologie zurückgreifen, die Umwelt und Leistung von Mikroorganismen, stoffliche und strukturelle Abwandlung von Materie, deren Umsetzung, Transferierung und Anreicherung durch unmittelbare Verfahren, z.B. experimentelle Eingriffe, untersucht.

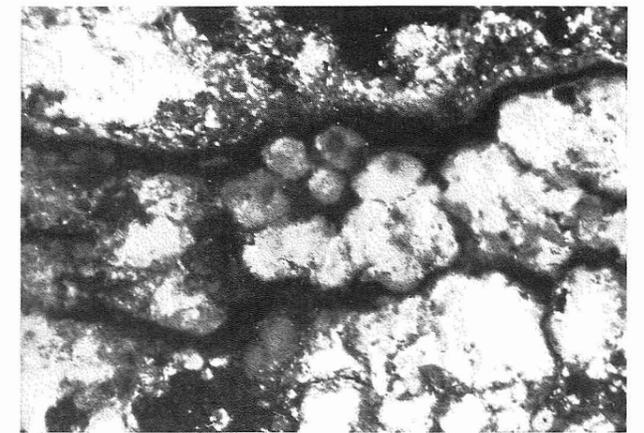


Abb. 2: Sphaerulitische (kugelförmige) Kalkaggregate umschließen Bakterienkolonien einer rezenten Mikrobenmatte. Lanzarote-Saline

Aktualistische Paläomikrobiologie als Teil der Geomikrobiologie deutet in enger Verknüpfung mit den Motiven der Paläomikrobiologie fossile und fossil mögliche Urkunden physiologisch (im Sinne von erzeugen, entstehen, wachsen). Sie beschreibt:

- Veränderungen, die von Mikroorganismen auf Wasser, Sediment, Gestein und versteinerte Reste anderer Organismen ausgeübt werden, sei es aufbauend (z.B. Stromatolithe) oder zerstörend (z.B. Bioerosion), Gefügeveränderungen durch Gasbildung, syngenetische oder frühdiagenetische Porenraumveränderungen, durch die Durchflußraten und -geschwindigkeiten beeinflußt werden können, Mineralanreicherungen, beispielsweise gebänderter Eiseneinlagerungen (Abb. 1), knollige Kalzitaggregate (Abb. 2) oder Mikro-„Osteokolle“. Sie beschreibt weiterhin
- postmortale Schicksale von Einzelorganismen, Kolonien oder Lebensgemeinschaften (z.B. Mikrobenmatten) in Abhängigkeit vom Bau (z.B. Kapsel- oder Scheidenbildungen), einbettendem Milieu und beginnenden diagenetischen Veränderungen, z.B. bewirkt durch Kompaktion. Nur wenige verlässliche Daten stehen diesem Teilaspekt bisher zur Verfügung. So sind Ansammlungen von kugeligen, fädigen, stäbchenförmigen Gebilden in stromatolithischen Gesteinen bekannt. Ihre Deutung steht jedoch vor einer Reihe von Unwägbarkeiten. Die Beweisführung, daß es sich auch tatsächlich um die Produzenten der gebänderten Gesteinsstrukturen handelt, baut auf morphologischen Vergleichen mit rezenten Bakterienformen als mittelbarem Verfahren auf. Rezente Vergleiche machen jedoch auf das Problem der Formverwandtschaft zwischen völlig unterschiedlichen physiologischen Typen (oxygen phototroph, anoxygen phototroph, chemotroph etc) aufmerksam. Auf Mikroskopie gestützte Verfahren erbringen trotz aller technischen Verfeinerungen oftmals nicht den eindeutigen Beweis dafür, daß es sich bei den gefundenen Mikrofossilien tatsächlich um die Reste der Erzeuger der Gesteinsstrukturen handelt. Sie nähren eher den Verdacht, daß es sich um nach dem Tod abgesunkene planktische Einzeller oder gar um Kontaminanten (nachträglich in Haarrisse von Gesteinen eingewanderte Mikroben) handeln könne (Buick). Aktualistische Forschung hilft schließlich,
- ökologische Aspekte eines lateralen und/oder vertikalen Dominanzwechsels in Ablagerungen gleicher Altersstufe („raumweise Verschiedenheit des Lebens als Reaktion auf die Außenwelt“; Richter 1928) zu erklären. So ist die im hochliegenden

Watt auftretende farbenprächtige Feinschichtung des Farbstreifen-Sandwattes (s. Graphik) optisches Merkmal einer vertikal organisierten Lebensgemeinschaft von Mikroorganismen. Die einzelnen Farbhorizonte weisen auf Dominanz jeweils anderer physiologischer Gruppen hin: im obersten gelblich-rötlichen Sand sind es Diatomeen, darunter blaugrüne, oxygen phototrophe Cyanobakterien, im nächsten unterlagernden Horizont purpurfarbene, anoxygen phototrophe Schwefelpurpurbakterien, schließlich im untersten schwarzen Horizont Sulfatreduzierer.

Zusätzlich zu den vorgenannten drei Aspektgruppen werden komplementäre Ansätze und Methoden zu entwickeln sein, die der besonderen Rolle und Funktion von Mikroorganismen im Naturhaushalt, ihrer Beteiligung am Kreislauf der Stoffe, gerecht werden. Vielfach bleiben im fossilen Gestein nur Chemofossilien übrig, zu deren Untersuchung geochemische und paläochemische Methoden herangezogen werden müssen. Bereits in der Erprobung befindliche Arbeitsmittel der Geomikrobiologie wie Mikronadelelektroden und Biosensoren (auch immunologische Techniken) sind für Fragen des Nachweises physiologischer Umsetzungen im kleinsten sedimentären Raum weiterzuentwickeln. Für den Nachweis von Strukturen, die aus biophysikalischen Wechselwirkungen zwischen Mikroben und anorganischen Partikeln entstehen, sind geeignete Methoden erst noch zu entwickeln.

Bedeutung für das ICBM

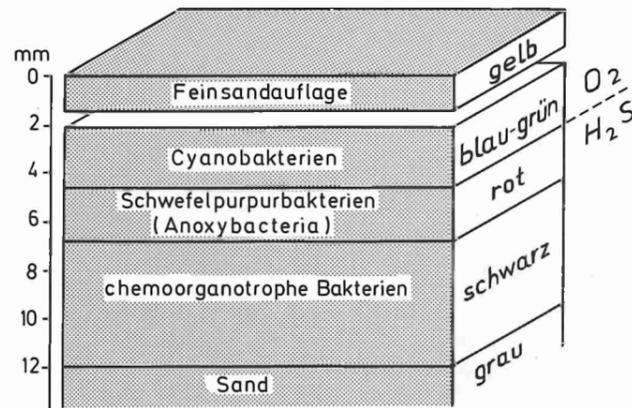
Paläomikrobiologie am ICBM erschließt das Fossile durch indirekte Mittel, schlägt die Brücke zur Vergangenheit, bestimmt das geologische Inventar und seine räumlichen und zeitlichen Dimensionen.

Aktualistische Paläomikrobiologie erklärt das fossil mögliche durch direkte Mittel, prozessorientiert unter Einbeziehung experimenteller Eingriffe. Aktualistisches Arbeiten am ICBM

- schult den Blick für strukturelle Veränderungen, die von Mikroorganismen auf Wasser, Sediment, Gestein und versteinerte Reste anderer Organismen ausgeübt werden können,
- stellt Zusammenhänge her zwischen dem geologischen Produkt, das Einzelstruktur, laminiertes Gestein oder Metallanreicherung sein kann, und seiner Bedingtheit durch Umwelt und physiologische Leistung,
- stellt Merkmalskataloge auf, die bei der heute noch schwierigen Abgrenzung von anorganisch gebildeten und mikrobiell erzeugten fossilen Gesteinen eingesetzt werden können.

Durch Verknüpfung paläomikrobiologischer mit aktualistischer Forschung können Antworten auf die Fragen gefunden werden, wie geochemische Kreisläufe unter Einschluß notwendiger und/oder zufälliger Schwankungen und „Störungen“ (Events) über Jahrmillionen stabil bleiben, Paläomikrobiologie als „ausgestorbene“, „fossile“ Geomikrobiologie den Wechsel zwischen Anreicherung, Freisetzung und Wiederanreicherung von (Mineral-) Stoffen durch die Zeit regierte.

Aktualistische Paläomikrobiologie hat einen anderen Blickwinkel, als die Mikrobiologie oder Geochemie. Dort sind Dinge Hauptsache, die die Aktuo-Paläomikrobiologie nur am Rande berühren und umgekehrt. Wesentliche Voraussetzung der aktualistischen Forschung ist, daß ihre Repräsentanten Kenner der Vorzeit sind und daß Methoden der Mikrobiologie durch geologisch-stratigraphische erweitert werden müssen, während der Geowissenschaftler oder Paläontologe, der zum Aktuo-Paläomikrobiologen wird,



Schema der Feinschichtung des Farbstreifen-Sandwattes von Mellum. Im homogenen Feinsand bilden sich Farbhorizonte, in denen jeweils andere Organismen dominant sind (oberste gelbliche Zone: Diatomeen; blau-grüne Zone darunter: fädige Cyanobakterien; purpurfarbene Zone darunter: Schwefelpurpurbakterien; schwarze Zone darunter: sulfatreduzierende Bakterien)

sich die Methoden und vor allem die Erkenntnisse der Mikrobiophysikologie und Genetik zu eigen machen muß.

Bei der aktualistischen Forschung handelt es sich um eine Neuverknüpfung von Ausschnitten aus vielen Zweigen, so auch der Geochemie und Physik, dergestalt, daß daraus die Schrift lesbar wird, mit der sich die physikalischen, chemischen und biologischen Einflüsse in Sedimente einschreiben. Das hier geforderte räumliche, zeitliche und fachliche Ensemble aber ist das, was geophysikalische Prozesse und deren Erforschung ausmacht.

Flachmeere und ihre erdgeschichtlichen Aspekte

Flachmeere, Forschungsbereiche des ICBM und der mit ihm in enger Kooperation verbundenen weiteren Gründungsmitglieder des Zentrums für Flachmeer-, Küsten- und Meeresumweltforschung, stellen für die Erdgeschichte Vergleichsbilder mit allgemeiner Gültigkeit zur Verfügung. Auf engem Raum trifft sich eine große Vielfalt von Lebens- und Ablagerungsräumen. Nährstoffreichtum, hohe Bioproduktion, Anreicherung der Sedimente mit organischer Substanz, hohe Bioaktivität in den Sedimenten - all dieses zeichnet Flachmeere aus. Selbst Tiefseeablagerungen sind häufig unter Beteiligung von Produkten mikrobieller Prozesse, die im Flachmeer stattfanden, aufgebaut. Heutige Flachmeere zeigen Fazieszonen in lateraler Folge nebeneinander, die als Folge geologischer Bewegungen wie Absenkungen, Trans- oder Regressionen mehrfach übereinandergestapelt wurden und so vertikale Gesteinssequenzen großer Mächtigkeiten bildeten.

Das mikroskopisch kleine Inventar der Flachmeerablagerungen beginnt gerade erst, Aufmerksamkeit auf sich zu lenken, da es Interpretationen für erdgeschichtliche Phänomene birgt, die mit makroskopischen Methoden allein nicht faßbar sind. Neben den erdgeschichtlichen Phänomenen sind weitere Gründe zu berücksichtigen, an den rezenten Bildungen zu arbeiten: Umweltschutz (z.B. Kapazitäten biologisch aktiver Flachmeeresedimente zur Aufnahme, Speicherung und Umsetzung von Schadstoffen), Küstenbau (z.B. die bereits seit längerem bekannte Verhinderung der Erosion von Sedimenten durch Verklebung der Sedimentpartikel durch Mikroben), schließlich die rezente Lagerstättenuche.

Schwerpunkt Crustaceenforschung

Von H.J. Ferenz, P. Jaros, H.K. Schminke, J.W. Wägele, A. Willig, G.-P. Zauke



Die Fischassel *Aega glacialis* lebt als temporärer Ektoparasit auf antarktischen Fischen, deren Blut sie saugt, um dann (ähnlich wie Zecken) monatelang von der Mahlzeit zu zehren. Die Tiere wurden zwei Jahre lang in Oldenburg gepflegt und beobachtet.

Was an Land die Insekten, sind im Meer die Krebstiere oder Crustaceen. Zwar ist ihre Artenzahl (etwa 60.000) nicht annähernd so hoch wie die der Insekten (ca. 1 Million), dafür kommen einzelne Arten aber in unvorstellbar riesigen Mengen vor. Der antarktische Krill (*Euphausia superba*) z.B. bildet im Südpolarmeer gewaltige Schwärme, deren Gewicht zusammen auf 5000 Millionen Tonnen geschätzt wird.

Alle Lebensräume des Meeres von der Tiefsee bis in die Spritzwasserzone der Küsten, von der Umgebung heißer Quellen am Boden der Ozeane bis in die Kälte polarer Meere, von den Lavatunneln ozeanischer Inseln bis ins Brackwasser der Randmeere und Flußmündungen werden von Crustaceen besiedelt. Sie leben als Filtrierer, als Räuber, als Minierer in Algen, als Aasfresser

und Parasiten. Kaum eine Nahrungskette im Meer, in der sie nicht eine zentrale Rolle spielen. Für den Menschen gelten einige von ihnen als Delikatesse: Hummer, Langusten, Garnelen, Bären- und Taschenkrebse; andere werden von ihm bekämpft, weil sie als lästiger Beifang in seine Netze geraten oder als Parasiten die Fischproduktion schmälern.

Die Erforschung der Insekten ist schon seit längerem ein gesondertes Teilgebiet der Zoologie, das als Entomologie bezeichnet wird. Für die Erforschung der Crustaceen gilt eine solche Eigenständigkeit trotz der Formenvielfalt und wirtschaftlichen Bedeutung dieser Tiergruppe noch nicht. Es ist deshalb etwas Besonderes, wenn an einer Universität die wissenschaftlichen Aktivitäten der dort vertretenen Zoologen schwerpunktmäßig auf die Erforschung der Crustaceen gerichtet sind. An der Universität Oldenburg ist das der Fall, und es gibt Ansätze für den Aufbau eines Crustaceen-Zentrums, wie sie vereinzelt schon in den USA existieren. Daran beteiligt sind die Arbeitsgruppen Zoomorphologie (Schminke/Wägele), Zoophysikologie I (Willig/Jaros), Zoophysikologie II (Ferenz) und Zooökologie (Zauke).

Arbeitsgruppe Zoomorphologie

Soweit die wissenschaftlichen Aktivitäten der Arbeitsgruppe Zoomorphologie auf die Meeresforschung gerichtet sind, konzentrieren sie sich auf zwei Aspekte: Polarforschung und zoologische Meeresforschung. Die Polarforschung hat seit den Anfängen im Jahr 1983 durch Verflechtung mit Projekten der Polarforschungsinstitute in Bremerhaven und Kiel sowie anderer Institute im In- und Ausland einen erfreulichen Aufschwung genommen, obwohl die Zahl der beteiligten promovierten Wissenschaftler in Oldenburg nicht vermehrt werden konnte und Doktoranden die Hauptstütze der Projekte bilden. Die zoologische Meeresforschung konzentriert sich auf die Untersuchung der Evolution und Biologie der Crustaceen, wobei weniger geographische Regionen als vielmehr systematische Einheiten meist weltweit verbreiteter Krebstiergruppen die Themen bestimmen. Beide Schwerpunkte überlappen sich, da neben Nacktschnecken (Nudibranchia) und demnächst Fadenwürmern (Nematoda) vor allem die Crustaceen im Zentrum der Erforschung des antarktischen Benthos stehen.

Benthische Crustaceen des Südpolarmeer

Das Benthos, die Tier- und Pflanzengemeinschaften des Meeresbodens, ist das Stiefkind der Polarforschung. Fischereibiologisch interessant ist vor allem die pelagische Welt der einzelligen Planktonalgen, des Krills, der Fische und Wale. Eine bisher unüberschaubare Fülle von Organismen lebt jedoch nicht im freien Wasser, sondern verborgen am Grund des Südpolarmeer. Um ihre Rolle im Gesamtsystem dieses Meeres zu verstehen, bemühen sich weltweit einige wenige Zoologen, die Lebensweise der häufigsten Arten zu erforschen. Der Kenntnisstand entspricht dem von Biologen, die vor 150 Jahren damit begannen, die Tierwelt der Nordsee und des Mittelmeeres zu erkunden.

Wichtigste Voraussetzung für die Beschreibung eines Ökosy-

stems ist die Erfassung der im System integrierten Organismen. Diese Arbeit war Bestandteil fast aller Expeditionen, die seit Ende des 18. Jahrhunderts in antarktische Gewässer unternommen worden sind. Die Hilfsmittel für die Probennahme damals waren bescheiden, und die Ergebnisse, die mit ihnen erzielt worden sind, finden sich in der Literatur weit verstreut und teilweise schwer zugänglich. Trotz der Intensivierung der internationalen Polarforschung in den letzten zehn Jahren hat die Erfassung der Fauna wenig Fortschritte gemacht, da heute die taxonomische Wissenschaft in Konkurrenz mit physiologischen und biochemischen Fachrichtungen in der Gunst der Förderungseinrichtungen zurückgefallen ist. Die Arbeit der Oldenburger Zoologen ist daher darauf gerichtet, dies verlorene Terrain zurückerobern zu helfen und gleichzeitig mit der taxonomischen Bestandsaufnahme die Grundlagen für eine ökologische Polarforschung zu schaffen. In Oldenburg werden zur Zeit folgende Krebstiergruppen bearbeitet: Isopoda (Asseln), Amphipoda (Flohkrebse) und Copepoda (Ruderfußkrebse). Das antarktische Material enthält viele Arten, die neu für die Wissenschaft sind. Neben ihrer Erstbeschreibung geht es vor allem darum, auch dem nicht spezialisierten Biologen durch Schaffung entsprechender Literatur eine Bestimmung der Arten zu ermöglichen. Auf Initiative aus Oldenburg und unter hiesiger Federführung (Wägele) wird deshalb in Zusammenarbeit mit der Abteilung Vechta der Universität Osnabrück (Sieg) eine Monographienserie über die Tiergruppen des antarktischen Benthos vorbereitet. Es wird acht bis zehn Jahre dauern, bis alle vorgesehenen Bände erschienen sein werden. Danach wird es erstmalig möglich sein, die Fauna des antarktischen Benthos in ihrer Gesamtheit zu überschauen.

Neben der Kenntnis der Arten sind für den Ökologen vor allem Lebenszyklen, Fortpflanzungsraten und die Stellung einzelner häufiger Arten im Nahrungsgefüge von Interesse. Bisher bot sich dafür nur eine Untersuchungsmethode an: die Hälterung lebender Tiere in Aquarien. Während der Expeditionen „Antarktis I“ und „Antarktis III“ des Forschungsschiffes „POLARSTERN“ gelang es, aus der Weddell-See Tiere lebend in einem gekühlten Laborcontainer nach Oldenburg zu transportieren (vgl. Einblicke 2, 1985: 4-7). In diesem Container konnten zahlreiche Isopoden (Meeresasseln) und Nudibranchia (Nacktschnecken) teilweise 2,5 Jahre lang am Leben erhalten werden. Dabei zeigte sich:

- daß antarktische Isopoden sehr langsam wachsen und ein ungewöhnlich hohes Alter (*Aega*: ca. 13 Jahre) erreichen;
- daß sie wenige, große Eier legen, die sich sehr langsam entwickeln (untersucht bei *Gnathia*, *Aega* und *Ceratoserolis*);
- daß es neben Allesfressern ausgesprochene Nahrungsspezialisten gibt (*Aega* und *Gnathia* saugen Fischblut, *Ceratoserolis* bevorzugt Borstenwürmer, *Natolana* ist ein Aasfresser etc.);

Von den Expeditionen „Antarktis V“ und „Antarktis VI“ haben Doktoranden lebende Copepoda (Ruderfußkrebse) und Amphipoda (Flohkrebse) auf dem Luftweg in Kühlflaschen nach Oldenburg gebracht. Bei den vergleichsweise kleinen und schneller wachsenden Copepoden gelang es erstmals, den vollständigen Lebenszyklus und nicht nur einzelne Abschnitte davon im Labor zu beobachten. Eine der Arten entwickelt sich besonders gut und stammt aus einem ungewöhnlichen Lebensraum. Sie gehört zur sogenannten Eisfauna und lebt in kleinsten Gängen und Spalten, die sich im Meereis bilden. Die Arbeiten mit den Amphipoden haben gerade begonnen. Alle Untersuchungen werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Die im Labor erzielten Ergebnisse müssen im Freiland überprüft

werden, um ausschließen zu können, daß sich die Tiere im Labor anders verhalten haben als in ihrer natürlichen Umwelt. Eine solche Überprüfung ist nur durch Taucheinsätze möglich. In den vergangenen fünf Jahren ist es gelungen, an der Universität Oldenburg eine Forschungstauchergruppe aufzubauen, die die Befähigung und Berechtigung besitzt, für wissenschaftliche Vorhaben Unterwasserarbeiten durchzuführen. Taucher können Tiere in ihrer ungestörten natürlichen Umgebung beobachten, einzelne Exemplare gezielt und schonend sammeln und vertikale Zonierung und Substratpräferenz der Arten vor Ort festhalten. Taucheinsätze sollen in Zukunft auch in der Antarktis durchgeführt werden. Noch aber gibt es keine dafür geeignete küstennahe bundesdeutsche Forschungsstation. Während sich das Alfred-Wegener-Institut (Bremerhaven) jetzt darum bemüht, sind Oldenburger Zoologen dabei, erste Erfahrungen zu sammeln. Im Februar 1988 haben Mitglieder der hiesigen Forschungstauchergruppe mit brasilianischen Kollegen auf der brasilianischen Station „Ferraç“ (King George Insel) zusammengearbeitet, um Unterwassertechniken zu erproben und küstennahe Biotope zu kartieren. Dieses vom Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstützte Pilotprojekt soll künftige ökologische Arbeiten in Küstennähe vorbereiten.

Evolution und Biologie der Crustaceen

Die meisten Crustaceen schlüpfen nicht als fertige, fast ausgewachsene Tiere aus dem Ei, sondern machen eine längere Larval- und Jugendentwicklung durch, die in mehrere Phasen gegliedert sein kann. Die Larven unterscheiden sich nicht nur im Bau grundsätzlich von den ausgewachsenen Tieren, sondern führen meist auch eine ganz andere Lebensweise. Über beides ist bei den Copepoden (Ruderfußkrebse) nur für wenige Arten etwas bekannt. Die Untersuchung der Larvalbiologie ist im Vergleich zu der der erwachsenen Tiere bisher vernachlässigt worden. Larvalbiologie ist deshalb einer der Schwerpunkte der hiesigen Arbeit mit Copepoden.

Larven sind die bevorzugte Nahrung vieler anderer kleiner Tiere. Sie stehen deshalb am Anfang vieler Nahrungsketten im Meer. Ihre genaue ökologische Bedeutung liegt aber völlig im dunkeln, da es selbst an den grundlegendsten Kenntnissen über sie mangelt. Nur von wenigen der unzähligen Copepoden-Larven, die man in der Nordsee oder im Mittelmeer finden kann, ist bekannt, zu welcher Art sie gehören. Im Bau sind sie ja vom geschlechtsreifen Tier so verschieden, daß nur durch Zuchten im Labor ermittelt werden kann, welches erwachsene Tier aus welcher Larve hervorgeht. Im Rahmen einer Doktorarbeit werden deshalb Copepoden aus der Nordsee, dem Mittel- und Südpolarmeer kontinuierlich gezüchtet und die Larvenstadien von verschiedenen Arten beschrieben, die zu etwa 20 Familien gehören. Gleichzeitig werden die Larvalmerkmale für stammesgeschichtliche Rekonstruktionen ausgewertet.

Für die Bestimmung von Tierarten und die Analyse ihrer Verwandtschaftsbeziehungen werden gewöhnlich Merkmale ihres Körperbaus herangezogen. Es gibt aber Gruppen, deren Arten sich morphologisch nur an minutiösen Details oder gar nicht unterscheiden lassen. Zu diesen Gruppen gehört die Copepoden-Gattung *Tisbe*, die mit etwa 70 Arten im Meer entlang der Küsten aller Kontinente verbreitet ist, die aber trotz dieses Artenreichtums die sonst übliche Vielgestaltigkeit vermissen läßt. Deshalb war zunächst die Ansicht verbreitet, die Gattung enthalte nur wenige Arten mit großer innerartlicher Variabilität und meist weltweiter Verbreitung. Durch Kreuzungsexperimente im Labor ist diese Ansicht erschüttert worden. Es scheint in der Gattung

Tisbe eine Fülle sogenannter Zwillingarten zu geben, die teilweise sogar im gleichen Lebensraum nebeneinander vorkommen. Da dieses schwierige systematische Problem mit morphologischen Methoden allein nicht gelöst werden kann, bedarf es der Hinzuziehung aufwendiger biochemisch-physiologischer Methoden.

Auf Initiative aus Oldenburg (Schminke) und Osnabrück (Westheide) konnte kürzlich ein großes von der VW-Stiftung gefördertes Forschungsprojekt begonnen werden, an dem Forschergruppen aus Osnabrück/Vechta, Kiel, Hamburg, Tübingen und Oldenburg beteiligt sind. Jede dieser Gruppen steuert eine andere Methode bei, so daß Methoden der Licht- und Elektronenmikroskopie, der DNA-Analytik, der Protein-Analytik und der Analytik von Stoffwechselprodukten zum Einsatz kommen. Aufgrund der positiven Erfahrungen, die mit diesen Methoden von Beteiligten an diesem Projekt bei jeweils anderen Tiergruppen gewonnen worden sind, wird erwartet, daß diese Techniken auch bei der Identifizierung und Abgrenzung der morphologisch kaum unterscheidbaren Arten der Gattung *Tisbe* und bei der Analyse ihrer phylogenetischen Verwandtschaftsbeziehungen von gleichem Nutzen sein werden. Diese Zusammenführung mehrerer mit jeweils unterschiedlichen Methoden vertrauter Arbeitsgruppen zur Lösung ein und desselben systematischen Problems gibt dem Vorhaben eine Pionierfunktion im Bereich der taxonomischen Forschung in der Bundesrepublik.

Aus Oldenburg ist an diesem Projekt neben der Arbeitsgruppe Zoomorphologie die Arbeitsgruppe Zoophysologie I mit immunologischen Methoden beteiligt. Eine Kooperation zwischen beiden Arbeitsgruppen gibt es auch im Bereich der Antarktisforschung.

Arbeitsgruppe Zoophysologie I

In dieser Arbeitsgruppe werden u.a. Untersuchungen über die Kontrolle von Stoffwechsel- und Entwicklungsvorgängen bei dekapoden Crustaceen, wie z.B. der Strandkrabbe oder dem Flußkrebse durchgeführt. Ziel der Arbeiten ist die Erweiterung der Kenntnisse über die Regulation biologisch wichtiger Vorgänge im Leben der Crustaceen, wie z.B. die Häutungsauslösung, die Regulation des Blutzuckers, die Osmoregulation etc.. Diese Vorgänge stehen teils unter der Kontrolle von Steroidhormonen (Häutung), teils unter der Kontrolle von Peptidhormonen, die in Zellen des Zentralnervensystems produziert und nach Transport entlang von Nervenfasern (Axonen) über ein Neurohämorgan an das Blut abgegeben werden (Neurohormone). Das Neurohämorgan der Krebstiere hat die Bezeichnung „Sinusdrüse“ erhalten, da es in engem Kontakt mit dem Blutsinus (Hämolympsinus) steht. Es handelt sich also nicht um eine Drüse im engeren Sinne, sondern um eine Ansammlung von Axonendigungen der produzierenden Nervenzellen. Die Sinusdrüse ist selbst nicht zur Hormonsynthese fähig. Analoge Strukturen finden sich bei vielen Tiergruppen wie z.B. die Neurohypophyse der Säugetiere.

Die Crustaceenneuropeptide werden isoliert, biochemisch rein dargestellt und in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen einer Aminosäureanalyse unterzogen. Neben dieser Hormonanalytik ist auch die Frage der Steuerung der Synthese und Freisetzung der Neuropeptide unter der Einwirkung innerer und äußerer Faktoren Gegenstand intensiver Arbeiten. Weiterhin gilt das Interesse der Wirkung der Hormone in ihren Zielorganen auf zellulärer Ebene.

Bei derartigen Arbeiten, sei es bei Wirbeltieren oder wirbellosen Tieren, ist es immer notwendig, aller kleinste Hormonmengen in

der Größenordnung von einem millionstel Gramm zu erfassen. Dies gelingt z.B. mit Hilfe eines Antiserums, das in der Abteilung Zoophysologie gegen das hyperglykämische Neurohormon von Strandkrabben gewonnen wurde. Mit Hilfe dieses Antiserums war es möglich, zellgenau den Syntheseort, den Transportweg und die Axonendigungen in den Sinusdrüsen darzustellen, die dieses den Energiestoffwechsel regulierende Peptid enthalten.

Derartige in „klassischer Weise“ in Kaninchen oder in anderen Tieren erzeugte Antiseren haben sich in vielen Gebieten der Forschung und Klinik zur Erfassung kleinster Hormonmengen außerordentlich bewährt. Sie unterliegen jedoch immer wieder gewissen Schwankungen hinsichtlich ihrer Spezifität und der quantitativen Genauigkeit bei ihrem Einsatz. Aus diesem Grund wird in der Arbeitsgruppe an der Entwicklung eines „monoklonalen“ Antikörpers gegen das hyperglykämische Hormon gearbeitet. Monoklonale Antikörper werden von den Nachkommen einer einzigen in Zellkultur gehaltenen Lymphzelle gewonnen. Mit ihnen steht ein Werkzeug mit völlig gleichbleibender, absolut homogener Spezifität zur Verfügung, das geeignet ist, mit höchster Zuverlässigkeit kleinste Mengen des Antigens - hier des Neurohormons - zu erfassen. Die Eigenschaften ermöglichen zugleich die Wiederfindung von Hormonfraktionen im Verlauf biochemischer Isolierung der Peptide und ersparen in vielen Fällen die zeitaufwendige Identifizierung einer Fraktion im Tierversuch.

Als Beitrag zur Untersuchung der antarktischen Fauna wurden die Arbeiten der Arbeitsgruppe auf die als ursprünglich geltende antarktische Meeresassel *Glyptonotus* ausgedehnt. Diese Tiere eignen sich insbesondere für phylogenetische Studien, da Spezialisierungen der neuroendokrinen Strukturen bei ihnen noch nicht in dem von Landasseln bekannten Ausmaß zum Tragen kommen. Eine enge phylogenetische Verwandtschaft des hyperglykämischen Neuropeptids von *Glyptonotus* mit den entsprechenden Peptiden von Strandkrabben und Landasseln zeigte sich durch seine Reaktion mit den Antiseren, die gegen diese Hormone gewonnen wurden. Mit Hilfe der Antiseren war eine topographische Erfassung der das Hormon führenden Strukturen des Zentralnervensystems möglich. Die Lage der Sinusdrüse weicht von der sonst bei Asseln und auch bei Dekapoden gefundenen Lage ab.

Arbeitsgruppe Zoophysologie II

Einen beträchtlichen Anteil des Eiweißes für die menschliche Ernährung liefert die Fischerei. In den letzten Jahren hat die Aquakultur von Fischen und Krebsen an Bedeutung gewonnen. Der gestiegene Bedarf an Krebsen führte zu verstärkten Kultivierungsbemühungen. Zur Zeit sind alle Zuchteinrichtungen für marine Krebse, insbesondere für Garnelen der Familie der Penaeiden innerhalb der dekapoden Crustaceen abhängig von Freilandfängen. *Penaeus semisulcatus* ist der größte marine Krebs in Israel und wird seit einiger Zeit auf seine wirtschaftliche Verwendbarkeit hin untersucht. Es wurde festgestellt, daß man Larvenstadien und ausgewachsene Exemplare dieser Art in Meerwasserenteichen aufziehen kann. Zur Aufrechterhaltung der Zuchten sind jedoch immer wieder geschlechtsreife Freilandtiere notwendig.

Eine Kontrolle über den gesamten Lebenszyklus ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche und dauerhafte Aquakultur. Deshalb ist zusammen mit Forschergruppen in Haifa und Bonn ein von der „German-Israeli Foundation“ gefördertes Gemeinschaftsprojekt begonnen worden, dessen Fernziel darin liegt, den vollständigen Fortpflanzungszyklus von *Penaeus semisulcatus* zu verstehen und zu kontrollieren. Um dieses Ziel zu



Exotische Flohkrebse der Art *Pseudopimera grandirostris* von der Antarktischen Halbinsel.

erreichen, ist zunächst vorgesehen, die Oogenesezyklen, also alle Prozesse, die zur Ausbildung von Eiern führen, detailliert zu untersuchen (Dotterbildung, Dottereinlagerung, kontrollierende Faktoren). Reifende Eizellen sollen unter in vitro-Bedingungen gehalten und als Testsystem zur Identifizierung und Charakterisierung stimulierender und/oder hemmender hormonaler Faktoren (Neurohormone usw.) benutzt werden. Die Ergebnisse sollen dann in den israelischen Zuchtanlagen in großem Maßstab auf ihre praktische Anwendbarkeit geprüft werden.

Arbeitsgruppe Zooökologie

Mit dem Einsatz von Bioindikatoren zur Umweltüberwachung werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits sollen die in Organismen angereicherten Substanzen (z.B. Schwermetalle) als Maß für den bioverfügbaren Anteil in Gewässern dienen (biologisches Monitoring), andererseits können die in Organismen akkumulierten Substanzen als Dosisvariable für ökotoxische Effekte aufgefaßt werden.

Im Rahmen eines vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens wurde die Eignung von Amphipoden (Flohkrebse) und Balaniden (Seepocken) für ein biologisches Monitoring von Schwermetallen in den Mündungen der Elbe, Weser und Ems untersucht. Amphipoden sind deshalb von Interesse, weil sie in vielen Lebensräumen auftreten, allerdings mit unterschiedlichen Arten. Während im Süßwasser die Art *Gammarus pulex* weit verbreitet ist, findet man in den Flußmündungen eine charakteristische Abfolge der Arten *Gammarus zaddachi* und *Gammarus salinus*. Sehr fleckenhaft verteilt tritt darüber hinaus die Art *Gammarus duebeni* in Erscheinung. Die räumliche Verteilung der genannten Brackwasserarten unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen, die mit dem Lebenszyklus der Populationen in Verbindung gebracht werden können.

Im Hinblick auf das biologische Monitoring ist nun von Bedeutung, daß die Aufnahme der Elemente Cadmium, Blei, Nickel,

Kupfer und Zink offensichtlich nicht von der jeweiligen Gammaridenart abhängig ist. Dies ergab sich aus mehreren unabhängigen Untersuchungen, z.B. Analyse von nach Arten getrennten Proben, Betrachtung jahreszeitlicher Fluktuationen (Vergleich von Perioden mit stabiler Artenzusammensetzung und Perioden mit entsprechendem Artenwechsel) sowie Bioakkumulationsexperimente mit Cadmium im Durchflusssystem unter naturnahen Standortbedingungen.

Aus den zuletzt genannten Experimenten konnte darüber hinaus der Schluß gezogen werden, daß Gammariden gegenüber einem zusätzlichen Angebot von Cadmium mit einer Aufnahme reagieren und bei vermindertem Angebot das Metall wieder ausscheiden. Mit mathematischen Modellen wurde eine Zeit von 120 Tagen für das Erreichen des theoretischen Gleichgewichtszustands errechnet. Die für diesen Zeitpunkt berechneten Verhältnisse zwischen Cadmium in den Gammariden und Cadmium im Versuchswasser stimmten gut mit Verhältnissen überein, die aus Freilanddaten gewonnen worden waren.

Seepocken der Gattung *Balanus* sind als Bioindikatoren von Interesse, weil sich aus dem Meer einwandernde Larven auf künstlichen Substraten (z.B. Holzplatten) ansiedeln, so daß altersmäßig relativ gut definiertes Probenmaterial gewonnen werden kann. Darüber hinaus haben diese Organismen den Vorteil, absolut ortsfest zu sein.

Auch für Balaniden konnte die Fähigkeit nachgewiesen werden, bei verändertem Schwermetallangebot mit einer entsprechenden Aufnahme bzw. Abgabe zu reagieren. Hierzu wurde die Technik des sogenannten „Aktiv-Monitoring“ eingesetzt, d.h. es wurden mit Seepocken besiedelte Platten zwischen Stationen des Weser- und Elbe-Ästuars ausgetauscht und die Schwermetallkonzentrationen nach drei Monaten im Vergleich zu den am Standort verbliebenen Platten analysiert. Unter diesem Gesichtspunkt sind Seepocken wie auch Gammariden als Bioindikatoren geeignet.

Aspekte der Ökotoxikologie konnten nur in orientierenden Vorversuchen behandelt werden. Hinsichtlich des Sterblichkeitsverlaufs ergaben sich bei Gammariden in einem Laborexperiment trotz deutlich unterschiedlicher Cadmiumaufnahme keine Hinweise auf Einflüsse dieses Schwermetalls.

Zukünftig sollen weitere Untersuchungen durchgeführt werden vor allem unter stärkerer Berücksichtigung des ökotoxikologischen Aspekts.

Crustaceen-Datenbank

Veröffentlichungen über Crustaceen sind in der Literatur weit verstreut. Deshalb ist mit dem Aufbau einer Literatur-Datenbank begonnen worden. Die Initiative dazu ging von der Abteilung Vechta der Universität Osnabrück (Sieg) aus, und in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Zoomorphologie (Schminke) wird im Augenblick mit Unterstützung durch das Deutsche Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), Köln, die gesamte Literatur zunächst über Copepoda erfaßt und ausgewertet. Verknüpft mit diesem Projekt ist der Aufbau einer Sonderdruck-Bibliothek, die einmal alle Literatur über Copepoda enthalten und als Spezialbibliothek einmalig in der Welt sein wird.

Von der Literaturrefassung über Grundlagenforschung auf den Gebieten Systematik, Phylogenie, Ökologie und Physiologie bis zu angewandten Fragestellungen (Welter-nährung, Bioindikatoren) reicht die wissenschaftliche Beschäftigung Oldenburger Zoologen mit Crustaceen. Im März 1989 werden sich alle Crustaceen-Forscher der Bundesrepublik zur 4. Crustaceologen-Tagung in Oldenburg treffen.

Pheromone

Von Erich Zeeck, Jörg Hardege, Helga Bartels-Hardege und Günter Wesselmann



Platynereis dumerilii: Nicht geschlechtsreifes Jugendstadium (36 Tage alt)



Platynereis dumerilii: Geschlechtsreifes Weibchen

Lebende Organismen werden in ihren Reaktionen durch chemische und physikalische Reize gesteuert. Derartige Reize können von außen kommen, vor allem jedoch innerhalb des Organismus erfolgt die Regulierung der Vorgänge durch ein Geflecht von Rückkopplungsprozessen über den Austausch chemischer Signale. Hormone sind z.B. Substanzen, die im Organismus synthetisiert werden und auf die Funktion verschiedener, vom Hormonbildungsort entfernt liegender Organe einwirken. Unter Ektohormonen verstand man früher weitere Signalsubstanzen, die wie die Hormone im Organismus gebildet werden, ihre Wirkung aber nicht im erzeugenden Individuum entfalten, sondern in die Außenwelt abgegeben werden und hier bereits in äußerst geringen Konzentrationen auf ein anderes Individuum der gleichen Spezies einwirken, also für einen Signaltransfer zwischen verschiedenen Individuen einer Spezies sorgen. Karlson und Lüscher führten 1959 dafür den Namen Pheromone (anstelle des Namens Ektohormone) ein.

Zu den Pheromonen rechnet man Sexuallockstoffe, Alarmstoffe, Aggregations- oder Versammlungsstoffe, Angriffssignale, Spurfolge- oder Wegmarkierungsstoffe u.a.. Die Spurfolgepheromone sind zum Teil noch in Konzentrationen von 0,1 Pikoogramm/cm wirksam. Am besten untersucht sind bisher Insektenpheromone, und bei der Einführung des Namens Pheromone dachte man auch vorwiegend an Signalsubstanzen von Arthropoden, doch wird der Begriff inzwischen auch für andere Organismen bis hin zu Wirbeltieren und Pflanzen verwendet. Weitere Begriffe in diesem Zusammenhang sind Allomone (Substanzen, die für Beziehungen zwischen Individuen unterschiedlicher Spezies von Bedeutung sind und dem sie produzierenden Organismus Vorteile bringen, z.B. Alarmstoffe), Kairomone (Substanzen, wiederum für Beziehungen zwischen Individuen unterschiedlicher Spezies, die diesmal jedoch für den Empfänger von Vorteil sind, z.B. Spurfolgestoffe auch für Feinde der produzierenden Art), Gamone (Gametenlockstoffe von Algen, Moosen, Pilzen und Farnen) u.a..

Auf dem Gebiet der Sexuallockstoffe gibt es für Insekten, aber auch für landbewohnende Wirbeltiere eine Fülle von chemischen Strukturaufklärungen. Den Anfang machte Butenandt 1956 mit der chemischen Identifizierung des Sexualpheromons des Seidenspinners *Bombyx mori*, des Bombikols. Aus 500.000 Tieren wurden 12 mg der Substanz isoliert. Sie ist noch in Konzentrationen von 10^{-6} g/ml wirksam. Praktische Anwendung findet heute z.B. der Sexuallockstoff des Borkenkäfers bei der biologischen Schädlingsbekämpfung.

Es ist erstaunlich, daß demgegenüber bis vor kurzem kein einziges Sexualpheromon eines wasserbewohnenden Tieres chemisch identifiziert worden war, obwohl es Versuche in dieser Richtung gegeben hat und obwohl biologische Beobachtungen das Vorhandensein derartiger Pheromone bewiesen haben. Eine Ausnahme sind allenfalls die Ecdysone, Häutungshormone bei Crustaceen, die möglicherweise auch die Funktion von Sexuallockstoffen haben, doch ist das bis heute umstritten.

Kürzlich gelang jetzt an der Universität Oldenburg die erste Strukturaufklärung eines Sexualpheromones eines marinen Tieres. Es handelt sich um einen in seinem Fortpflanzungsverhalten sehr interessanten, im Küstenbereich gemäßigter bis tropischer Klimate auftretenden Borstenwurm, *Platynereis dumerilii*.

Hauenschild beobachtete, daß das Fortpflanzungsverhalten dieser Spezies mondphasenabhängig ist. Die Fortpflanzung findet bei Neumond und in der Woche nach Neumond statt. Zuvor haben die Tiere eine Metamorphose durchgemacht, vergleichbar der Metamorphose von Raupe zu Schmetterling, wenn auch morphologisch weniger auffällig. Die zuerst bodenbewohnenden, in Röhren lebenden Tiere verwandeln sich in sogenannte Heteronereiden, die zu außerordentlich raschem Schwimmen fähig sind. In der Neumondnacht steigen diese Heteronereiden zur Wasseroberfläche auf. Männchen und Weibchen umkreisen

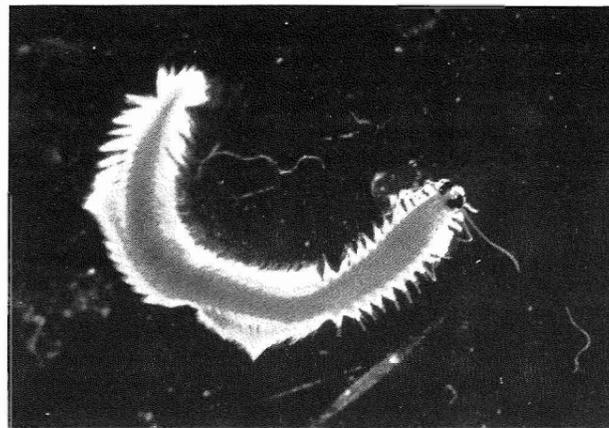
sich in engen Zirkeln und geben synchron ihre Gameten ab. Die Synchronisation ist wichtig, weil die Eier nur wenige Minuten befruchtungsfähig sind.

Sowohl das Sichfinden von Männchen und Weibchen in der freien Wassersäule als auch die Synchronisation der Gametenabgabe werden von chemischen Signalsubstanzen, Pheromonen, gesteuert. Die Arbeitsgruppe von Boilly-Marer in Lille, Frankreich, hat seit mehr als anderthalb Jahrzehnten Untersuchungen über diese Pheromone durchgeführt und ihr Vorhandensein und ihre elektrophysiologische Wirkung nachgewiesen, ohne daß ihr allerdings eine eindeutige Strukturaufklärung gelang, obwohl sie zuletzt den Extrakt von 800.000 Tieren aufarbeitete. Sie konnte zeigen, daß eines der wirksamen Pheromone zu den Steroiden gehören muß.

Als die Oldenburger Arbeitsgruppe sich der Untersuchung dieser Pheromone zuwandte, ging sie von einer Arbeitshypothese aus, die im Widerspruch zu vielen bisher in der Literatur vertretenen Hypothesen stand, die jedoch andererseits durch frühere, später nicht mehr weiter verfolgte Befunde von Boilly-Marer gestützt schien, daß nämlich niedermolekulare (kleinere als Steroide) und relativ schlecht wasserlösliche Substanzen zu den Pheromonen von *P. dumerilii* gehören könnten. Mit einer für derartige Substanzen geeigneten Technik - Ausblastechnik nach dem Prinzip der in der Technischen Chemie bekannten Blasensäulen, jedoch für Braunalgenpheromone optimiert von Gaßmann - gelang es in der Tat, Pheromone anzureichern, mit Hilfe von Biotests aktive Fraktionen zu bestimmen und schließlich die Substanzen durch massenspektrometrische Analyse und durch chemische Synthese zu identifizieren.

Es zeigte sich, daß das Fortpflanzungsverhalten von *P. dumerilii* durch ein ganzes Bouquet von Signalsubstanzen gesteuert wird. Die erste der Komponenten, die identifiziert werden konnten, ist die Verbindung 5-Methyl-3-heptanon, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-CH}_3$. Zwei Aspekte sind an dieser chemisch sehr einfachen Verbindung bemerkenswert: Von den beiden optischen Isomeren dieser Substanz wird die S(+)-Verbindung nur von den Männchen produziert und wirkt nur auf die Weibchen, während die R(-)-Verbindung umgekehrt von den Weibchen erzeugt wird und auf die Männchen wirkt. Die S(+)- und R(-)-Verbindung verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild, so wie etwa rechte und linke Hand. Es ist ein interessantes und selten beobachtetes Phänomen, daß Männchen und Weibchen sich in dieser Weise auf die Erkennung jeweils eines Spiegelbildisomeren ein und derselben Verbindung spezialisieren können.

Der zweite Aspekt ist die Ähnlichkeit mit Insektenpheromonen. Das 5-Methyl-3-heptanon der Meeresborstenwürmer wirkt als Alarmpheromon bei Ameisen, und es gibt eine Reihe weiterer



Platynereis dumerilii: Geschlechtsreifes Männchen

Insektenpheromone, die dieser Verbindung strukturell nahe verwandt sind. Überraschend ist dieses Ergebnis deswegen, weil vielfach davon ausgegangen wurde, daß Signalsubstanzen wasserbewohnender Tiere deutlich andere Strukturmerkmale aufweisen sollten als die landbewohnender Tiere. Andererseits stammen die Meeresborstenwürmer und allgemeiner die Anneliden entwicklungsgeschichtlich aus der gleichen Wurzel wie die Gliederfüßer (Arthropoden), zu denen die Insekten gehören, und es ergeben sich aus der Ähnlichkeit der verwendeten Signalsubstanzen interessante evolutionstheoretische Konsequenzen. Meeresbewohnende Anneliden sind stammesgeschichtlich älter als die landbewohnenden Insekten. Die Eroberung des terrestrischen Lebensraumes stellte sich in einigen Evolutionstheorien auch dadurch als schwierig dar, weil bei völlig unterschiedlichen chemischen Informationssystemen für Land und Wasser der Übergang vom aquatischen zum terrestrischen Bereich mit anfänglicher chemischer „Blindheit“ und der Notwendigkeit der Entwicklung neuer Pheromone und entsprechender Rezeptoren verbunden gewesen wäre. Diese Überlegungen sind also hinfallig, es gibt offensichtlich Signalsubstanzen, die für die aquatischen Organismen gleichermaßen geeignet sind wie für die terrestrischen. Das bestätigte sich auch bei der Strukturaufklärung weiterer Komponenten des Pheromonbouquets von *Platynereis dumerilii* durch die Oldenburger Arbeitsgruppe. Es wurden ein 5-Methyl-decan- und ein Octadienonisomer identifiziert, beide Verbindungen sind mit Insektenpheromonen nahe verwandt.

Diese Ergebnisse geben der marinen Pheromonforschung neue Impulse und lassen erwarten, daß in naher Zukunft weitere Strukturaufklärungen folgen werden mit interessanten Aspekten für die Evolutionstheorie und für die Beziehungen der Arten untereinander.

Das Bank- Überweisungs- Einzahlungs- Auszahlungs- Buchungs- Salden- Formular

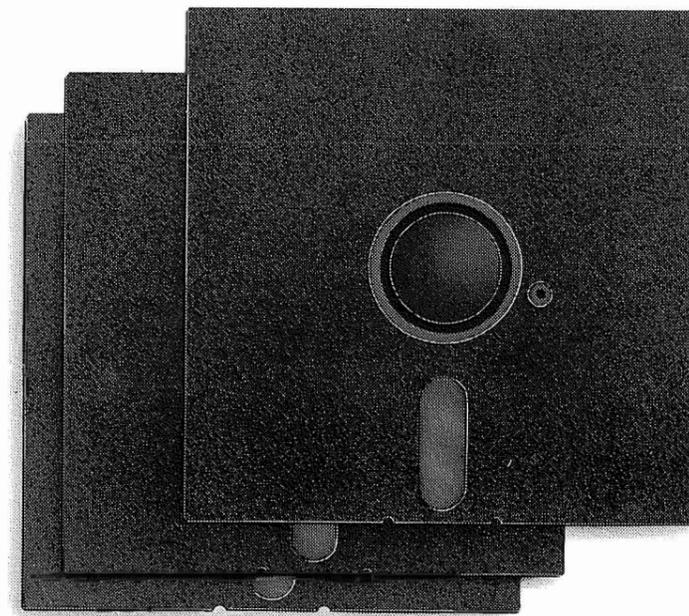
So sehen heute Konten aus.
Nichtssagend.

Vielsagend werden sie erst im
Computer. Das ermöglicht blitz-
schnelle Information für indivi-
duelle Beratung.

Weil Ihre Volksbank oder Raiff-
eisenbank die Kontoführung und
alle weiteren Bankleistungen mit
Hilfe moderner Technologien
abwickelt, hat sie es leichter, noch
schneller zu sein – geht es schnel-
ler, noch besser zu sein – geht es
besser, noch vielseitiger zu sein.
Insgesamt hat sie das erreicht, was
sie wollte: mehr Zeit für Sie
persönlich.

Das spüren Sie beim Besuch Ihrer
 Volksbank oder Raiffeisenbank.

Denn jede dieser Banken in Nord-
deutschland ist mit uns – ihrer
Zentralbank – verbunden. Auch
technisch.



Norddeutsche Genossenschaftsbank AG

Hannover, Schiffgraben 53 – 57
und Rathenastr. 5 – 6
Hamburg, Stephansplatz 10 · Kiel, Raiffeisenstr. 1
Oldenburg, Raiffeisenstr. 22/23

Fronten in der Deutschen Bucht

Von Gunther Krause und Rainer Reuter

Meeresforscher verschiedener Institutionen haben sich 1983 zu einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektgruppe, dem „Frontenprojekt“, zusammengeschlossen. Gemeinsames Ziel der Ozeanographen und Biologen aus dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) sowie Chemikern und Physikern der Universitäten Hamburg und Oldenburg ist es, hydrographische Prozesse besser verstehen zu lernen, deren Bedeutung für die Deutsche Bucht damals gerade erst erkannt worden war: Die Ausbildung abrupter Übergänge zwischen den charakteristischen Wassermassen in diesem Seegebiet, die in Anlehnung an analoge Erscheinungen zwischen warmer und kalter Luft als Fronten bezeichnet werden.



Abb. 1: Luftaufnahme einer Front, die sich durch einen kräftigen Schaumstreifen auszeichnet. Die Strömung verläuft so, daß das Wasser an der Oberfläche im Bereich der Front zusammenläuft. An der Wasseroberfläche vorhandenes organisches Material akkumuliert daher an der Front, es entsteht Schaum.

Manche Fronten im Meer lassen sich von einem aufmerksamen Beobachter bei ruhigem Wetter leicht auffinden: sie machen sich durch einen kräftigen Schaumstreifen auf der Wasseroberfläche bemerkbar. Abbildung 1 zeigt dies eindrucksvoll in einer Luftaufnahme. Im allgemeinen sind die Wassermassengrenzen im Meer jedoch nur durch Messungen vom Schiff, vom Flugzeug oder Satelliten aus festzustellen.

Was ist jedoch unter hydrographischen Fronten genauer zu verstehen? Welche besonderen Eigenschaften zeichnen sie aus, und welche Mechanismen sind für ihre Entstehung und ihren Zerfall verantwortlich? Welche Bedeutung haben sie für den Transport von Substanzen im Meerwasser und die darauf beruhenden biologischen Vorgänge?

Ursachen von Fronten in Schelfmeeren

Ein Schelfmeer wie die Deutsche Bucht unterliegt einer Vielzahl äußerer Einflüsse, die die Eigenschaften seiner Wassermassen prägen. Diese Einflüsse und insbesondere ihre räumliche und zeitliche Veränderlichkeit stellen den Schlüssel für das Auftreten von Fronten dar.

Die Deutsche Bucht ist in erster Linie in das System der großräumigen Meeresströmungen der Nordsee eingebunden. Der Englische Kanal und die See zwischen Norwegen und Schottland stellen die wichtigsten Verbindungen zum Nordatlantik dar. Die ganz großen Zu- und Abflüsse, die für den großräumigen Wasseraustausch maßgeblich sind, liegen daher von der Deutschen Bucht weit entfernt. Wegen dieser Randlage besitzt das Meerwasser vor unserer „Haustür“ eine vergleichsweise lange Verweilzeit in der Größenordnung von ein bis zwei Jahren.

Jeden Tag wird das Wasser dabei durch kräftige Gezeitenströme hin- und herbewegt. Im Verlauf von zwei Jahren gibt es zahlreiche Stürme. Diese Einflüsse haben zusammen mit der winterlichen Abkühlung das Bestreben, die Wassermassen der Deutschen Bucht gut zu vermischen, und man sollte deshalb annehmen, von der Ems bis nach Sylt im wesentlichen die gleiche Meerwasserart vorzufinden, die unmittelbare Nähe der Mündungsgebiete der Flüsse einmal ausgenommen.

Moderne Meßmethoden haben jedoch gezeigt, daß lokale Einflüsse auf das Nordseewasser viel größer sind als bislang gedacht: Das Flußwasser aus Weser und Elbe widerstrebt der Vermischung durch Wind- und Gezeitenstromturbulenz hartnäckig. Es schwimmt auf dem schwereren Nordseewasser. Nach unten hin beobachtet man eine Sprungschicht, in der der Salzgehalt auf wenigen Metern stark ansteigt, und das gleiche gilt auch in der Horizontalen, wo der plötzliche Übergang als Front bezeichnet wird.

Das Schwimmen des Brackwasserkörpers hat zur Folge, daß er sich einige Zentimeter über das Niveau des Nordseewassers erhebt. An der Front gleicht sich der Wasserstandsunterschied aus. Wasser strömt den „Hang“ hinunter und mit ihm alles, was schwimmt, Treibholz, Schiffsmüll, Schwebeteilchen und Plank-

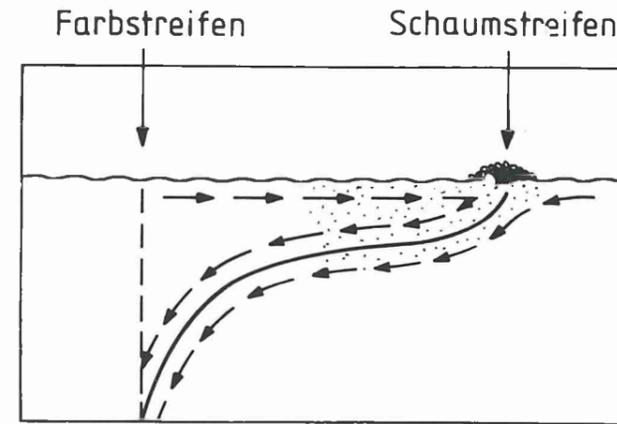


Abb. 2: Schematische Darstellung einer zusammenlaufenden ('konvergenten') Front im Querschnitt (verändert nach Wellershaus, AWI). Pfeile bezeichnen die Strömungsrichtung des Wassers im Bereich der Front an der Oberfläche und an der Sprungschicht in der Wassersäule. Das an der Oberfläche konvergierende Wasser ist die Ursache des die Lage der Front kennzeichnenden Schaumstreifens wie auch der Ansammlung von Schwebstoffen unmittelbar unter der Wasseroberfläche. Wegen der unter der Oberfläche sehr flachen Neigung der Sprungschicht - sie beträgt typisch ein Grad-, welche die Wassermassen mit unterschiedlichen Eigenschaften voneinander trennt, ist der Farbstreifen meist seitlich etwas versetzt zu beobachten.

ton. Da das Wasser aus Kontinuitätsgründen an den Fronten nach unten weggeführt wird (Abb. 2), werden die schwimmfähigen Dinge in der Frontalzone angereichert, die schwereren in die Sprungschicht und letztlich zum Boden transportiert. Der Schaumstreifen an der Meeresoberfläche ist der Bereich, in dem sich Luftbläschen und die kleinsten Partikel ansammeln, während Treibgut je nach Tiefgang dort hängen bleibt, wo der Brackwasserkörper schon einige Dezimeter tief ist. Dort beobachtet man auch meist eine sprunghafte Änderung der Meerwasserfarbe. Der Farbkontrast wird durch Schwebstoffe hervorgerufen, die auf beiden Seiten einer Front in unterschiedlicher Konzentration und Zusammensetzung auftreten und daher das Licht verschieden absorbieren oder streuen. Die verschiedenen optischen

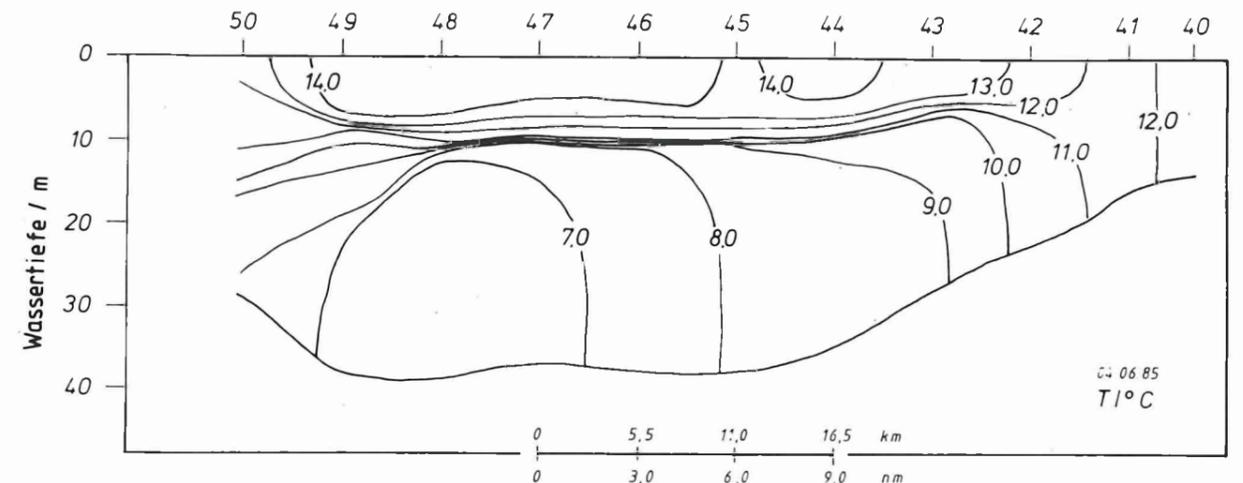


Abb. 3: Linien gleicher Temperatur in der Wassersäule auf einem Nord-Süd-Schnitt vor der ostfriesischen Küste. In zehn Meter Wassertiefe findet sich eine Temperatursprungschicht, die bei Station 42 die Wasseroberfläche und den Meeresboden erreicht und dort eine Front bildet. Die Daten wurden während einer studentischen Exkursion auf dem Forschungsschiff „Victor Hensen“ des AWI erhalten.

Eigenschaften der Wasserkörper sind für die Fernerkundung von Fronten bedeutsam, wie später noch gezeigt wird.

Frontalzonen dieser Art sind in Schelfmeeren einige hundert Meter, in manchen Fällen aber auch nur wenige Meter breit, während ihre Länge 10 bis 50 Kilometer betragen kann.

Neben dem Eintrag von Frischwasser als Ursache für Fronten in der Deutschen Bucht bewirken die sommerliche Einstrahlung zusammen mit der Gezeitenstromturbulenz ebenfalls Modifikationen der Wassermassen, die sich durch plötzliche Temperaturunterschiede an der Oberfläche bemerkbar machen. Im Bereich des Elbe-Urstromtales bei Helgoland können kältere Wassermassen bei ablandigem Wind aber auch von unten aufquellen und sich sehr scharf vom übrigen Wasser abgrenzen. Aus der Vielzahl der Frontentypen möchten wir zwei Beispiele herausgreifen, die in der Deutschen Bucht sehr häufig anzutreffen sind und den hydrographischen Charakter dieses Gebietes wesentlich prägen.

Fronten durch Gezeitenstrommischung

Der Gezeitenhub und die hiermit verknüpfte Gezeitenströmung sind bei Annäherung an die Küste wegen der geringer werdenden Wassertiefe zunehmend ausgeprägter auftretende Erscheinungen. Wird eine kritische Tiefenlinie unterschritten, so werden die Gezeitenströme so kräftig, daß durch die damit einhergehende turbulente Vermischung eine Schichtung der Wassersäule zerstört wird und die Wassersäule von der Oberfläche bis zum Boden homogene Eigenschaften erhält. Der Übergangsbereich von geschichtetem zu vertikal durchmischtem Wasser wird daher als Gezeitenmischungsfront bezeichnet.

Ein Beispiel für diesen Frontentyp ist in Abb. 3 wiedergegeben. Bei genauerer Betrachtung der Linien gleicher Temperatur kommt man zu einem zunächst überraschenden Ergebnis: obwohl die Messungen im Sommer erhalten wurden, ist das Wasser an der Oberfläche in Küstennähe kälter als auf der offenen See. Dies erklärt sich durch die gezeitenstrombedingte Vermischung des durch die Sonnenstrahlung an der Oberfläche erwärmten Wassers mit dem kälteren Tiefenwasser. Verglichen mit der Umgebung erscheint die Wasseroberfläche daher anomal kalt. Der Effekt beträgt typisch etwa ein Grad und ist keineswegs auf ein

SIEMENS

SINIX-Computer sind in ganz Europa sehr erfolgreich. Das kommt nicht von ungefähr, denn mehr und mehr Anwender achten bei der Auswahl ihres Computers auf Zukunftssicherheit durch offene und weltweite Standards. Das Betriebssystem SINIX erfüllt diese Standards, denn es ist das UNIX von Siemens. Und UNIX ist heute der Weltstandard für Mehrplatz-Computer. Die SINIX-Familie von Siemens bietet für jede Anforderung das richtige Modell – vom Einplatzsystem bis zum Mehrplatzsystem mit bis zu 64 Arbeitsplätzen.

Ihre Aufgaben wachsen.
Siemens Computer auch.

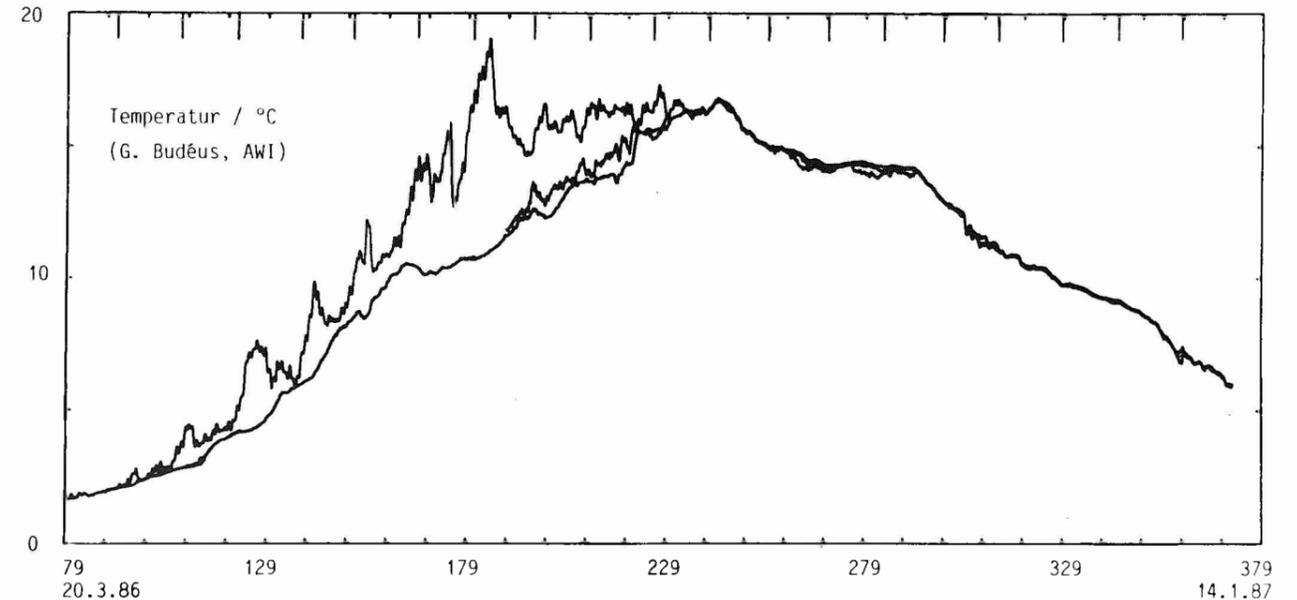
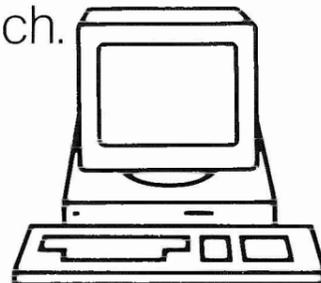


Abb. 4: Registrierung der Temperatur in der Deutschen Bucht mit drei an einer Verankerung übereinander angeordneten Instrumenten. Meßzeitraum 20. März 1986 bis 14. Januar 1987. Die Wassertiefe beträgt 40 Meter. Von März bis Juli (linke Bildhälfte) erwärmt sich das Wasser in Bodennähe etwa monoton (untere Kurve). Von August bis Januar (rechte Bildhälfte) nimmt die Temperatur gleichmäßig in der ganzen Wassersäule ab, eine Schichtung ist nicht mehr vorhanden.

kleines Gebiet beschränkt: In Temperaturkarten, die von Satelliten aus gemessen werden, findet man in den Sommermonaten einen etwa zehn Kilometer breiten den ostfriesischen Inseln vorgelagerten Gürtel kälteren Wassers mit Ausläufern über die Doggerbank bis zu den Britischen Inseln. Da das für die geringere Temperatur verantwortliche Tiefenwasser gleichzeitig reich an Nährstoffen ist, findet in diesem Gürtel ein ausgeprägtes Wachstum von Algen statt. Dieses Nahrungsangebot lockt Seevögel, Fische - und letzten Endes auch Fischereifahrzeuge - an.

Die Gezeitenmischungsfront hat nur in den Sommermonaten Bestand, da im Rest des Jahres die Erwärmung der oberen Wassersäule durch die Sonnenstrahlung zu gering ist, um eine Temperaturschichtung aufrechtzuerhalten. Eine von G. Budéus am Alfred-Wegener-Institut durchgeführte Untersuchung der hierfür maßgeblichen Bedingungen mit Hilfe von Daten verankerter Meßgeräte zeigt neben diesem Jahreszyklus weitere interessante und wesentlich kurzzeitige Variabilitäten in der Phase des Wärmeeintrags im Frühjahr (Abb. 4). Man erkennt in den Registrierungen der Temperatur in verschiedenen Wassertiefen kurze Perioden thermischer Schichtung, die mehrere Male von Zeiten vertikaler Durchmischung abgelöst werden, ehe sich im Sommer eine Schichtung längerer Dauer ausbildet. Der etwa 14tägige Rhythmus dieser Schichtung, und damit auch der Gezeitenmischungsfront, läßt auf einen Zusammenhang mit dem Spring-Nipp-Zyklus der Gezeitenströmung schließen: während der Nippzeiten, in Abb. 4 am oberen Rand markiert, finden sich wegen der geringeren Gezeitenströme und der somit reduzierten Gezeitenstromturbulenz besonders gute Bedingungen für die Ausbildung von Front und Schichtung.

Die kontinuierlich erhaltenen Temperaturwerte illustrieren gleichzeitig auch die Variabilität der hydrographischen Verhältnisse in der Deutschen Bucht. Sie weisen so kurzzeitige Skalen auf, daß man kaum über mehr als einige Tage eine ähnliche bleibende Situation vorfindet. Dies kennzeichnet die hydrographische Komplexität der Deutschen Bucht und unterstreicht die

Bedeutung schneller synoptischer Aufnahmen dieses Meeresgebiets.

Fronten durch Flußwasserzufuhr

Solche synoptische Aufnahmen lassen sich leicht erhalten, wenn Messungen von Forschungsflugzeugen aus durchgeführt werden: die Wassermassen der Deutschen Bucht können dann in etwa zwei Stunden kartiert werden. Da diese Zeitspanne wesentlich kürzer als die 12stündige Gezeitenperiode ist, erhält man in guter Näherung eine Momentaufnahme der hydrographischen Verhältnisse.

Das am Fachbereich Physik der Universität entwickelte Lidar-Fernmeßverfahren (Lidar: *Light detection and ranging*) erlaubt es, solche Messungen vom Flugzeug aus durchzuführen. Hochleistungslaser erzeugen sehr kurze intensive Lichtimpulse im sichtbaren oder ultravioletten Spektralbereich, die von 200 Meter Flughöhe aus zur Wasseroberfläche ausgesandt werden. Sie dringen in die oberen Wasserschichten ein und erzeugen Streu- und Fluoreszenzlicht, welches von einem Teleskop an Bord des Flugzeugs empfangen und dann analysiert wird. Die Meßdaten stellen die Konzentration streuender oder fluoreszierender Substanzen dar.

Gelöste organische Stoffe sind eine Substanzgruppe, die mit diesem Verfahren empfindlich registriert werden können. Sie entstehen im wesentlichen durch den Zerfall pflanzlichen Materials auf dem Festland, sind somit natürlichen Ursprungs und werden durch Flüsse dem Meer zugeführt. Wegen der Eigenschaft, in höherer Konzentration das Wasser charakteristisch gelb zu färben, werden sie in der Meereskunde mit dem Sammelbegriff 'Gelbstoff' umschrieben.

Die Besonderheit des Gelbstoffs, chemisch vergleichsweise stabil zu sein, eröffnet einen wichtigen Anwendungsbereich als Markierungssubstanz: die Transportwege von Flußwasser im Küstenbe-

reich und seine Vermischung mit Meerwasser läßt sich durch Kartierung der Gelbstoffkonzentration verfolgen.

Hierdurch wird es möglich, die durch Flußwassereinträge in Mündungsgebieten hervorgerufenen Fronten mit Laserfernerkundung zu untersuchen. Abb. 5 zeigt dieses am Beispiel einer Kartierung der Gelbstoffverteilung in der Deutschen Bucht. Drei Wassertypen, in der Karte schraffiert hervorgehoben, treten dominant in Erscheinung: die offene Deutsche Bucht (1) mit geringen und das Elbeästuar (3) mit extrem hohen Gelbstoffwerten sowie ein Zwischengebiet (2), welches durch Vermischung dieser Wasserkörper unter dem Einfluß der turbulenten Gezeitenströmung erzeugt wird.

3.-5.10.85 water masses

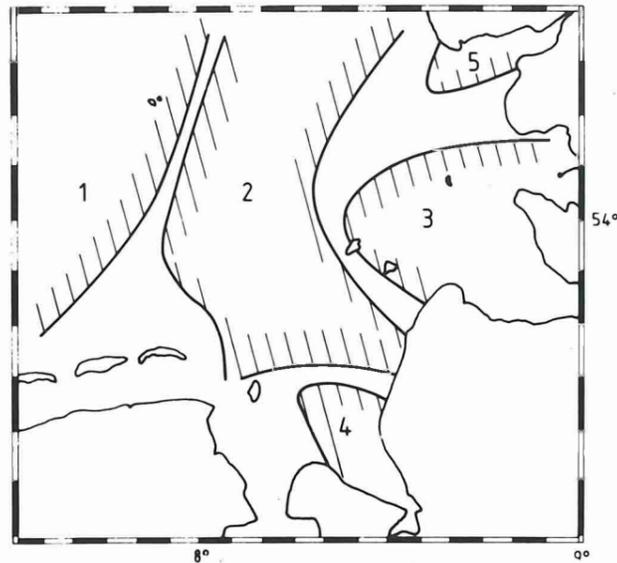


Abb. 5: Wassertypen in der Deutschen Bucht (schraffierte Flächen), abgeleitet aus der Messung der Fluoreszenz des Gelbstoffs mit Laserfernerkundung in Befliegungen am 3. und 4. Oktober 1985. (1) offene See, (2) Vermischungszone, (3) Elbe-Ästuar, (4) Weser-Ästuar, (5) Eider-Ästuar. Die Übergangsbereiche zwischen diesen Gebieten stellen durch die Flußwassereinträge hervorgerufene Fronten dar.

Die Gelbstoffwerte innerhalb dieser schraffierten Flächen sind mit Ausnahme des sehr turbulenten Elbewassers, Gebiet 3, etwa konstant, während in den Übergangsbereichen sprunghafte Änderungen vorgefunden werden: Flußwasserfronten. Um dieses näher zu verdeutlichen, sind in Abb. 6 einige der Flugdaten, aus denen die Karte konstruiert wurde, wiedergegeben. Man erkennt, daß sich insbesondere die Front vor dem Elbeästuar als eine sehr scharfe auf wenige Meter begrenzte 'Kante' in Erscheinung tritt. Die das Vermischungsgebiet 2 von der offenen See trennende Front ist vergleichsweise weich und erstreckt sich über eine Breite von mehreren Kilometern.

Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, daß hydrographische Prozesse auch in räumlich überschaubaren Küstenbereichen wie der Deutschen Bucht sehr komplex sind. Die Ausbildung charakteristischer Wassermassen und die Lage der sie trennenden Fronten ist wegen der vielfältigen Entstehungsbedingungen nur schwer vorhersagbar und muß durch geeignete Meßverfahren ermittelt werden. Dies gilt umso mehr, als die typischen Längenskalen dieser Fronten häufig nur wenige Kilometer betragen. Sehr kleinskalige Vorgänge sind demnach für die Eigenschaften der gesamten Deutschen Bucht wesentlich.

Gleichzeitig sind solche Strukturen von ausschlaggebender Be-

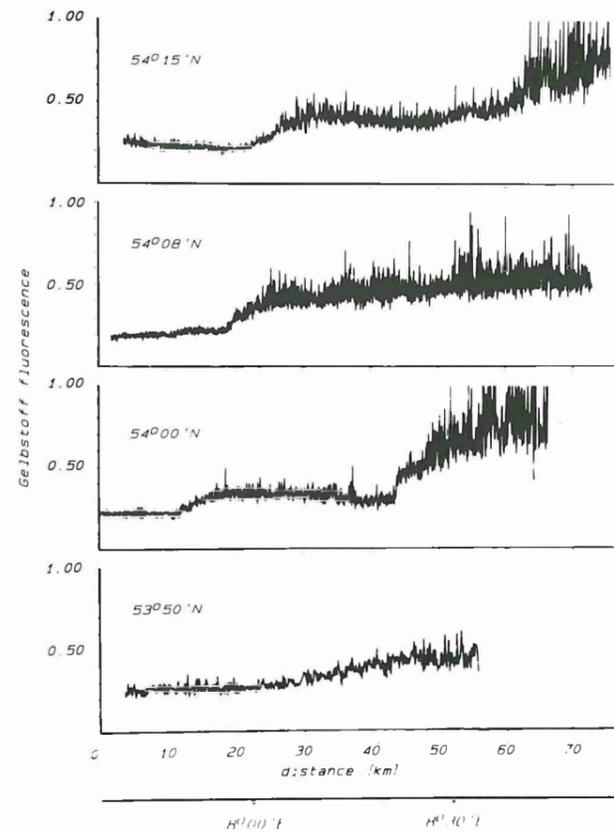
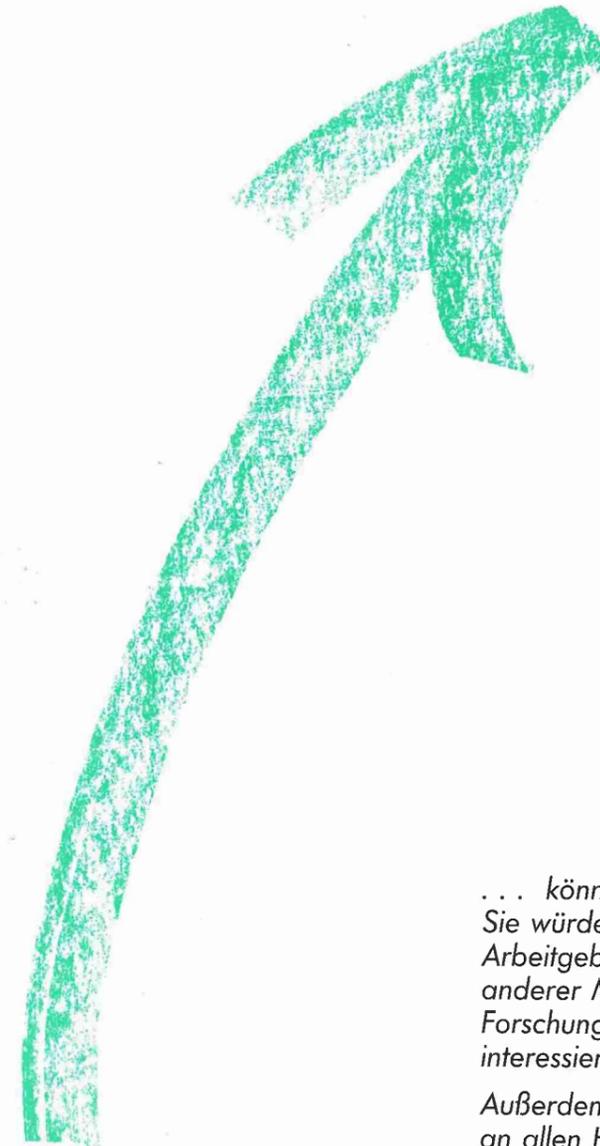


Abb. 6: Profile der Fluoreszenz des Gelbstoffs, in der Befliegung am 4. Oktober mit Laserfernerkundung erhalten. Die Flugkurse verlaufen von West nach Ost auf verschiedenen Breitengraden. Aus diesen und weiteren Daten wurde die in Abb. 5 gezeigte Karte abgeleitet. Das Profil auf 54°15'N zeigt von links nach rechts die Wassertypen 1 (offene See), 2 (Vermischungszone) und 5 (Eider). Die Profile auf 54°00'N registrierten die Wassertypen 1 und 2 bzw. 1, 2, und 3 (Elbe-Ästuar); die Ausbildung von Fronten ist in diesem Profil besonders deutlich zu erkennen. Das Profil auf 53°50'N liegt vor den ostfriesischen Inseln und dem Weser-Ästuar und zeigt nur geringe Schwankungen des Gelbstoffs.

deutung für alle weiteren physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge. Zwei Beispiele wurden genannt: Gezeitenstromfronten führen zum Auftrieb kalten und nährstoffreichen Tiefenwassers an die Wasseroberfläche und ermöglichen somit hohe biologische Produktivität; Flußwasserfronten markieren die Transportwege von Flußwassereinträgen und der darin enthaltenen Trüb-, Nähr- und Schadstoffe.

Diese Ergebnisse werden daher für die Formulierung geeigneter Meßstrategien für zukünftige ozeanographische Forschungsprogramme von Bedeutung sein. Das Ziel dieser Programme wird es sein, eine Beurteilung des Zustandes und möglichst auch des Entwicklungstrends der Deutschen Bucht wie anderer ökologisch gefährdeter Meeresgebiete mit höherer Verlässlichkeit abzuleiten, als dies bisher durch eher stichprobenartig verlaufende Untersuchungen möglich gewesen ist. Neben der Anwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung von Strömungen wird dieses Konzept eine kontinuierliche Registrierung geeigneter Meßgrößen umfassen. Die genutzten Meßverfahren müssen eine räumliche Auflösung erlauben, bei der so wichtige Vorgänge wie die hier beschriebenen Fronten nicht durch das Gitternetz 'hindurchfallen', sondern zuverlässig registriert werden.

H I E R . . .



... könnte Ihre Anzeige stehen. Sie würde gelesen von Wissenschaftlern, Arbeitgebern, Politikern, Mitarbeitern anderer Medien – von allen, die an der Forschung in der Region Nordwest interessiert sind.

Außerdem findet EINBLICKE Interesse an allen Hochschulen in der Bundesrepublik Deutschland und fünfzig Universitäten in aller Welt.

Wenn das kein Grund ist, in EINBLICKE zu werben. Alles weitere erfahren Sie unter (04 41) 77 60 60.

Lassen sich schwere organische Moleküle im Watt wiegen?

Von Eberhard Hilf, Friedrich Kammer, Jürgen Metzger, Wilfried Tuszynski und Karl Wien

Ein Arbeitsschwerpunkt des neugegründeten Institutes für Chemie und Biologie des Meeres der Universität Oldenburg ist die Erforschung der Ökologie der Nordsee. Untersucht werden soll vor allem der Stoffkreislauf im Küstensediment: hier werden Schadstoffe angelagert oder umgesetzt, die nachhaltig die Fauna und Flora beeinflussen. Dabei geht es nicht nur um direkt sichtbare Schädigungen, wie sie z.B. eine Ölpest hervorruft, sondern auch um Veränderungen, die sich in der Mikrofauna und -flora über Jahre hinweg abspielen können, und die über Nahrungsketten und andere ökologische Zusammenhänge alle Bereiche des küstennahen Lebens beeinflussen.

Einbringung, Transport und Verbleib von organischen Stoffen im Küstensediment ergeben darum eine wichtige wissenschaftliche Fragestellung; ihre Untersuchung erfordert neben biochemischer und biologischer Forschung auch die Entwicklung neuer meßtechnischer Methoden. Hier wird ein Verfahren aus der Kernphysik vorgestellt, die Cf^{252} -Plasma-Desorptionsspektroskopie.

Problemstellung

Die chemische Zusammensetzung in den Porenräumen des Sediments ist bezüglich der anorganischen Anteile gut untersucht und experimentell leicht beobachtbar; es gibt viele Meßverfahren auch vor Ort. Die Moleküle sind leicht und stabil. Die Probenentnahme und -untersuchung im Labor ist oft relativ unproblematisch. Die chemische Zusammensetzung hängt jedoch davon ab, welche Umweltbedingungen gegeben sind: aus physikalischen Parametern wie Temperatur, Dichte oder Salzgehalt lassen sich chemische Reaktionsnetzwerke (gekoppelte chemische Reaktionen zwischen den Komponenten) theoretisch berechnen. Die Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen gut überein, wenn auch wirklich nur die gemessenen anorganischen Stoffe anwesend sind. Dann sind Vorhersagen möglich, etwa in anorganisch-chemischen Modellen dafür, wenn sich 'Flußwasser' mit Meerwasser vermischt oder wenn der Porenraum im Sediment durch Wind oder Strom freigelegt wird. Anders ist es aber, wenn organische Stoffe anwesend sind, und seien es nur Abbauprodukte biologischer Materials. Dies ist im Sediment der küstennahen Zone der Normalfall.

Insbesondere die biologisch-chemischen Moleküle mit Molekulargewichten über 500 sind weitgehend unvermessbar. Der Grund dafür ist, daß die meisten Massenspektrometrie(MS)- oder Wiege-Verfahren als „Molekülwaagen“ so schwere Massen direkt nicht messen können. Schwere organische Bio-Moleküle sind in der Regel recht instabil - sie zerfallen oder verändern sich schon bei Temperaturen unterhalb von 100°C (jedem bekannt, wenn er ein Ei kocht und das Eiweiß gerinnt). Die bisherigen MS-Verfahren „heizen“ die Moleküle verfahrensbedingt zu sehr auf. Man sieht dann nur noch die Bruchstücke, aus denen dann versucht wird, auf das Molekül und seine chemische Struktur zu schließen. Oft sind diese Moleküle sogar so zerbrechlich, daß sie schon auf sanftere Umwelteinwirkungen reagieren und sich verändern, z.B. auf die im Watt normalerweise vorkommende Variationsbreite der physikalischen und chemischen Umweltbedin-

gungen. So gibt es lange Fadenmoleküle, die im Süßwasser ein kugelförmiges Knäuel bilden, im Salzwasser sich aber strecken. Daher muß ein Nachweisverfahren gesucht werden, das der Fragilität der Moleküle angepaßt ist. Ein solches soll hier vorgestellt werden.

Die große Umweltempfindlichkeit gerade der schweren organischen Moleküle öffnet den Meeresforschern ein weites Feld: wenn man diese Moleküle in natürlicher Umgebung nachweisen und ihre Konzentration messen könnte, so hätte man ein empfindliches Instrument, um eben gerade die Umweltbedingungen im Sediment oder der Wassersäule festzustellen. Diese Idee, Menge und Art chemischer Stoffe als Hinweis („Tracer“) biologischer Situationen in der Natur zu nutzen, ist natürlich bekannt. So hat man versucht, die Häufigkeit und die Mischung verschiedener Bakterien, statt sie in jeder Probe mühsam auszuzählen, zu bestimmen, indem man das Vorhandensein und die Konzentration leichter organischer Moleküle experimentell feststellt, von denen man dann hofft, daß sie als spezifischer Tracer brauchbar sind. Weil diese sich aber wegen ihrer chemischen Stabilität als zu unspezifisch erwiesen, ist dies zunächst nicht geglückt.

Das Vorhaben

Der Lösung dieser Probleme näherzukommen, ist das Ziel eines Projektes, das seit März dieses Jahres läuft und vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) gefördert wird. Es sieht die Einführung einer neuen Meßtechnik, der „Plasma-Desorptionsspektrometrie“, kurz PDMS, in die Meeresforschung vor. Bisher hat sich die Wissenschaft im wesentlichen mit den Grundlagen der Methode befaßt, hier soll sie nach einer Entwicklungsphase erstmals routinemäßig für massenspektrometrische Untersuchungen mariner Proben eingesetzt werden.

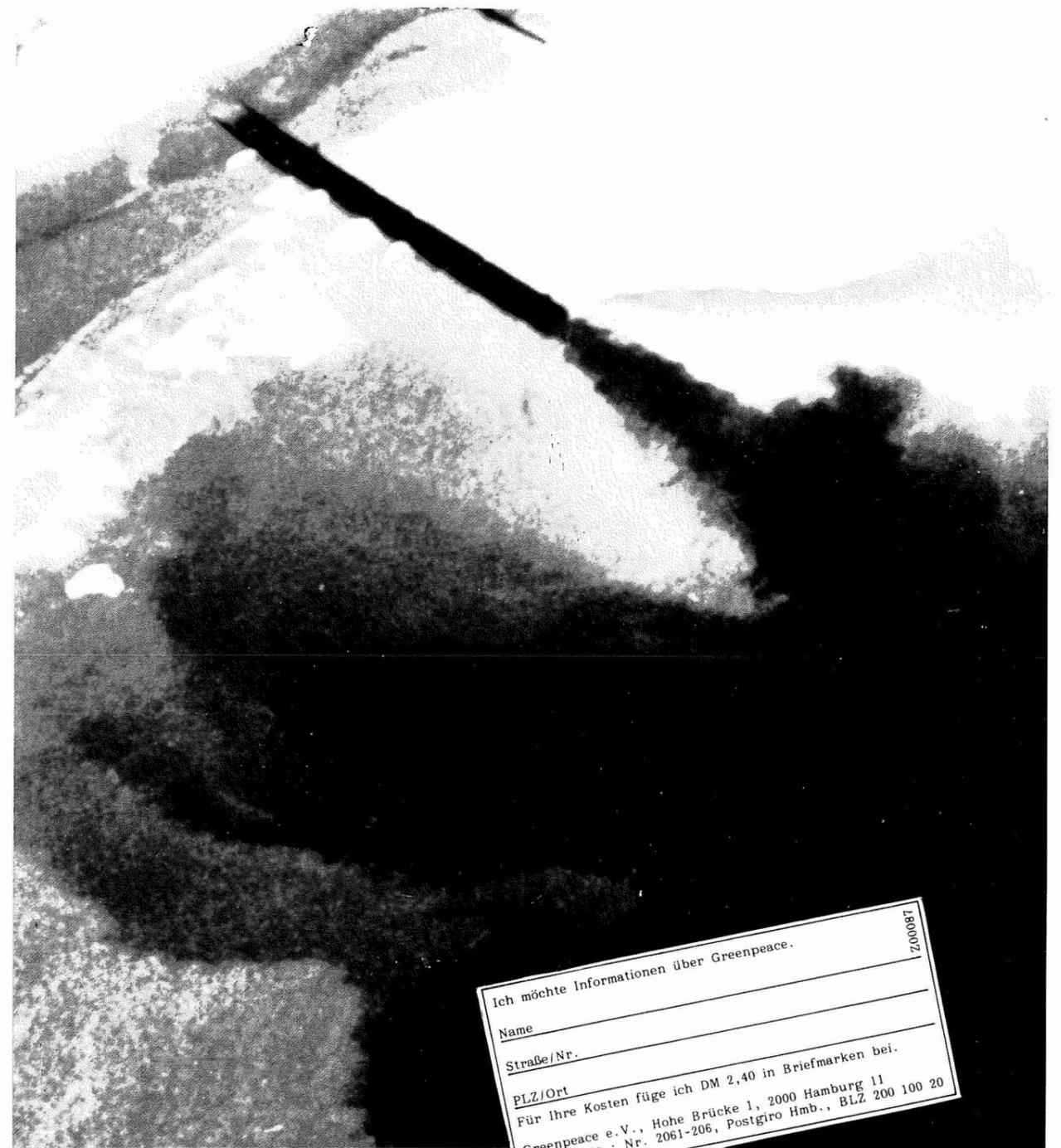
Zur Problemstellung gehören die technische Entwicklung eines „benutzerfreundlichen“ Spektrometers, die Entwicklung von chemischen und physikalischen Probenpräparationstechniken, die theoretische Untersuchung besonderer Aspekte der physikalischen Grundprozesse und die Erarbeitung neuer Auswertmethoden. Entsprechend seines interdisziplinären Charakters wird das Projekt von theoretischen und experimentellen Physikern, Biologen und Chemikern getragen.

Das Verfahren PDMS

Bei den meisten massenspektrometrischen Verfahren sind grundsätzlich zwei Aufgaben zu lösen:

1. Die Moleküle der zu untersuchenden Substanz werden in die Gasphase gebracht und ionisiert.
2. Sie werden mit elektrischen und/oder magnetischen Kräften in Bewegung gesetzt. Aus der Bahn, die sie beschreiben oder der Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegen, kann dann auf ihre Masse geschlossen werden.

Für schwere und gleichzeitig empfindliche Moleküle ist der erste Punkt der entscheidende. Bei leichten und flüchtigen Substanzen können die Moleküle in der Regel in der Gasphase durch Elektronenbeschuß ionisiert werden, bei hochmolekularen Stoffen, bei



Ich möchte Informationen über Greenpeace.

Name _____

Straße/Nr. _____

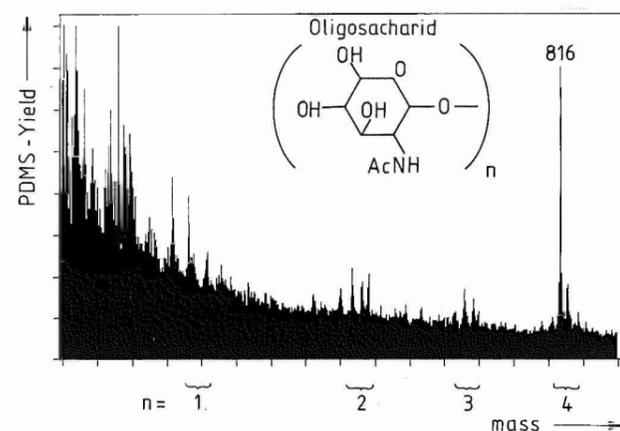
PLZ/Ort _____

Für Ihre Kosten füge ich DM 2,40 in Briefmarken bei.

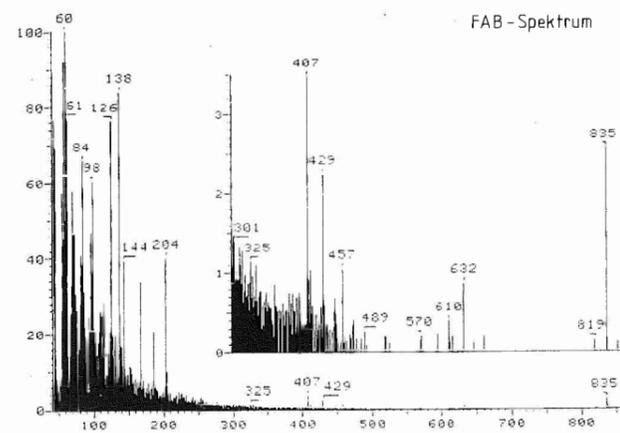
Greenpeace e. V., Hohe Brücke 1, 2000 Hamburg 11
Spendenkto.: Nr. 2061-206, Postgiro Hmb., BLZ 200 100 20

180002

Unsere Meere haben
keinen Abfluß.
Der Dreck bleibt drin.



Die Graphiken zeigen spezielles Oligosaccharid zunächst chemisch isoliert



und dann mit verschiedenen Verfahren massenspektrometriert

denen ein definierter Siedepunkt nicht existiert, da sie sich bei Erwärmung zersetzen, entfällt diese Möglichkeit.

Das Verfahren, das bei PDMS angewandt wird, entstand aus einer eher zufälligen Entdeckung: 1974 beobachtete der amerikanische Kernchemiker Ronald D. MacFarlane bei Experimenten mit dem Radionuklid Californium-252 in Massenspektren die Linien schwerer Moleküle. Es stellte sich heraus, daß es sich um Pumpenöl handelte, wie es immer in experimentellen Meßaufbauten anwesend ist, wo Vakuum erforderlich ist. Californium-252 ist ein Element, dessen Atomkern sich spontan spaltet, wobei sehr schwere und energiereiche Bruchstücke freigesetzt werden. Eine weitere Untersuchung ergab dann, daß beim Auftreffen dieser schnellen und hochgeladenen Bruchstücke, der Fragment-Ionen, auf nichtleitende Substanzen große Moleküle und Cluster (s. Einblicke 4/87) als Ionen und (was man später herausfand) in noch weitaus größerer Zahl als ungeladene Teilchen herausgeschlagen werden.

Entscheidend für den Ablösungsprozeß der Moleküle war die hohe Geschwindigkeit der Projektilteilchen, die vergleichbar mit den Geschwindigkeiten der Elektronen in den Atomen der bestrahlten Substanz sein sollte. Nach ersten Erklärungsversuchen für diesen Effekt entschied sich MacFarlane für den Namen „Plasmadesorptions-Massenspektrometrie“ (PDMS).

Aus dieser Zufallsentdeckung wurden bald praktisch orientierte Meßverfahren entwickelt, da sich die Methode neben der höheren Effizienz im Bereich großer Massen auch noch durch weitere

Vorteile auszeichnet. So ist die Technik kompakt und gleichzeitig einfach, da z.B. die Teilchenquelle des Spektrometers ein kleines radiochemisches Präparat ist. In anderen MS-Verfahren ist dagegen eine mehr oder weniger aufwendige Ionenkanone erforderlich. Man erhält bei einer geringen Zahl auftretender Californium-Spaltfragmente eine gute Ausbeute an Ionen (das Verhältnis liegt bei 1:10, ohne daß die Probe während der Messung aufgeheizt oder zerstört wird, wie es in anderen Verfahren meist unvermeidlich ist. Schließlich scheint nach theoretischen Untersuchungen von B. Sundqvist aus Uppsala das Verfahren im Vergleich zu anderen Verfahren mit zunehmender Molekülgröße günstiger zu werden.

Die Technik

In der Plasmadesorptions-Massenspektrometrie hat sich als Standardverfahren die Flugzeit-Spektrometrie etabliert. Dabei werden die abgelösten Ionen nach ihrer Erzeugung in einem genau bemessenen elektrischen Feld beschleunigt, so daß sie eine ihrer Masse und Ladung entsprechende Geschwindigkeit erhalten.

Die Geschwindigkeit der Ionen wird nach dem Start-Stopp-Prinzip bestimmt, d.h. man mißt die Zeit, in der die Ionen eine gewisse Flugstrecke zurücklegen. Das Projektil erzeugt ein betreffendes Startsignal, die Ionen in einem Detektor am Ende der Flugstrecke die Stoppsignale. Die Wahl gerade dieses Verfahrens hat seine Gründe: Es wird der größte Teil der erzeugten Ionen auch tatsächlich registriert - alle Teilchen kommen irgendwann einmal am Detektor an. Da es nicht notwendig ist, daß die Ionen eine exakt festgelegte Bahn beschreiben (was in anderen Verfahren Justierungsprobleme mit sich bringt) ist das Meßgerät äußeren Einwirkungen gegenüber robust.

Obwohl PDMS schon in manchen Bereichen praktisch eingesetzt wird, gibt es bisher kaum Anwendungen auf Mischproben; schon bei bekannten und reinen Substanzen in der Probe sieht man eine Vielzahl von Linien, die von Clustern und/oder Bruchstücken der Probenmoleküle stammen. Um die Vorteile des Verfahrens trotzdem nutzen zu können, ist es darum einerseits erforderlich, eine Technik zur Vorbehandlung der Proben zu entwickeln, die den Untergrund unerwünschter, aber bekannter Stoffe (z.B. Salz) aus dem Spektrum filtert. Dies ist ein Schwerpunkt des Projektes. Andererseits sollte es möglich sein, auch aus einem komplizierten Spektrum mehr Information herauszuziehen, als durch die Identifizierung einer einzigen Linie möglich ist (Serienanalyse).

Bisherige Erfahrungen mit PDMS wurden meist mit Geräten gewonnen, deren Hauptzweck die Erforschung der Grundlagen, besonders des Ablösemechanismus, ist. Die Arbeiten wurden in Kernphysik-Laboratorien durchgeführt, die die entsprechenden Kenntnisse und Erfahrungen, auch im Umgang mit der hoch biotoxischen Cf-Quelle, besitzen. Auch die derzeit geplanten Anwendungen werden daher in entsprechenden Laboratorien durchgeführt. Neben diesen Vorbedingungen ist im Rahmen dieses Projektes ein Apparat erforderlich, der eine schnelle Messung an Proben ohne besondere Änderungen des Verfahrens ermöglicht. Dafür wurde von der Arbeitsgruppe an der TH Darmstadt (Prof. Wien, Inst. für Kernphysik) ein Prototyp „OLDA 0“ gebaut. Die Erfahrungen, die damit gesammelt wurden, werden in „OLDA I“, das Spektrometer für den eigentlichen praktischen Einsatz, einfließen.

Untersuchungen mariner Substanzen

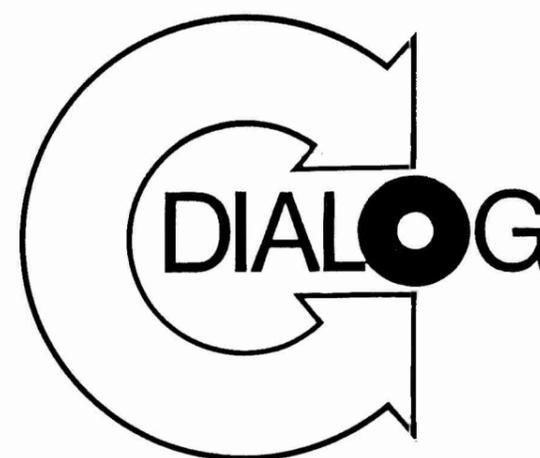
Hier seien nun einige aktuelle Forschungsthemen genannt, für die das neue Massenspektrometer eingesetzt werden soll. Zersetzungsprodukte von Tieren und Pflanzen im Meer bilden einen wichtigen Teil der im Meer und in den Sedimenten vorgefundenen Vielfalt an organischen Molekülen. Den oft langsamen Zersetzungsprozeß kann man im Labor stark beschleunigt simulieren. Als Beispiel diene hier Chitin, wie es in jedem Krabbenpanzer vorkommt. Durch thermischen Abbau gelingt es, das hochmolekulare Chitin in kleinere Bestandteile - Oligosaccharide - aufzuspalten. Diese Oligosaccharide unterschiedlicher Größe sind mit speziellen, arbeitsaufwendigen Methoden nach ihrer Größe aufzutrennen. Als Test haben wir nun ein spezielles Oligosaccharid, das von P. Köll und G. Borchers (Universität Oldenburg) isoliert wurde, mit verschiedenen Verfahren massenspektrometriert. In den Graphiken ist das Fragmentspektrum zum einen gemessen mit der PDMS-Methode am CNRS in ORSAY, und zum Vergleich mit dem Sektorfeld-Spektrometer (FAB-Spektrum) der Universität Oldenburg, dargestellt. Sie zeigen, daß das Molekül einmal (bei PDMS) „entropisch“ zerlegt wird, d.h. das unzerstörte Molekül kommt besonders häufig vor; wenn es überhaupt zerbricht, sind alle denkbaren Aufbruchsmöglichkeiten gleich wahrscheinlich. Bei Standardverfahren wird das Molekül dagegen „thermisch“ zerlegt mit häufigen, vor allem symmetrischen Aufbrüchen.

Gegenwärtig werden natürliche Wasserproben, etwa Meerwasser aus dem Labor-Watt von Prof. Thomas Höpner (Universität

Oldenburg), untersucht sowie Vergleichsuntersuchungen von reinen Pheromonen (s. Beitrag von Prof. E. Zeeck) durchgeführt.

Als wichtige Präparationstechnik hydrophober Moleküle, wie sie sich vor allem an der Meeresoberfläche als dünne Schicht von nur wenigen Moleküllagen bildet, hat sich ein Verfahren von Prof. Bolbach (Paris) erwiesen. Eine Meßfolie wird sehr langsam in die Oberfläche getaucht und wieder herausgezogen. So ist es möglich, saubere ebene Schichten von wenigen Moleküllagen auf eine Trägerfolie zu bringen. PDMS-Spektren hierzu wurden insbesondere am Labor des CNRS untersucht. Eine ähnliche Technik soll derzeit für die hydrophoben Moleküle des Gelbstoffs, eines Tracers für den Schadstoffeintrag der Flüsse in die Nordsee entwickelt werden. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Dr. Rainer Reuter (Universität Oldenburg), der diese Stoffe mit Lasern aus der Luft vermißt.

Schließlich wird sich als ein besonders wichtiges Thema der Nachweis von Chlorophyll als einem vielfältig vorkommenden Naturstoff herausstellen. Er läßt die Algen grün erscheinen. Für dieses Molekül eignet sich PDMS nach Laboruntersuchungen. Derzeit werden an OLDA-0 sowohl reine Testproben als auch eine interessante Testprobe von Prof. Wolfgang E. Krumbein (Universität Oldenburg) vermessen. Hierbei wird der Chlorophyll-Gehalt der Nahrung einer Watschnecke vor der Verdauung mit dem nach der Verdauung verglichen, um so auf die Nahrungsausnutzung zu schließen. Die Anlage soll auch Dienst leisten durch Vermessen von Proben anderer Institutionen der Meeresforschung und an Land.



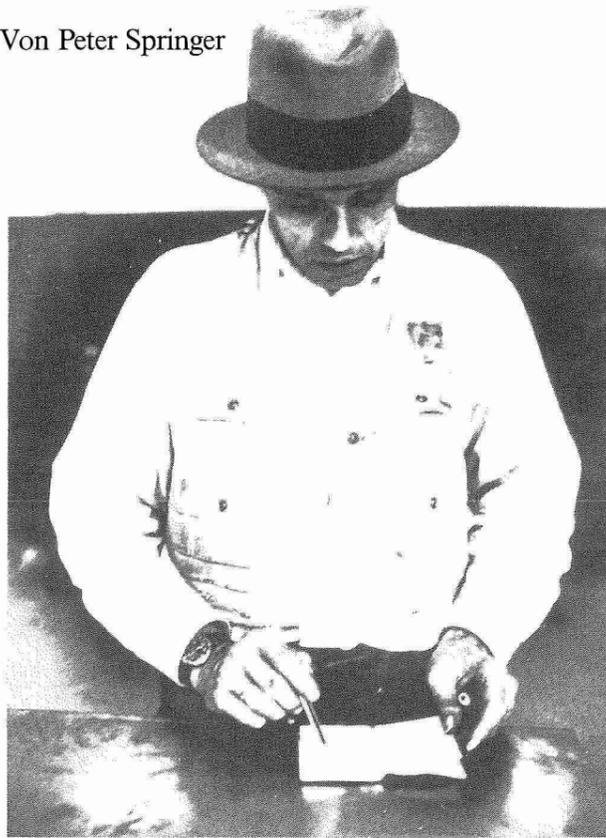
Die Arbeitsstelle DIALOG ist eine gemeinsame Einrichtung der Universität Oldenburg und der Fachhochschulen Oldenburg, Ostfriesland und Wilhelmshaven. Ihr Ziel ist es, die Kontakte zwischen Wissenschaft und Region auszubauen und zu festigen.

ARBEITSSTELLE DIALOG
Universität Oldenburg
Postfach 2503
Tel.: 0441/798-2913

„Mit Malerei habe ich überhaupt nichts zu tun“

- Natur und Naturwissenschaftliches bei Joseph Beuys -

Von Peter Springer



Joseph Beuys

„Mit Malerei habe ich überhaupt nichts zu tun.“ Dieser Satz von Joseph Beuys ist *falsch*, in seiner apodiktischen Ausschließlichkeit falsch und erst recht, nimmt man ihn wörtlich, denn zahlreiche Arbeiten von ihm entsprechen durchaus den Kriterien des Malerischen.

Dieser Satz von Joseph Beuys ist *richtig* als Bekenntnis eines Künstlers, dessen Ziel es nie war, appellative Tableaus gegen grässierende Umweltzerstörung etwa, auch nicht Natur/Landschaft als projektiven Bereich subjektiver Befindlichkeit und schon gar nicht „Bilder nach der Natur“ zu malen.

Dabei waren ihm Farben - „in kluger Askese“ meist beschränkt auf Schwarz, Weiß, Braun und alle Nuancen von schmutziggrobenem Grau - nur bildbare Materialien neben anderen. Gleichberechtigt stehen sie nämlich neben Materialien von provozierender Unscheinbarkeit, neben Fett, Filz, Honig, Knochen, Zink, Gelatine und Blut... Hinter der reflexhaften Ablehnung solcher - tatsächlich nur allzu vertrauten - Materialien in der Sphäre von Kunst und vielleicht noch mehr hinter der so medienwirksamen (Selbst-)Darstellungskunst des „Mann(es) mit dem Filzhut“ kann deshalb das eigentliche Werk und seine Intentionen so weit zurücktreten, daß sie wohl für die meisten un-sichtbar und damit un-verstehbar sind. Doch erleichtert die primär ästhetische Perspektive auf derart befremdliche Stofflichkeiten nicht den

Zugang zu diesem ungemein komplexen und ausgreifenden Werk, sie verstellt ihn eher. Denn ganz entscheidend speist es sich in bezeichnender Verschränkung aus Biographischem und Naturwissenschaftlichem.

Kunst und Material

Als biographisches Schlüsselerlebnis wirkt der Absturz des Stukafliegers Beuys auf der Krim 1943 und die wundersame Rettung des Schwerverletzten durch Tartaren traumatisch in seinem gesamten Werk nach. Der Einsatz des Wiedergenesenen an der Nordseeküste im Nordholländischen und Oldenburgischen („Gespenster-Division Erdmann“) sorgte für den lokalen Bezug. Bedeutsamer wohl ist die Entscheidung des Noch-einmal-davongekommenen, nicht Naturwissenschaften sondern Kunst zu studieren. Doch Beuys, der sich bereits als Gymnasiast ein kleines eigenes Laboratorium eingerichtet hatte, setzte seine Experimente als Schüler Ewald Matarés an der Düsseldorfer Kunstakademie fort. Auch später noch betrachtete Beuys sein Atelier eher als Labor. Entsprechend begegnen wir in seinem Werk häufig Aggregaten, Batterien, Ladungen und Relikten scheinbarer Versuchsanlagen. Die alchemistischen Züge schon des frühen Beuys verbinden sich jedoch zunehmend mit der künstlerischen Umsetzung von Zusammenhängen und Einsichten, die sich ihm aus der intensiven Beschäftigung nicht nur mit Naturwissenschaften, sondern auch mit Politik und Geschichte, Ökonomie und Philosophie und vor allem auch mit der Anthroposophie Rudolf Steiners erschlossen hatten. Steiner edierte bekanntlich die naturwissenschaftlichen Schriften Goethes für die Weimarer Sophien-Ausgabe. Von daher wird die doppelte Affinität, zur Wissenschaft und Kunst verbindenden Perspektive Goethes („Kunst und Wissenschaft scheinen sich zu fliehen und haben sich, eh man sich versieht, gefunden.“) und zur Lehre Steiners, verständlich. Entsprechendes gilt für die lebenslange Faszination von Leonardo da Vinci.

So „(...) fällt es nicht schwer, in der künstlerischen Arbeit von Beuys einen starken Widerhall auf seine naturwissenschaftlichen Neigungen zu erkennen. - Beuys transformiert gleichsam Bilder der Natur, Bilder von Energie, Materie, Strahlung, Bilder der Formung von Mensch und Tier durch die Natur in die Dimension von Kunst, wie er sie versteht (...). In seinen Aktionen, Installationen und mit seinen Plastiken und Objekten setzt Beuys die energetischen Materialien zur Transformierung seiner künstlerischen Ideen konkret ein - hätte er sie, wie auch immer, » nur « gemalt, wären es eben auch » nur « Bilder geblieben.“

Erweiterter Kunstbegriff und soziale Plastik

Biographische Erfahrungen und theoretische Erkenntnisse, Naturwissenschaftliches und Künstlerisches durchdringen sich also im Werk von Joseph Beuys. Gemeinsam bilden sie die Grundlage seines ganzheitlich orientierten Weltbildes, das die Dialektik von Leben und Kunst zu überwinden trachtet. Mit einer Konsequenz, die die Ebene bloß voluntaristischer Absichtserklärungen und



Anatol (Herzfeld), „Die Jade“ (1975) Bleifigur, H. 2 m, im Watt vor Dangast

rhetorischer Radikalität weit hinter sich läßt, praktizierte Beuys die umfassende „Zuständigkeit“ einer aus dem ästhetischen Ghetto von Atelier, Galerie, Museum etc. in die Lebenspraxis entgrenzten Kunst.

Erklärtermaßen setzte Beuys sein Leben und seine Person als „Werkzeuge“ ein. Er propagierte also nicht nur die Verschmelzung von Leben und Kunst, sondern hat sie - bis in die Formen ostinater Selbststilisierung und bis an die Grenzen physischer Belastbarkeit - auch gelebt. Was Beuys in der programmatischen Synthese von „Werklauf/Lebenslauf“ modellhaft verwirklichte, geht jedoch weit über Wagners Konzept eines „Gesamtkunstwerks“ und erst recht über verwandte Tendenzen der Fluxus-Bewegung in den 60er Jahren („alles fließt und verbindet sich mit allem“) hinaus.

Beuys' erweiterter Kunstbegriff basiert auf der Überzeugung, daß jeder Mensch ein schöpferisches Potential besitze, das es gelte freizusetzen. Wie jedoch der erweiterte Kunstbegriff über das bloß künstlerische letztlich auf die Totalität menschlicher Belange und ihrer natürlich-organischen Voraussetzungen ausgreift, so intendiert auch die ebenso oft zitierte wie mißverstandene Formel „Jeder Mensch (ist) ein Künstler“ nicht ein Volk von Malern und Bildhauern, sondern eben die Freisetzung selbstbestimmter Kreativität - in welcher Form auch immer.

Wie so augenfällig bei den für Beuys typischen Materialien, wie auch in seinem Verhältnis zu den Naturwissenschaften (Überwindung des „einseitigen“ positivistischen Wissenschaftsbegriffs aus dem Bewußtsein gemeinsamer Wurzeln von Ratio und Intuition, Wissenschaft und Kunst in der menschlichen Kreativität), sind Entgrenzung und Erweiterung Grundmotive seines Lebenswerks. Als allgemeine Tendenzen finden sie ihren umfassenden Ausdruck im Konzept der „sozialen Plastik“.

Mit ihm transzendierte Beuys nämlich traditionell an Begriffe wie „Plastik“ und „Skulptur“ geknüpfte Vorstellungen, indem er sie aus der Kunstsphäre auf die Gesamtheit des sozialen „Körpers“ übertrug. Gestaltbar, formbar und veränderbar, verstand er Gesellschaft in Analogie zur Natur als Organismus: eine Gesell-

schaft „in der die Kunst sich aufheben könnte und aufgehoben sein würde, eine Gesellschaft als Skulptur humaner Möglichkeiten.“ Die zutiefst humanistisch geprägte Utopie eines besseren Lebens verband Beuys, die Gegenwart im Blick, mit der Notwendigkeit einer umfassenden „Heilung“. Nicht nur weil im Organischen Natur und Mensch unmittelbar miteinander verbunden sind, zielt sein Konzept dabei gleichermaßen auf Materielles und Immaterielles, Beuys: auch „Denken ist Plastik“.

Zwar haben wir gelernt, mit wissenschaftlichem Denken die Natur zunehmend zu beherrschen, doch um den Preis des Verlustes an elementaren und naturgemäßen, auch intuitiven und mythologischen Fähigkeiten. Beuys setzt dagegen die Homogenität und Kontinuität menschlichen Denkens. Die für sein Gegenmodell zum Nur-Rationalen so charakteristische Verbindung von Natur-Wissenschaftlichem und Natur-Mythischem, Atavistischem und Aktuellem, Rationalem und Magischem, Konkretem und Utopischem, auch das Synkretistische, Widersprüchliche und oft scherisch Vage seiner Thesen sorgten und sorgen für erhebliche Irritationen. Jedoch nicht Regression, nicht Flucht aus der Gegenwart in ein irtümlich-heiles Vorgestern waren Beuys' Intentionen, sondern die Aktivierung *aller* menschlicher Möglichkeiten, vergangener und gegenwärtiger. Nur so schien ihm eine Zukunft überhaupt noch möglich.

Kunst und Krise

Bereits 1967 erkannte der damals 76jährige Mäzen Karl Ströher: „Nachdem ich mehrmals mit Beuys zusammen war, bin ich ganz und gar der Meinung, daß er fast als einziger das Besondere dieser Zeit ausspricht.“ Was hier benannt wurde und sich später immer deutlicher herauskristallisierte, ist die Antwort eines Künstlers auf die „Bewußtseins- und Sinnkrise“ der Gegenwart: Angesichts der sehr konkreten Gefahr einer atomaren Weltvernichtung, der Verschärfung des Rüstungswettlaufs und allgemein der gigantischen Vergeudung kreativer Fähigkeiten, angesichts der globalen Gefährdung unserer Umwelt durch den Verschleiß von Rohstoffen und Energien wie auch angesichts eines Wirtschaftssystems, „das auf hemmungsloser Ausplünderung der Naturgrundlagen beruht“, erkannte nicht nur Beuys Symptome einer Krise: „Zwischen Bergwerk und Müllkippe erstreckt sich die Einbahnstraße der modernen Industriegesellschaft, deren Wachstum immer mehr Lebenslinien und -kreisläufe des ökologischen Systems zum Opfer fallen.“

Die konsequente Umsetzung der Einheit von Leben und Kunst mußte zwangsläufig zur aktiven Kritik der politischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und kulturellen Realitäten, zur modellhaften Erprobung alternativer Modelle und zu politischem Handeln führen... Die Kandidatur von Beuys, „einer der Väter der Grünen-Bewegung in Deutschland“, im Bundestagswahlkampf 1980 und für die Wahlen zum Europa-Parlament waren nur weitere, freilich besonders spektakuläre Schritte, denen zahlreiche Aktionen vorausgegangen waren.

Drei Beispiele

1971 zum Beispiel tauchte Beuys in die Zuider Zee bei Ostende ein: Am Rande des Sees befindet sich ein großes Sumpfbereich, dessen Austrocknung zwecks Landgewinnung eine Vernichtung der Ökologie des Wasserhaushalts bedeuten würde. Mit dieser „Aktion im Moor“ hob Beuys ins Bewußtsein, was heute als eine gesellschaftliche Aufgabe ersten Ranges erkannt ist, den Umweltschutz.

Noch bezeichnender für den „erweiterten Kunstbegriff“, dabei aktionistische, ökologische, konzeptuale und basisdemokratische Komponenten in sich vereinernd, doch auf ganz originäre Art

Fachbuchhandlung Medizin Rudolf Ebel

Inh.: Burkhard Koop

ab Lager sofort lieferbar:

Thieme flexible Taschenbücher
Urban & Schwarzenberg Studienbücher
Kohlhammer Studienbücher
Gustav Fischer Verlag

Peterstraße 24 · Tel.: 1 47 92

BEBAUEN · BEWAHREN

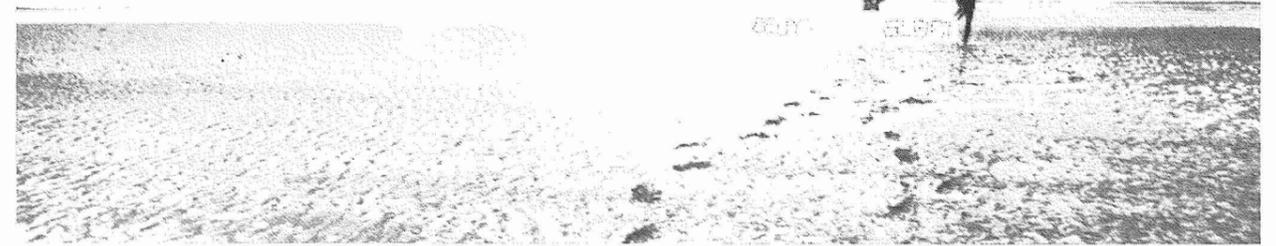


Brot für die Welt

Postgiro Köln 500 500-500

Seit 1800

**BUCHHANDLUNG
ANNA THYE**
Inhaber: Gottfried Sieler
Tel. (04 41) 2 52 88/9
Schloßplatz 21/22
2900 Oldenburg



Aktion von Anatol und anderen Künstlern: „Beuys bleibt“, Dangast Wattenmeer, Januar 1973

zugleich auch „Kunst im Stadtbild“ ist das zehn Jahre später zur Documenta 7 initiierte Projekt „7000 Eichen“.

Im Stadtgebiet von Kassel sollten 7000 „Beuys-Bäume“ gepflanzt werden, neben jedes Bäumchen ein 1,20 m hoher kräftiger Basaltkegel. Während sich der Stein praktisch nicht verändert, wächst der Baum, so daß sich ihr Verhältnis schließlich umkehrt: der kleine Stein neben dem mächtigen Baum. Darin erweist sich die Zeit-Dimension dieser „ökologischen Plastik“ und auch ihr Metaphern-Charakter für eine humanere Stadt: „Stadtverwaltung statt Stadtverwaltung“.

Damit verwandt, (und zugleich an die Nordseeküste zurückführend) ist auch ein 1983 für Hamburg entwickeltes Projekt. Im Rahmen einer Ausschreibung für „Kunst im öffentlichen Raum“ wollte Beuys die sogen. „Spülfelder Altenwerder“, eine Lagerstätte für hochgiftigen Elbhafen- und Nordseeschlamm, bepflanzen, um so die giftigen Substanzen zu binden. Im Zentrum sollte ein Basaltblock, dem zuvor „toten“ - jetzt „geretteten“ - Gelände zeichenhaften Charakter geben, es so zu einem Natur- und Kulturdenkmal und zugleich zu einem Monument für das „Ende des 20. Jahrhunderts“ überhöhen.

Das Projekt blieb Vision; der Erste Bürgermeister der Hansestadt, Klaus von Dohnanyi, bestritt damals „den Kunstcharakter des Gegenstandes: die Stadt verfüge selber über Gärtner und benötige keinen Beuys“.

„Beuys bleibt“

Seine zahlreichen Schüler und Helfer dachten darüber freilich anders. Nicht nur, daß ohne sie die genannten Großprojekte nicht zu realisieren gewesen wären; zum erweiterten Kunstbegriff und zur Absicht, Kreativitätspotentiale freizusetzen („Jeder Mensch ist ein Künstler.“) gehört geradezu notwendig als Komplementär auch ein ganz entsprechend auf Erweiterung und Entgrenzung gerichtetes pädagogisches Konzept.

Die Öffnung der Akademie für alle Bewerber als Faktum und auch für nicht-künstlerische Disziplinen wie Naturwissenschaften, Soziologie, Ökonomie als Forderung rührten freilich an die Substanz der traditionsreichen Akademie und führten am 10. Oktober 1972 schließlich zur Entlassung von Beuys durch Johannes Rau, damals noch Minister für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Nach mehrjähriger Vorlaufphase gründet Beuys zusammen mit Heinrich Böll im Februar 1974 in Düsseldorf die „Freie Internationale Hochschule für Kreativität und interdisziplinäre For-

schung“. Am 20. Oktober 1973 wird Beuys in einem von seinem rührigen Meisterschüler Anatol (Herzfeld) geschaffenen Einbaum über den Rhein zum Akademie-Ufer „heimgeholt“. Diese symbolische Geste nimmt vorweg, was erst Jahre später Wirklichkeit werden sollte: die formelle Rückkehr Beuys' an die Düsseldorfer Akademie.

Derweil versuchten Schüler und Freunde seine Ideen (nicht selten in kleine Münze umgesetzt) zu verbreiten: Am 14. Februar 1975 gründeten Anatol u.a. als eine Art Ideen-Filiation die „Freie Akademie Oldenburg“. Über die Person ihres Initiators ist diese „kleine Zelle“ mit Dangast am Jadebusen und der Landschaft zwischen Deich, Moor, Geest und Meer verbunden. Zweifellos spielten dabei Erinnerungen an die Bedeutung des Ortes für die Künstler der „Brücke“ als Modell eine Rolle.

Im selben Jahr konnte Anatol seine Bleifigur der „Jade“ im Wattenmeer auf einem Pfosten-Sockel errichten - ein Projekt, in dem sich beuysche Komponenten mit Elementen von „Kunst im öffentlichen Raum“ verbinden. Ähnliches gilt für andere Projekte wie z.B. „Grüne Jade“ und „Gruß an Wilhelmshaven“ - ein tonnenschwerer Holzpfahl sollte, aus einem Hubschrauber ins Watt abgeworfen, in ebenso spektakulärer wie wörtlicher Eindringlichkeit auf die Gefährdung des ökologischen Gleichgewichts dieser Landschaft hinweisen.

Im Juli 1976 schließlich wurden am Badestrand vor dem Dangaster Kurhaus „Schlickschlittenrutschmeisterschaften“ veranstaltet (der Schlitten ist ein typisch beuysches Überlebens-Vehikel; hier wurde wohl eher an eine Alternative zum Motorbootrennen unserer Tage und an alte, regionale Wettkampfformen gedacht). Veranstalter dieser feucht-glitschigen Aktion zwischen Animation und Klamauk, Sport und Umweltdemonstration war die „Freie Akademie Oldenburg“.

Drei Jahre zuvor bereits fand im Wattenmeer vor Dangast eine von Anatol initiierte Aktion statt, in deren Verlauf am 27./28. Januar 1973 ein großes Transparent „Beuys bleibt“ wie ein Monument auf Zeit im Schlick aufgestellt wurde. Es war ein Relikt des Protestes gegen die Entlassung Beuys' aus der Düsseldorfer Akademie. Damals lautete der vollständige Text des Transparentes „Rau geht - Beuys bleibt“.

„Der Mann mit dem Filzhut“ ist jetzt zwei Jahre tot. Rau, inzwischen Ministerpräsident von Nordrhein-Westfalen, eröffnete in diesen Tagen die erste Beuys-Ausstellung in der DDR. Eine doppelte Pointe also, die freilich langfristig die Wahrscheinlichkeit einer abermaligen Umkehr nicht weniger wahrscheinlich macht...

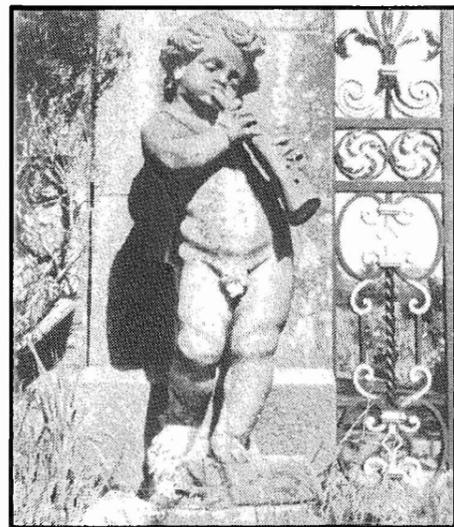
★
**PSYCHOLOGIE &
GESELLSCHAFTS
KRITIK**

45/46

ISBN 3-925007-45-8

Lebensweisen und Tod

NEUERSCHEINUNG



INHALT

EDITORIAL

THEMATISCHE BEITRÄGE

Dieter Schwarz

Leben, Lebenslauf, Alter und Tod. Überlegungen zur Professionalisierung des Lebens

Volker Wackerfuss

Natürlicher und unnatürlicher Tod. Sterben in der industriellen Gesellschaft

Igor A. Caruso (†), Angelika Rubner
Notizen zu einer Diskussion über den Tod.

Gottfried Mergner, Petra Schwarzer
Der Tod und die Sozialdemokratie.

Hartmut Diessenbacher

Tod und Trauer. Wenn Ehefrauen ihren Mann verlieren.

Ingelore Ebberfeld

Über die Unnatürlichkeit von Tod und Freitod. Plädoyer für den Freitod

Christian Folle

Selbstmord, Suizid, Freitod oder vom lebensgefährlichen Wagnis einer unfreien Freiwilligkeit

Udo Sierck

Behinderte Menschen als Objekte der Sterbehilfe – Diskussion

Hartmut Diessenbacher, Ernie Ueberschär

Helfen und Töten. Zum Fall des Massenmörders Arnfin Nesset

LESERBRIEFE

REZENSIONEN

AKTUALITÄTEN / TERMINE

Eine psychologiekritische Zeitschrift für Psychologen, Pädagogen, Sozialwissenschaftler in Theorie und Praxis.

Hrsg.: Initiative kritischer Psychologinnen und Psychologen e.V.

Einzelheft 11,- DM / Doppelheft 18,- DM / Jahresabonnement 34,- DM / Student/inn/en, Arbeitslose u.ä. 28,- DM; jeweils zzgl. Porto.

Erhältlich in jeder guten Buchhandlung oder direkt bei der Redaktion der P & G, Bürgerbuschweg 47, D-2900 Oldenburg, Telefon (0441) 64126.

Wir sorgen dafür, daß die Labortechnik jeder Anforderung gewachsen ist.

Die Heidolph-Gruppe baut leistungsfähige und zukunftssichere Geräte für moderne Labors. Zum Beispiel den MR 2000, den erfolgreichsten Magnetrührer Deutschlands. Oder Reax 2000, den meistgekauften Schüttler, der auch im Design Maßstäbe gesetzt hat. Insgesamt ein Programm, das den Anforderungen moderner Entwicklungs- und Versuchslabors aller Bereiche gerecht wird.

Seit der Inhaber Dr. Ing. R. Zinsser 1952 den stufenlos regelbaren Rührer RZR 1 erfunden hat, kommt der Fortschritt in der Labortechnik von uns.

Für unser neues Forschungs- und Entwicklungszentrum in Kelheim ist das die tägliche Verpflichtung zur Innovation. Für unsere Kunden die Sicherheit, daß unsere Geräte jede Aufgabe bewältigen.

Heidolph

Heidolph Elektro GmbH & Co.KG · 8420 Kelheim
Starenstr. 23 · Tel. 094 41/707-0 · Telex 0 65 415 d

Impressum

Das Forschungsmagazin EINBLICKE erscheint zweimal im Jahr und will eine breitere Öffentlichkeit über Forschungsprojekte und deren Ergebnisse in einer für den interessierten Laien verständlichen Sprache informieren. Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen nehmen dabei bewußt Vereinfachungen in der Darstellung ihrer Forschung in Kauf.

4. Jahrgang, Heft 7, Juni 1988

Herausgeber: Der Präsident der Universität Oldenburg

Redaktion: Gerhard Harms (verantwortlich), Irene Müller, Cord Labeß, Pressestelle, Ammerländer Heerstraße 114-118, 2900 Oldenburg, Tel.: (0441) 798-2417, Telex: 25655 unol d. Telefax: 0441/798-3000

Satz: Gisela Rodenberg

Reprographic: Klaus Liebig

Druck und Anzeigen: Officina-Druck, Posthalterweg 1b, 2900 Oldenburg, Tel.: (0441) 776060

ISSN 0930/8253

Abdruck der Artikel nach Rücksprache mit der Redaktion und Quellenangabe möglich.

Autoren

Prof. Dr. Wolfgang E. Krumbein (Fachbereich 7 Biologie, Leiter des ICBM) Geomikrobiologie, Dr. Dieter Giani (Fachbereich 7 Biologie)

Prof. Dr. Thomas Höpner (Fachbereich 7 Biologie, ICBM), Biochemie

Dr. Gisela Gerdes (Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Planerin des ICBM)

Prof. Dr. Hans-Jörg Ferenz, Zoophysologie, Dr. Peter Jaros, Tierphysiologie/Zellbiologie, Prof. Dr. Horst Kurt Schminke, Zoologie, Dr. Johann-Wolfgang Wägele, Zoologie, Prof. Dr. Axel Willig, Zoologie/Zoophysologie, Dr. Gerd-Peter Zauke, Zooökologie (Fachbereich 7 Biologie)

Prof. Dr. Erich Zeeck (Fachbereich 9 Chemie, ICBM) Physikalische und Allgemeine Chemie, Dipl.-Biologe Jörg Hardege, Dipl.-Biologin Helga Bartels-Hardege, Dipl.-Chemiker Günter Wesselmann (Fachbereich 9 Chemie) Physikalische Chemie

Dr. Rainer Reuter (Fachbereich 8 Physik), Angewandte Physik, Prof. Dr. Gunther Krause (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven)

Prof. Dr. Eberhard R. Hilf (Fachbereich 8 Physik, ICBM), Theoretische Physik, Dipl.-Physiker Friedrich Kammer, Dr. Wilfried Tuszyński (Fachbereich 8 Physik), Theoretische Physik; Priv.-Doz. Dr. Jürgen Metzger (Fachbereich 9 Chemie) Organische Chemie, Prof. Dr. Karl Wien (TH Darmstadt, Institut für Kernphysik)

Prof. Dr. Peter Springer (Fachbereich 2 Kommunikation/Ästhetik), Theorie und Geschichte der Bildenden Kunst

**WERBE
GESCHENKE
BRAUCHEN SIE
NICHT NUR
WEIHNACHTEN.
FALLS DOCH
MÜSSEN SIE
JETZT SCHON
ORDERN!
NATÜRLICH
BEI OFFICINA.
☎ 0441-776060**



OFFICINA

DRUCK · WERBUNG · FOTOSATZ
POSTHALTERWEG 1 B
2900 OLDENBURG

☎ 04 41 · 77 60 60 + 77 60 61 · FAX 04 41 · 77 60 65