

# EINBLICKE

FORSCHUNGSMAGAZIN DER UNIVERSITÄT OLDENBURG



## Die alltägliche Sintflut: BioGeoChemie des Watts

In diesem Heft u.a.: Die Station im Watt • Bakterien und Schwebstoffe • Neubeansiedlungen im Watt • Fressen und gefressen werden • Muster im Wattsediment • Bakterien in der „tiefen Biosphäre“ • Warum Bakterien schlafen

# EINBLICKE NR. 41

## FORSCHUNGSMAGAZIN DER CARL VON OSSIETZKY UNIVERSITÄT OLDENBURG



### BioGeoChemie des Watts

Jürgen Rullkötter

Seite 4



### Meeresdaten rund um die Uhr: Die Station im Watt

Rainer Reuter

Seite 6



### Trübe Aussichten: Bakterien und Schwebstoffe im Watt

Meinhard Simon, Mirko Lunau, Andreas Lemke

Seite 10



### Sessile Lebensweise: Neubausiedlungen im Watt

Tilmann Harder

Seite 14



### Nahrungsketten im Watt: Fressen und gefressen werden

Thilo Gross, Kai W. Wirtz

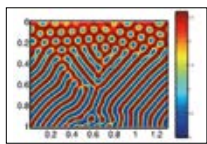
Seite 16



### Leben an der Grenze: Die alltägliche Sintflut

Von Michael E. Böttcher und Bo B. Jørgensen

Seite 19



### Bakterien-Nährstoffmodell: Muster im Wattsediment

Martin Baumann, Wolfgang Ebenhöf, Ulrike Feudel

Seite 22



### Im Untergrund des Watts: Bakterien in der „tiefen Biosphäre“

Bert Engelen

Seite 25



### Aktivitätswechsel: Warum Bakterien schlafen

Kai W. Wirtz

Seite 28



### Uni-Fokus

Nachrichten, Rufe und Berufungen, Universitätsgesellschaft, Promotionen, Habilitationen

Seite 31

*Liebe Leserinnen  
und Leser,*



seit Herbst vergangenen Jahres wird in der Universität Oldenburg ein neues Leitbild diskutiert, das das Selbstverständnis der Universität formuliert und zukünftig verbindliche Grundlage für die strategische Planung sein soll. Dieser vom neuen Präsidenten Prof. Dr. Uwe Schneidewind initiierte Prozess wird im Juli mit einem Senatsbeschluss abgeschlossen sein. Doch ein Baustein ist schon heute gesetzt und wird in den vielfältigen Diskussionen in

Fakultäten und Instituten nicht in Frage gestellt: Die Universität Oldenburg will ihre Forschungsorientierung weiter ausbauen. Einer ihrer gewichtigsten Forschungsschwerpunkte ist seit jeher die Umweltforschung, deren Zukunftsbedeutung Oldenburger WissenschaftlerInnen sehr früh erkannten. Bereits Ende der 70er Jahre beschäftigten sie sich mit der Sonnen- und Windenergieforschung (was 2004 in die Gründung des Zentrums für Windenergieforschung ForWind mündete), legten Projekte zum Lärmschutz auf (woraus die Akustik- und Hörforschung hervorging) und initiierten eine interdisziplinär angelegte Meeresforschung. Letztere entwickelte sich so erfolgreich, dass bereits 1987 das Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) daraus hervorging. Heute gehört das ICBM mit rund 120 MitarbeiterInnen zu den großen und erfolgreichen Meeresforschungsinstituten.

Vor vier Jahren nahm am ICBM die Forschergruppe BioGeoChemie des Watts ihre Arbeit auf, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bis 2007 mit acht Millionen € gefördert wird (siehe Seite 4). Ihre Forschung, die in diesem Heft vorgestellt wird, ist ganz zweifellos unter der Rubrik Spitzenforschung zu fassen. Das bescheinigte den Oldenburger WissenschaftlerInnen nicht zuletzt die DFG-Gutachtergruppe, die zu dem Ergebnis kam, das Gesamtvorhaben sei „als hervorragend, innovativ und im internationalen Vergleich als exzellent und einzigartig“ zu beurteilen.

Für die Universität Oldenburg sind Zeugnisse dieser Art von großer Bedeutung - machen sie einmal mehr klar, dass junge, in den 70er Jahren gegründete Hochschulen, obwohl sie nicht über die personellen und materiellen Ressourcen der traditionsreichen Hochschulen verfügen, zu großen Leistungen fähig sind. Das zeigt sich in Oldenburg auch in anderen Bereichen wie z.B. in der Hirnforschung und der Informatik.

Voraussetzung für national und international anerkannte Spitzenforschung sind nicht nur innovative WissenschaftlerInnen und Forschungsansätze, sondern auch die Hochschule selbst, die ihre Stärken erkennen und stärken muss. Gefordert ist oftmals ein Spagat zwischen dem, was als Spitzenforschung einer besonderen Förderung bedarf, und der Notwendigkeit des Erhalts eines breiten Fächerspektrums. Solch einen Spagat ohne große inneruniversitäre Reibungsverluste zu vollziehen, ist eines der Ziele der Leitbild Diskussion. Und wie es scheint, wird die Erstellung eines profilfördernden und verbindlichen Leitbilds, das sich nicht in Allgemeinheiten verliert, inzwischen von einer breiten Mehrheit in der Universität getragen und in seinen Konsequenzen akzeptiert. Die Universität Oldenburg ist auf einem guten Weg.

*Corinna Dahm-Brey*  
Dr. Corinna Dahm-Brey

Im Rückseitenwatt der Nordseeinsel Spiekeroog, d.h. auf der dem Festland zugewandten Seite der Insel, arbeitet eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschergruppe der Universität Oldenburg an der Klärung der grundlegenden physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge, die ein Gezeitemsystem prägen.

① [www.icbm.de/watt](http://www.icbm.de/watt)

In the backbarrier tidal flats of Spiekeroog island (southern North Sea) a Research Group of the University of Oldenburg, funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), studies the fundamental physical, chemical and biological processes driving a tidal system.

# BioGeoChemie des Watts

Von Jürgen Rullkötter

**W**atten sind ein wichtiger Bestandteil gezeitenbeeinflusster Küsten. Sie gehören zu den produktivsten natürlichen Ökosystemen der Erde. Die Watten bilden die Lebensgrundlage insbesondere für zahlreiche Vogelarten und für die Jungstadien vieler Meeresorganismen. Watten sind zudem ein wichtiger Schutz der Küsten vor Erosion durch das Meer. Sie sind gleichzeitig Quelle und Senke für Sedimente

und vom Menschen in die Umwelt entlassene Schadstoffe. In den globalen biogeochemischen Kreisläufen spielen die Watten eine wichtige Rolle. Schon seit vielen Jahrhunderten konzentriert sich in den Küstenzonen ein Großteil menschlicher Aktivität. Die Nutzung dieses Raums wird in Zukunft weiter zunehmen. Das betrifft sowohl industriell verwertbare Naturstoffe aus Meeresorganismen als auch die Gewinnung erneuerbarer Energie durch Offshore-Windkraftanlagen. Dabei besteht die Gefahr, dass Ökosysteme unwiederbringlich zerstört werden. Deshalb sind Kenntnisse über ökologische Prozesse und daraus abgeleitet die ökologische Gesundheit der Watten für die Küstenbewohner und auch für die Bewohner des Hinterlandes von erheblicher Bedeutung.

## Auswirkungen auf das Ökosystem

**D**er Lebensraum des Wattenmeeres umfasst die oberhalb der mittleren Hochwasserlinie gelegenen Salzwiesen, Dünen und Strände, das bei Niedrigwasser trockenfallende Watt im eigentlichen Sinn und die ständig vom Wasser bedeckten Priele und Tiefs. Innerhalb des Wattenmeeres unterscheidet man aufgrund der Sedimentbeschaffenheit zwischen Schlickwatten, die meist nahe der Hochwasserlinie oder in strömungs-



beruhigten Gebieten entstehen, Mischwatten und Sandwatten. Diese Sedimenttypen bieten unterschiedliche Lebensräume für die Organismen, die im Wattboden leben. Durch Wechselwirkungen der Organismen untereinander entstehen komplexe biologische Strukturen. Das Nahrungsnetz baut im Wesentlichen auf den am Boden und in der Wassersäule lebenden Mikroalgen auf.

Die Gründe für die Sedimentverteilung und das Verhalten der Organismen sind außerordentlich komplex. Sie hängen von dynamischen Prozessen ab, die die Watten gebildet und anschließend wieder verändert haben, sowie von Wechselwirkungen zwischen den in ihnen ablaufenden Prozessen und auf sie einwirkenden Einflussgrößen. Eine noch ungeklärte Frage ist die nach dem Sedimenthaushalt. Weil mit dem Deichbau die ruhigen Auslaufzonen für das Wasser verloren gingen, verarmen die Sedimente im Watt möglicherweise immer noch an feinkörnigem Material (Schlick), das in der Schwebelage gehalten wird und sich nicht absetzen kann. Schiffsgestützte Messungen haben dies bisher zwar nicht bestätigen können, jedoch zeigen mathematische Modelle, dass ab Windstärke 8 (wenn die Küstenforschungsschiffe nicht mehr einsetzbar sind) ein Export von Sediment aus den Rückseitenwatten einsetzt. Durch die Errichtung einer Dauermessstation im Seegatt zwischen

den Inseln Spiekeroog und Langeoog im August 2002 sind nun Untersuchungen zum Schwebstofftransport in der Wassersäule auch bei extremen Wetterlagen möglich. Längerfristige natürliche Veränderungen im Sedimenthaushalt werden sich auch auf das Ökosystem auswirken, weil sich die Ansiedlungsbedingungen für das Benthos (auf dem Meeresboden lebende Organismen) verändern werden. Für Entscheidungen z.B. über Schutzmaßnahmen ist es daher wichtig, die Spätfolgen des Deichbaus von den Einflüssen eines langfristigen, klimatisch bedingten Meeresspiegelanstiegs und von den Einwirkungen menschlichen Handelns unterscheiden zu können. Auch der Verbleib des Süßwassers aus dem Zufluss über das Siel im Hafen von Neuharlingersiel kann an der neuen Station nun kontinuierlich verfolgt werden. Das Süßwasser mischt sich nur langsam mit dem Salzwasser im Watt und führt lokal zu massiven Salzgehaltsschwankungen. Erste Daten zeigen, dass diese Süßwasserlinien mindestens zwei Ebbphasen benötigen, um in die offene Nordsee zu gelangen.

## Klärwerk des Watts

Erst in jüngster Zeit rückt die Rolle der Mikroorganismen im Stoffhaushalt der Wassersäule, der Sedimentoberfläche und der tieferen Sedimentschichten zunehmend ins Blickfeld. Neben den Filtrierern (z.B. Muscheln) sind sie das Klärwerk des Watts, das die Überreste des abgestorbenen Planktons und anderer Lebewesen abbaut und die Produkte in den Nährstoffkreislauf zurückführt. Die Bakterien erledigen diese Arbeit vorwiegend in der Wassersäule und den obersten, oft nur wenige Millimeter mächtigen Sedimentschichten, die noch Sauerstoff enthalten. Sie sorgen dafür, dass sich die darunter liegende sauerstofffreie Zone nicht bis an die Sedimentoberfläche ausdehnt und das Watt eutrophiert („umkippt“). Die so genannten „Schwarzen Flecken“ sind Anzeichen eines solchen Eutrophierungsprozesses. Sie entstehen an der Oberfläche, weil die Kapazität der abbauenden Bakterien überschritten ist, wenn z.B. eine abgestorbene Großalge lokal zu einem Überangebot an totem organischem Material führt. Während die Schwarzen Flecken in kleinem Maßstab unproblematisch sind, führte eine Verkettung von natürlichen Umständen nach dem Eiswinter 1995/96 dazu, dass sich ausgedehnte schwarze Flächen bildeten und Muscheln und Würmer wegen des Sauerstoffmangels in großer Zahl starben. Aber auch von diesem

Ereignis erholte sich das Watt wegen seiner immensen Selbstheilungskräfte bereits im darauf folgenden Sommer.

Noch völlig unklar ist die Rolle der Bakterien, die in der sauerstofffreien Zone der Sedimente unterhalb der Oberflächenschicht leben. Es handelt sich vielfach um noch unbekannte, schwer kultivierbare Organismen mit nicht erforschten physiologischen Eigenschaften und Lebenszyklen. Es ist nicht klar, ob sie sich von den schwer abbaubaren Resten des organischen Materials ernähren, das die Bakterien in der Oberflächenschicht übrig lassen, oder ob sie durch das Porenwasser der Sedimente mit leichter verwertbaren Nährstoffen versorgt werden. Möglicherweise handelt es sich um Verwandte der Bakterien, die bis in mehr als 1000 m Sedimenttiefe im Boden der Ozeane unter ähnlich unwirtlichen Bedingungen leben.

## Die Oldenburger Forschergruppe

Die Vielfalt der Erscheinungsformen der Wattsysteme erschwert nicht nur ihre Beschreibung, sondern auch das Erkennen von Grundprinzipien, nach denen sich die Watten selbst gestalten, indem sie auf meist von außen auf sie einwirkende Veränderungszwänge (z.B. Wetter im Jahresverlauf, Änderungen im Meeresspiegelstand, Sauerstoffmangel) reagieren. Um ein grundsätzliches Verständnis für wichtige in einem Wattsystem ablaufende Prozesse zu gewinnen, will die DFG-Forschergruppe BioGeoChemie des Watts eine Bilanz für den Stoffhaushalt in einem ausgewählten Wattgebiet der ostfriesischen Nordseeküste (Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog) erstellen. Dazu werden die Hydrodynamik und Morphologie des Watts und die biogeochemischen Prozesse an Partikeln in der Wassersäule, an der Sediment-Wasser-Grenze und in den Wattsedimenten mit einer Vielzahl moderner Analysemethoden untersucht.

Parallel dazu werden mathematische Modelle auf unterschiedlichen Ebenen für eine Vielzahl von Teilprozessen im Wattsystem entwickelt. Sie bilden die Basis für ein integratives mathematisches Modell der biogeochemischen, ökologischen und hydrodynamischen Prozesse, mit dem das Watt in seiner Gesamtheit beschrieben und in seiner Entwicklung verfolgt werden kann. Es soll nach einer entsprechenden Verallgemeinerung auch auf Wattsysteme in anderen Gebieten der Erde anwendbar sein.

## Forschergruppe Watt

Eine „Forschergruppe“ ist ähnlich wie ein Sonderforschungsbereich ein Förderinstrument der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für größere, zusammenhängende Forschungsprojekte, zu denen sich mehrere Arbeitsgruppen einer Universität - unter Umständen unter Beteiligung räumlich benachbarter Forschungseinrichtungen - zusammenschließen. Im Gegensatz zu Sonderforschungsbereichen, die für maximal zwölf Jahre eingerichtet werden, haben Forschergruppen eine maximale Laufzeit von sechs Jahren mit einer Zwischenbegutachtung nach drei Jahren.

Die Forschergruppe BioGeoChemie des Watts wurde 2001 eingerichtet und läuft nach erfolgreicher Zwischenbegutachtung bis 2007. Sie erhält insgesamt eine finanzielle Förderung von mehr als acht Millionen Euro, wovon den Hauptanteil die DFG trägt. Aber auch das Niedersächsische Wissenschaftsministerium und die Universität Oldenburg haben die Forschergruppe mit erheblichen Finanzmitteln unterstützt.

Das Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) hat die Federführung in der Forschergruppe und beteiligt sich an ihr mit neun Arbeitsgruppen. Weitere Beteiligte sind die Arbeitsgruppe Meeresphysik am Institut für Physik der Universität Oldenburg, das Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen, die Wilhelmshavener Abteilung für Meeresforschung des Senckenberg-Instituts und das Forschungszentrum TERRAMARE. Die neun Teilprojekte sind fach- und arbeitsgruppenübergreifend konzipiert.

## Der Autor



Prof. Dr. Jürgen Rullkötter ist Sprecher der DFG-Forschergruppe BioGeoChemie des Watts und seit 2003 Dekan der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften. Der Wissenschaftler

studierte Chemie in Braunschweig und Köln, wo er 1974 promovierte. Von 1975 bis 1991 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Erdöl und Organische Geochemie des Forschungszentrums Jülich. Er arbeitete in der Erdölexplorationsforschung und engagierte sich im internationalen Tiefseebohrprogramm. 1992 folgte Rullkötter einem Ruf an die Universität Oldenburg, wo er seither die Arbeitsgruppe Organische Geochemie des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) leitet. Sein wissenschaftliches Interesse gilt dem organischen Material abgestorbener Organismen im geologischen Kreislauf auf molekularer Ebene.



# Meeresdaten rund um die Uhr: Die Station im Watt

Von Rainer Reuter

Seit Herbst 2002 ist bei Spiekeroog eine Messstation für die Aufnahme hydrographischer Daten im Einsatz. Die Daten werden ganzjährig und insbesondere auch im Winter erfasst, wenn Messungen mit Schiffen wetterbedingt nicht möglich sind. Die Daten dienen zur Bilanzierung des Stoffaustauschs zwischen Rückseitenwatt und offener Nordsee.

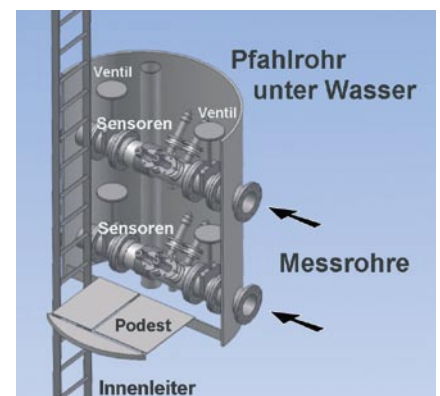
In autumn 2002 a time-series station was put into operation for hydrographic measurements near the island of Spiekeroog. Data are taken continuously especially in winter when measurements using ships are hampered by bad weather. The data are used to estimate the flux of substances between the tidal flats and the open North Sea.

Die Umwelt zu beobachten und verlässliche Messungen zu gewinnen, ist auf See sehr viel schwieriger als an Land. Forschungsschiffe zu betreiben oder die Ozeane von Satelliten aus zu beobachten, ist sehr teuer und erfordert großen organisatorischen und logistischen Aufwand. Hinzu kommt, dass wetterbedingte Einschränkungen einen Schiffseinsatz in Zeiten mit starkem Wind, also gerade in den Wintermonaten erschweren und Wolken den Satelliten die Sicht auf das Meer versperren. Aus diesen Gründen sind Winterdaten aus den Ozeanen und auch aus der vergleichsweise kleinen Nordsee außerordentlich rar. Solche Einschränkungen gelten selbst für die Wattgebiete der Deutschen Bucht. Im Wattenmeer verlagern sich Sandbänke und die wasserführenden Priele durch Stürme und Sturmfluten im Winter, ohne dass solche Vorgänge bisher unmittelbar beobachtet werden konnten.

Die Forschergruppe BioGeoChemie des Watts hat sich daher das Ziel gesetzt, neue Möglichkeiten der Aufnahme von Daten im Wattenmeer zu entwickeln, die automatisiert und weitgehend unabhängig von Wettereinflüssen genutzt werden können. Außerdem sollen die Ergebnisse der kontinuierlich durchgeführten Messungen mittels Datenfernübertragung den Arbeitsgruppen an der Universität Oldenburg und den anderen beteiligten Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehen. All dies erfordert eine dauerhaft installierte Station, deren Struktur den Belastungen durch Stürme und hohen Seegang standhält, aber auch durch winterliches Treibeis nicht gefährdet wird. Nach zweijähriger Planung wurden im Sommer 2002 die Bauarbeiten für diese Station eingeleitet. Nach zwei Monaten begann ein erster Probetrieb. Die volle Funktion erreichte die Station Mitte 2003.

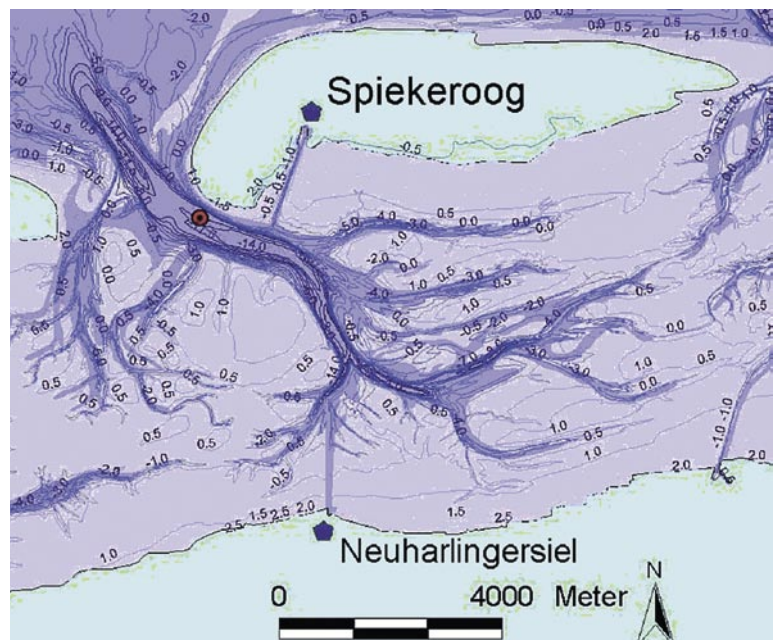
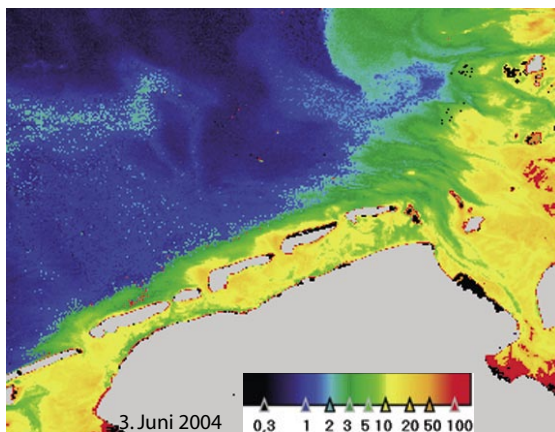
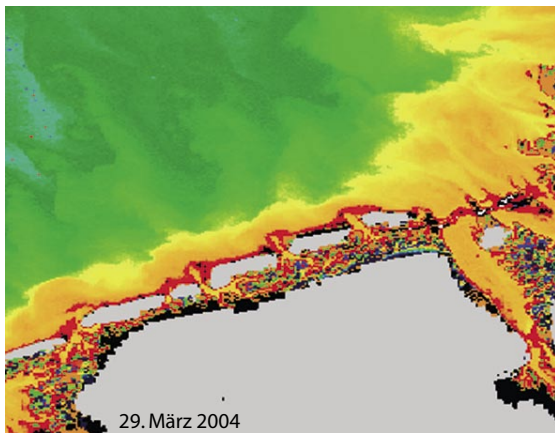
## Technische Auslegung der Station

Die Messstation befindet sich im Seegang zwischen Spiekeroog und Langeoog in 13 Metern Wassertiefe. Eine hohe Standsicherheit gewährleistet ein 35 Meter langes Pfahlrohr, welches zehn Meter tief in den



Oben: Die Station im Watt bei Spiekeroog.

Unten: Ausschnitt des innen begehbaren Pfahlrohrs mit zwei Messrohren und Sensoren für die Analyse des Wassers. Nach Schließen von zwei Ventilen kann ein Messrohr oder auch ein einzelner Sensor ausgebaut werden.



Oben: Die Position der Messstation im Seegatt von Spiekeroog (roter Punkt). Angaben im Seegatt und in den Prielen sind Wassertiefen unter Normalnull.  
 Links: Schwebstoff im Meerwasser - Farbkeil in Milligramm pro Liter - aus dem Welt-  
 raum an wolkenfreien Tagen gemessen. Mit dem Ebbstrom werden die Schwebstoffe  
 aus dem Rückseitenwatt bis vor die Ostfriesischen Inseln verfrachtet: Oberes Bild, 29.  
 März 2004, bei Niedrigwasser aufgenommen. Bei Hochwasser werden die Schweb-  
 stoffe teilweise in das Rückseitenwatt zurückgedrängt: Unteres Bild, 3. Juni 2004, bei  
 Hochwasser. Die Werte im oberen Bild sind wegen hoher Erosion der Sedimente in der  
 Folge von Stürmen auch im Küstenvorfeld höher als im unteren Bild.

Meeresgrund eingebracht ist. Sein oberes Ende, das bei Hochwasser etwa sieben Meter aus dem Wasser herausragt, trägt eine Arbeitsplattform mit zwei Containern, in denen die Energie- und Datentechnik sowie die Funkübertragung der Station untergebracht sind. Auf der zweiten Plattform über den Containern befinden sich ein Windrad und Sonnenkollektoren für die Energieversorgung der Station. Von hier aus werden Messdaten per Funk zu einer Empfangsstation auf Spiekeroog gesandt und dann per Telefon zur Universität Oldenburg weitergeleitet. Alle Daten werden in einer Datenbank gespeichert und im Internet auf der Webseite <http://las.physik.uni-oldenburg.de/landstation> dargestellt.

Eine Besonderheit der Station ist die Begehbarkeit des Innenraums des Pfahlrohrs von der Plattform bis zu einer Tiefe, die dem Niveau des Meeresgrunds entspricht. Unterhalb der Wasseroberfläche befinden sich im Innenraum fünf horizontal ausgerichtete Rohre mit kleinerem Durchmesser. Sie sind in Richtung des Gezeitenstroms im Seegatt ausgerichtet und werden somit vom Meerwasser ungehindert durchströmt. An diesen

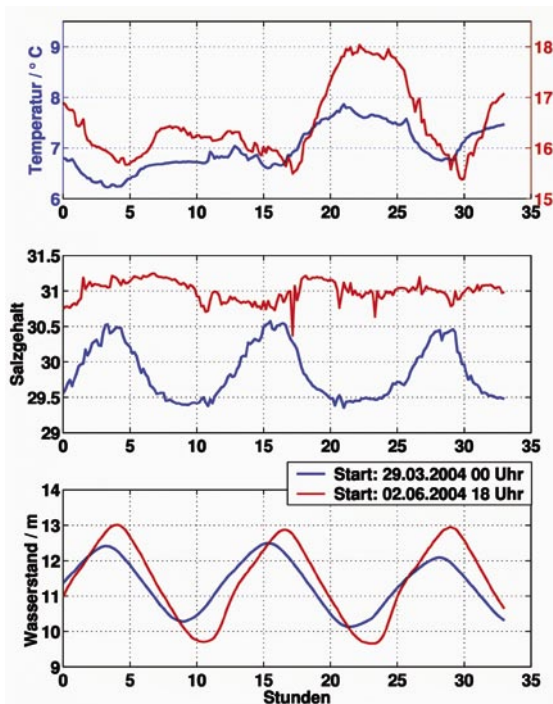
so genannten Messrohren lassen sich in sehr flexibler Weise Sensoren und Instrumente für Wasseranalysen montieren. Somit können Daten in fünf Tiefenniveaus erfasst werden, und zwar auch während der Wintermonate ohne Gefährdung der Instrumente etwa durch Treibeis.

Zu den Messgrößen gehören neben dem hydrostatischen Druck als Maß für den Wasserstand auch die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit des Meerwassers. Aus diesen Daten werden Salzgehalt und Dichte des Wassers berechnet, die wichtig für das Verständnis der physikalischen Prozesse im Meer sind. Weiterhin werden der im Meerwasser gelöste Sauerstoff und der Gehalt an Plankton erfasst. Instrumente für die Analyse von Nährstoffen sowie des Methan- und des Mangangehalts sind seit Anfang 2005 ebenfalls verfügbar. Für die Bilanzierung von Stofftransporten sind neben den Stoffkonzentrationen auch Daten der Strömung des Wassers erforderlich, mit der die Stoffe transportiert werden. Um eine Verfälschung der Strömungsdaten durch das Pfahlrohr zu vermeiden, werden die Messungen etwa zehn Meter vom Pfahlrohr entfernt durchgeführt;

diese Sensoren werden gemeinsam mit dem Forschungsinstitut Senckenberg betrieben. Neben den Instrumenten für die Wasseranalyse liefern meteorologische Sensoren Informationen über Lufttemperatur, Luftdruck und Wind. Darüber hinaus werden mit optischen Spektrometern das einfallende Tageslicht und das von den oberen Wasserschichten zurückgestreute Licht erfasst. Aus diesen Daten werden Reflexionsspektren ermittelt, die Auskunft über den Schwebstoffgehalt des Wassers geben und in Verbindung mit der Strömungsgeschwindigkeit den Schwebstofftransport zu bilanzieren erlauben.

## Ergebnisse

Die Hydrographie des Wattenmeers wird durch die Gezeiten außerordentlich stark geprägt. Dies macht sich zunächst im Tidenhub von zwei Metern Höhe bemerkbar, der etwa zweimal täglich durchlaufen wird. Ursache dieser Wasserstandsänderung ist die Gezeitenströmung, die mit Ebbe und Flut Wasser durch die Seegatten zwischen den Inseln an den Messgeräten des Pfahls vorbei in das Rückseitenwatt bzw. die offene Nordsee pumpt. Das Wasservolumen



Verlauf von Temperatur, Salzgehalt und Wasserstand an der Messstation an den Tagen der Satellitenaufnahmen 29. März (blau) und 2. Juni 2004 (rot). Der niedrige Salzgehalt bei Niedrigwasser im März wird durch Süßwasser hervorgerufen, das über Siele in das Rückseitenwatt eingeleitet wird; der Salzgehalt des Wassers der Deutschen Bucht ist etwa 33 (früher Angabe in Promille, heute dimensionslos). In regenarmen Sommermonaten bleibt das Süßwasser aus, die Wassertemperatur kann jedoch bei Niedrigwasser durch Sonneneinstrahlung kräftig ansteigen.

im Rückseitenwatt ist bei Hochwasser etwa dreimal größer als bei Niedrigwasser.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des ein- und ausströmenden Wassers sind von besonderem Interesse, da sich in ihnen die im Rückseitenwatt stattfindenden Prozesse widerspiegeln. Da im Watt die Wassertiefe gering ist, kann die Temperatur bei Niedrigwasser durch Sonneneinstrahlung im Sommer stark zunehmen und durch kalten Wind im Winter abnehmen. Regen und hierdurch bedingte Süßwasserüberschüsse an Land, die über Siele in das Rückseitenwatt gelangen, können den Salzgehalt stark herabsetzen. Von großer Bedeutung sind auch Substanzen, die über das Süßwasser in das Wattenmeer eingetragen werden, insbesondere Schwebstoffe und gelöste Huminstoffe. Von diesen ernähren sich Bakterien, die dann organische Substanzen freisetzen, welche die in hohen Mengen vorhandenen mineralischen Trübstoffe zu Aggregaten verkleben. Große Partikelaggregate können zum Wattboden absinken und das Schlickwatt bilden.

Schwebstoffe und gelöste Substanzen werden in großem Umfang durch die Gezeitenströmung zwischen der offenen See und dem Rückseitenwatt verfrachtet. Die Ermittlung dieser Stofftransporte und die Bilanzierung der Ein- und Austräge durch das Seegatt mit geeigneten Messverfahren sind die wesentlichen Aufgaben der laufenden Forschungsar-

beiten. Diese Bilanzen geben Auskunft über den aktuellen Zustand des Wattenmeers und seine weitere Entwicklung.

Die Bedeutung dieser Transporte wird in Aufnahmen des oberflächennahen Schwebstoffs deutlich, die mit Satelliten gewonnen werden. Jedoch sind solche Bilder nur Momentaufnahmen und erlauben wegen ihrer geringen zeitlichen Wiederholungsrate und der häufigen Bewölkung keine Bestimmung der Stofftransporte zwischen der offenen See und dem Watt. Die in den Satellitenbildern beobachteten Strukturen im Watt und vor den Inseln stimmen jedoch mit den Ergebnissen hydrodynamischer Modelle des Schwebstofftransports, die in der Forschergruppe entwickelt wurden, qualitativ gut überein. Satellitenbilder und Modellergebnisse werden mit den an der Station bei Spiekeroog gewonnenen Messdaten verglichen und verifiziert, um den Stofftransport durch das Spiekerooger Seegatt präzise zu erfassen und solche Bilanzen für das ostfriesische Wattenmeer insgesamt zu ermitteln.

## Ausblick

Die Messungen im Spiekerooger Seegatt geben uns einen Einblick in die Eigenschaften des Wassers, das bei Flut in das Rückseitenwatt einströmt und dieses Gebiet mit dem Ebbstrom wieder verlässt. Prozesse, die im Wasser des zentralen

Rückseitenwatts stattfinden, prägen die bei Ebbstrom gewonnenen Messdaten. Neben den Süßwassereinträgen aus den Sielen kommt dem im Porenraum der Wattsedimente enthaltenen Wasser ebenfalls große Bedeutung zu. Aus den bei Niedrigwasser trockenfallenden Sedimenten tritt ein Teil dieses Porenwassers aus. Durch bakterielle Aktivität im Sediment während der warmen Jahreszeiten reichern sich im Sediment gebundene Metalle im Porenwasser an und gelangen dann in die Wassersäule des Rückseitenwatts. Durch die Gezeitenströmung erreichen diese erhöhten Metallkonzentrationen die Deutsche Bucht und prägen das Wasser der Nordsee.

Um die Bedeutung der Sedimente und des Austauschs zwischen Sediment und Wassersäule des Wattenmeers zu untersuchen, werden in der laufenden Projektphase neue Verfahren zur Beprobung der Sedimente und ihres Porenwassers sowie des aus den Sedimenten austretenden Wassers entwickelt. Die im Rückseitenwatt stattfindenden physikalischen und chemischen Vorgänge sollen hiermit genauer verstanden werden, um die Interpretation der an der Messstation im Seegatt gewonnenen Daten weiter zu vertiefen.

An der Realisierung der Messstation bei Spiekeroog waren die Firmen -4H- JENA engineering GmbH, Jena, und Ludwig Voss, Cuxhaven, sowie die Betriebseinheit für technisch-wissenschaftliche Infrastruktur der Universität Oldenburg maßgeblich beteiligt.

## Der Autor



Dr. Rainer Reuter leitet die Arbeitsgruppe Meeresphysik (vorher: Angewandte Optik/Laserfernerkundung) am Institut für Physik. Er studierte Physik in Heidelberg und Kiel, wo er im Jahr 1979 promovierte. Anschließend war er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am GKSS Forschungszentrum Geesthacht auf dem Gebiet der physikalischen Gewässerforschung tätig. 1980 wechselte er an den Fachbereich Physik der Universität Oldenburg. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung von Verfahren für die Meeresforschung und Meeresüberwachung sowie die Messung und Modellierung von Stoffkreisläufen im Meer. Im Rahmen seiner Tätigkeiten hat er an zahlreichen Schiffsexpeditionen teilgenommen.



# Trübe Aussichten: Bakterien und Schwebstoffe im Watt

Von Meinhard Simon, Mirko Lunau und Andreas Lemke

Die Bildung und Stabilität von Schwebstoffaggregaten in flachen, tidenbeeinflussten Küstenmeeren werden entscheidend durch die Strömungsverhältnisse und somit durch die Gezeiten reguliert. Zu ihrem Umsatz und Abbau tragen auch die Stoffwechselaktivitäten der auf ihnen siedelnden Bakterien bei. Die Zusammensetzung, Größenverteilung und Konzentration der Aggregate unterliegen daher dramatischen Änderungen im Tidenzyklus und im Verlauf der Jahreszeiten.



Hoher Gehalt von Schwebstoffen: Priele im Watt.

The formation and stability of suspended matter aggregates in shallow, tidally-influenced coastal seas are strongly affected by the hydrodynamic conditions. In addition, metabolic processes of the colonizing bacteria contribute to their turnover and decomposition. Hence, the composition, size distribution and concentration of the aggregates undergo dramatic tidal and seasonal changes.

Das Wattenmeer und ähnliche tidenbeeinflusste flache Küstenmeere gehören zusammen mit Flussmündungen zu den Gewässern mit den höchsten Gehalten an Schwebstoffen, die dem Wasser eine charakteristische grau-braune Färbung mit sehr geringer Lichtdurchlässigkeit geben. Für Taucher ist das trübe Wattenmeer daher alles andere als ein attraktives Revier, für eine Vielzahl von Bakterien dagegen ist es ein höchst vielfältiger und nährstoffreicher Lebensraum. Nur einige der aller kleinsten Schwebstoffe von wenigen Mikrometern Größe bleiben allerdings ständig in Schwebelage, der größte Teil sinkt nach unten, weil er eine größere Dichte als das umgebende Meerwasser besitzt. Die Schwebstoffkonzentration hängt deshalb vor allem von der Strömungsgeschwindigkeit und der Turbulenz des Wasserkörpers ab, da durch die Verwirbelungen auch absinkende Schwebstoffe wieder aufwärts transportiert werden können und auf dem Wattboden abgelagertes Material wieder aufgewirbelt werden kann. Im Gegensatz zu Flüssen zeichnen sich tidenbeeinflusste Gewässer durch große Unterschiede in den Strömungsgeschwindigkeiten aus, die im Rhythmus der Gezeiten vom Stillstand bis zu Geschwindigkeiten von etwa 1,5 Meter pro Sekunde variieren. Aus diesem Grund ändert

sich die Konzentration der Schwebstoffe im Tidenzyklus stark.

Untersucht man Schwebstoffe auf ihre Struktur und Zusammensetzung, so zeigt sich, dass sie fast nie aus einzelnen Partikeln bestehen, sondern Aggregate und zudem von Bakterien besiedelt sind. Sie bestehen aus dem organischen Material abgestorbener Lebewesen wie Mikroalgen und kleinen Meerestieren sowie aus mineralischen Bestandteilen wie Tonmineralen und Resten von Kalk- und Kieselalgenschalen. Physikalisch-chemische Wechselwirkungen und klebrige Substanzen, die von Algen und Bakterien ausgeschieden werden, halten die aggregierten Partikel zusammen.

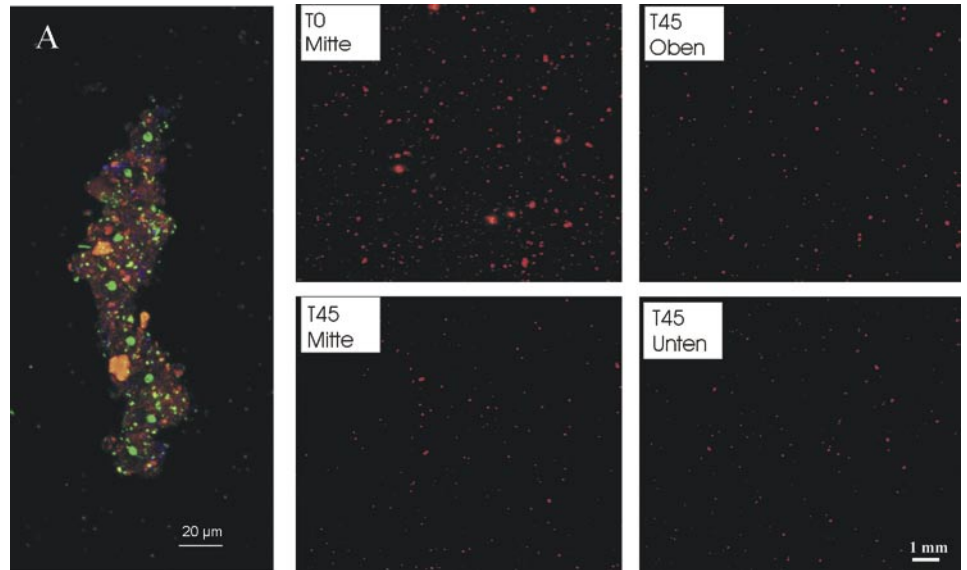
Für viele filtrierende Organismen, z.B. Zooplanktonkrebse und am Boden lebende Tiere wie Muscheln, dienen Schwebstoffe als wichtige Nahrungsquelle. Die durch mikrobielle Prozesse veränderten Schwebstoffe sinken letztendlich ab, werden in das Sediment eingearbeitet und dort durch andere Mikroorganismen weiter abgebaut.

## Aktuelle Fragen zur Schwebstoffdynamik

Obwohl die Bedeutung der Schwebstoffe in Gewässern schon seit längerem bekannt ist, gibt es noch eine Fülle von offenen Fragen. Für das Rückseitenwatt von



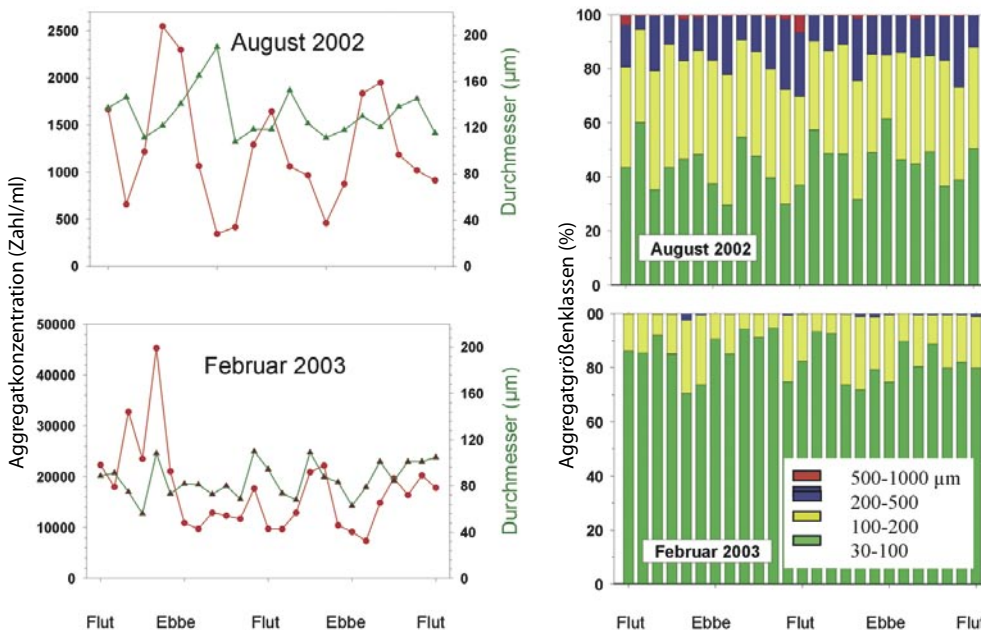
Epifluoreszenzmikroskopisches Foto eines Schwebstoffaggregats und der assoziierten Algen und Bakterien nach Anfärbung mit Fluoreszenzfarbstoffen (A) sowie der Schwebstoffe im Horizontalschöpfer unmittelbar nach der Probenahme (T=0 min, Mitte) und nach einer Sedimentationszeit von 45 min oben, in der Mitte und unten im Schöpfer.



Spiekeroog haben wir die folgenden Fragen in den Vordergrund gestellt: Wie variiert die Größenverteilung und biochemische Zusammensetzung von Schwebstoffaggregaten im Tidenzyklus und Jahresverlauf? Welche Bakterien besiedeln die Schwebstoffaggregate, und unterscheiden sie sich von den Bakterien im umgebenden Wasser? Zunächst mussten wir ein geeignetes Gerät entwickeln und bauen, um schwebstoffhaltige Wasserproben möglichst schonend von einem Schiff aus nehmen zu können: einen Horizontalschöpfer. Nach der Probenahme

mit diesem Gerät werden die Schwebstoffe zunächst mit einer Digitalfotokamera bei rechtwinkliger Beleuchtung mit rotem Laserlicht dokumentiert. Mit einem PC-gesteuerten Bildverarbeitungsprogramm wird aus den Fotos später im Labor die Anzahl und Größenverteilung der Aggregate berechnet. Anschließend wird der Schöpfer als Sedimentationskammer benutzt, in der die Schwebstoffe in Abhängigkeit von ihrer Größe und Dichte unterschiedlich rasch absinken. Nach unserer Erfahrung sind die verschiedenen Fraktionen nach 45 Minuten

gut getrennt. Die schwersten Aggregate sind dann bereits ganz abgesunken, und oben, in der Mitte und unten im Schöpfer befinden sich qualitativ unterschiedliche Aggregatfraktionen, die für weitere Untersuchungen aus dem Schöpfer entnommen werden. Um die Schwebstoffdynamik im Tidenzyklus zu erfassen, müssen mit dem Schöpfer stündlich Proben genommen werden. Die Messungen zeigen ein grundlegendes Muster mit den höchsten Schwebstoffkonzentrationen zu Zeiten der höchsten Strömungsgeschwindigkeit bei mittlerer Tide und die niedrigsten



Konzentration, mittlerer Durchmesser und Größenklassenverteilung der Schwebstoffaggregate im Verlauf von zwei Tidenzyklen im August 2002 und im Februar 2003.

Wissenschaftliche Arbeit vor Ort: Probenanalyse im Labor des Forschungsschiffs „Senckenberg“.



Schwebstoffaggregaten. Während der Vegetationsperiode sind im Freiwasser relativ mehr Bakterien vorhanden und im Herbst und Winter etwa gleich hohe Anteile auf den Schwebstoffaggregaten und im Freiwasser. Dies liegt daran, dass die Bakterien während

Konzentrationen an den Kenterpunkten der Tide bei Hoch- und Niedrigwasser, wenn die Strömungsgeschwindigkeit am geringsten ist. Dem unbedarften Beobachter zeigt sich das Wasser im Watt aber auch dann noch als sehr trüb. Deutliche Unterschiede treten zwischen der Vegetationszeit (April bis Oktober) und dem Winter auf. Während der Vegetationszeit sind erheblich weniger, allerdings größere Aggregate als im Winter vorhanden. An den Unterschieden zeigt sich, dass die Aggregate während der Vegetationsperiode qualitativ anders zusammengesetzt sind als im Winter. Vermutlich fehlt im Winter das von den Kieselalgen produzierte Klebematerial, so dass die Aggregate sehr klein bleiben. Zudem ist im Winter durch den stärkeren Wind die Turbulenz im Wasser intensiver, wodurch mehr Aggregate in Suspension gehalten werden als während der Vegetationsperiode.

## Bakterien auf Schwebstoffen

Schwebstoffe sind intensiv von Bakterien besiedelt, die die organischen Bestandteile abbauen und auflösen. Ein Milliliter Wasser im Wattenmeer enthält etwa zwei bis sechs Millionen Bakterien, und davon befinden sich zwischen 20 und 60 Prozent auf den

der Vegetationszeit den überwiegenden Teil ihrer Nährstoffe in gelöster Form im Wasser finden. Höchst interessant und völlig unerwartet war die Beobachtung, dass sich die Bakterienbesiedlung der Schwebstoffaggregate im Tidenzyklus dramatisch ändert. An den Kenterpunkten sind die Schwebstoffe viel intensiver von Bakterien besiedelt als beim Strömungsmaximum. Dass Bakterien aus dem freien Wasser auf die Schwebstoffe wandern und bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten wieder zurück ins freie Wasser gelangen, belegt die Tatsache, dass die Bakterienzahl im Freiwasser zur Zahl auf den Schwebstoffen gegenläufig ist. Bisher wissen wir aber noch nicht, welche Bakterien diese Wanderung durchführen.

Wir haben deutliche Hinweise darauf, dass die Bakteriengemeinschaften auf den Schwebstoffen anders zusammengesetzt sind als im Freiwasser und auf dem sauerstoffhaltigen Oberflächensediment und dass es jahreszeitliche Unterschiede gibt. Auch wenn diese Befunde nicht unerwartet sind, waren sie bisher für schwebstoffreiche tidenbeeinflusste Flachmeere nicht dokumentiert. Die drei genannten Lebensräume zeichnen sich durch sehr unterschiedliche Umwelt- und Nährstoffbedingungen aus, stehen aber trotzdem durch die hydrodynamischen Verhältnisse in

intensiver räumlicher und zeitlicher Wechselwirkung. Damit wird an der Bakterienbesiedlung deutlich, dass die Schwebstoffe eine vermittelnde Funktion zwischen dem Freiwasser und dem Sediment besitzen. Schwebstoffe und Bakterien sind im Wattenmeer wesentliche Strukturelemente und in eine Vielzahl von biogeochemischen Prozessen eingebunden. Das äußerlich trübe und nicht gerade einladende Wattwasser ist für Bakterien ein höchst interessanter, vielseitiger und attraktiver Lebensraum.

## Die Autoren



Prof. Dr. Meinhard Simon, Leiter der Arbeitsgruppe geologischer Prozesse am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), studierte Biologie in Konstanz und Freiburg. Nach der Promotion (1985) arbeitete er von 1986 bis 1988

als DFG-Stipendiat an der Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, Kalifornien. Anschließend war er am Limnologischen Institut der Universität Konstanz tätig, wo er sich auch 1992 habilitierte. 1997 folgte er dem Ruf an die Universität Oldenburg auf die Professur für Biologie geologischer Prozesse. Sein Forschungsschwerpunkt ist die mikrobielle Ökologie von aeroben Bakteriengemeinschaften in marinen Gewässern und umfasst auch Stoffumsatzprozesse von schwebstoffassoziierten Bakterien. Er hat u.a. Forschungsfahrten in das Rote Meer, den Pazifik und das Südpolarmeer unternommen.



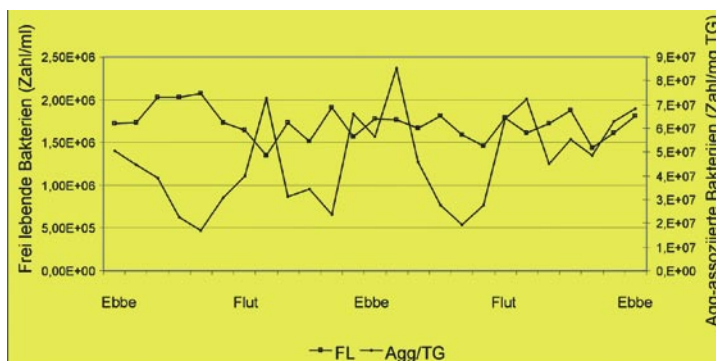
Dipl.-Biol. Mirko Lunau, seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biologie geologischer Prozesse am ICBM, studierte in Hamburg Biologie. Er beschäftigt sich in seiner Arbeit

im Rahmen der Forschergruppe Watt mit Fragen der Bildung, biochemischen Zusammensetzung und Dynamik von Schwebstoffaggregaten.



Dipl.-Umweltwiss. Andreas Lemke, seit 2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biologie geologischer Prozesse, studierte Marine Umweltwissenschaften an der Universität Oldenburg. Er befasst sich mit dem Stoffumsatz

und -abbau von schwebstoffassoziierten Bakteriengemeinschaften.



Zahl der Freiwasser- und aggregatassoziierten Bakterien im Verlauf von zwei Tidenzyklen im Juli 2003.

# Sessile Lebensweise: Neubausiedlungen im Watt

Von Tilmann Harder

Die mobilen Larvalstadien sedimentbewohnender Borstenwürmer erkennen die Eignung des zukünftigen, permanenten Lebensstandorts anhand von Bakterienmustern in der oberen Sedimentschicht. Die Quellen solcher Ansiedlungssignale im Watt und ihre chemische Natur werden untersucht.

The mobile larval stages of infaunal polychaetes assess the suitability of permanent settling sites by recognizing bacterial patterns in the top sediment layer. We deal with the analysis and identification of sources and identities of larval settlement signals in the Wadden Sea.



Oben: Kothaufen eines Wattwurms.  
Links: Eine zur Ansiedlung fähige Larve des Wattwurms *Polydora cornuta*. Die noch schwimmfähige Larve ist ca. zehn Tage alt und hat eine Länge von ungefähr einem Millimeter.

„Wollen Sie günstig und schnell ins Eigenheim?“ Banken buhlen so allerorten um Kundschaft. Wir möchten gern citynah und verkehrsgünstig wohnen, der nächste Supermarkt soll möglichst um die Ecke und Schulen, Ärzte und Apotheken schnell erreichbar sein. Diese Wünsche haben ihren Preis und können oft nur realisiert werden, wenn man am Stadtrand baut. Möchten wir mal ins Kino, ins Restaurant oder gar in die Sonne, dann setzen wir uns ins Auto oder in den Billigflieger. Dieses Selbstverständnis von Mobilität kommt ins Schwanken, wenn wir plötzlich nicht mehr so beweglich sind, wie wir es möchten, sei es durch ein gebrochenes Bein oder hohe Treibstoffpreise. Einmal angenommen, wir verfügten über den Luxus unbegrenzter Mobilität nur innerhalb der ersten Tage unseres Lebens und wären danach zu andauernder Immobilität verdammt - wie würden wir dann unseren Wohnort festlegen und unser (Über)leben sicherstellen? Ein Haus bei Aldi auf dem Parkplatz zu errichten oder direkt im Kornfeld zu campieren, könnten dann reale Wohnalternativen darstellen.

In einer durchaus vergleichbaren Situation befindet sich eine Vielzahl der Meeresbewohner. Der Anschein, dass es im Meer von quirligen Fischen wimmelt, trügt. Tatsächlich haben mehr als neunzig Prozent der Meeresorganismen eine „sessile“ Lebensweise, das heißt, sie sind fest mit hartem Substrat verbunden oder in ihrer Mobilität auf dem oder im Meeresboden auf einen Bereich von Zentimetern bis Metern beschränkt und somit hemisessil. Einige Vertreter der strikt sessilen Gruppe kennen wir als die einfach gebauten wirbellosen Tiere, die Schwämme, Moostiere oder Seepocken; die hemisessile Gruppe wird dagegen durch Seeigel (Echinodermen) und eine Reihe von Borstenwürmern (Polychaeten) repräsentiert. Nur während der ersten Tage ihres Lebenszyklus besitzen diese Organismen ein bewegliches Lebensstadium, in dem sie scheinbar hilflos als mikroskopisch kleiner Larvalorganismus in der Wassersäule schweben. Sie sind zu klein und schwach, um bei ihrer Größe genug Energie für den Eigenantrieb aufzuwenden. Sie treiben daher als passive Partikelchen gleich einem vom Raumschiff abgekoppelten Astronauten im Medium Wasser umher und entwickeln sich



währenddessen zu einem siedlungsfähigen Organismus.

## Fester Boden unter den Füßen

**D**er zu Beginn der sesshaften Lebensweise zwingend erforderliche Kontakt mit einer festen Oberfläche oder dem Meeresboden ist unter solchen Bedingungen unwahrscheinlich und daher selten. Kommt es jedoch zu solch einem Ereignis, muss die vollständig entwickelte Larve nicht nur schnell, sondern vor allen Dingen sicher und zielgerichtet handeln. In dieser Situation ist es wichtig, dass sie sich möglichst dicht an der Oberfläche hält, um nicht durch eine Strömung wieder in die endlosen Weiten der offenen Wassersäule verdriftet zu werden. Hierbei hilft ihr bei ihrer kleinen Körpergröße der physikalische Effekt der laminaren stationären Grenzschicht, einer wenige hundert Mikrometer dicken Wasserschicht nahe festen, von Wasser bedeckten Oberflächen, in der keine turbulente Strömung vorherrscht und die einen ähnlichen Effekt wie der Seitenstreifen neben der Autobahn aufweist. Vorausgesetzt die Larve überlebt die ersten Sekunden nach der Landung und wird nicht durch einen unhaltbaren Sog in die Kiemen einer in der Nähe filtrierenden Muschel gezogen, kann sie nun den Landungsort in Ruhe erkunden und eventuell mit Hilfe kleiner lokomotorischer Zirren, feinen Verästelungen am Körper der Larve, den Landepunkt sogar geringfügig erkunden.

Doch wonach hält der Larvalorganismus in solch einer Situation „Ausschau“, wenn dieser Ausdruck bei einem sehr eingeschränkten Sehsinn und bei Abwesenheit anderer Kommunikationsorgane erlaubt ist? Welches sind die Anzeichen, die Auskunft darüber geben, ob sich der Ort als „Bauplatz“ für das restliche Leben eignet? Es wäre in dieser Situation äußerst hilfreich, etwas über das Futterangebot an diesem Ort zu erfahren, über den Fraßdruck eventueller Räuber, die Besiedlung durch andere Organismen, die Nachbarschaft von Individuen der eigenen Art und die Geschichte dieses Ortes. All diese Informationen sollten auf verlässlichen Quellen beruhen, um gegebenenfalls eine Entscheidung für oder gegen den Siedlungsort zu treffen. Zu wählerisch darf die Larve dabei allerdings nicht sein, denn die Aussicht einer besseren Alternative bei erneuter Verdriftung ist völlig unklar und somit höchst spekulativ. Darüber hinaus sind in einer Vielzahl von Organismen die Larvalstadien mit einem begrenzten Energievorrat ausgestattet. Dies hat

zur Folge, dass das Ticken der inneren Uhr mit fortschreitender Zeit lauter wird und nach definitiven Entscheidungen verlangt.

## Imaginäre Schilder

**W**as also sind die imaginären Schilder, die über den Landepunkt Auskunft geben, und welche Information steht auf ihnen geschrieben? Jede marine Oberfläche ist mehr oder weniger stark mit so genannten Biofilmen bedeckt. Biofilme bestehen aus einer Reihe von Mikroorganismen, unter denen Bakterien eine dominante Rolle zukommt. Bakterien bevölkern das Seewasser in sehr hohen Zahlen – durchschnittlich findet man eine Million Bakterien in jedem Milliliter. Durch die mikroskopische Brille betrachtet, sieht das Seewasser wie ein dichtes Schneegestöber von Bakterienflocken aus. Diese lagern sich auf jeder Oberfläche an und entwickeln sich dort je nach den Bedingungen und je nach Bakterientyp mehr oder weniger gut. Die mikroskopische Besiedlung vollzieht sich sehr schnell und ist in hohem Maße charakteristisch für die an diesem Punkt vorherrschenden Umweltbedingungen. Die Bakterienbesiedlung führt damit zu einem hochkomplexen und informativen Atlas der Oberfläche.

Man weiß mittlerweile, dass siedlungsfähige Larven diesen biologischen Atlas „lesen“ können. Die eigentliche Informationsübertragung erfolgt über die chemosensorische Wahrnehmung bakterieller Stoffwechselprodukte, so genannter Sekundärmetabolite, durch den Larvalorganismus. Wir wissen inzwischen viel über sessile Meeresorganismen, die gerne auf Oberflächen siedeln, die wir aus naheliegenden Gründen sauber und glatt halten möchten, z.B. Schiffsrümpfe und Antriebschrauben. Die Untersuchung der Standortwahl mobiler Larvalstadien sessiler Wattwürmer ist dagegen bisher kaum Gegenstand der Forschung gewesen.

## Der Oldenburger Beitrag

**D**ie verschiedenen Wattwürmer kommen im Watt in sehr hohen Siedlungsdichten von 50.000 bis 200.000 Individuen pro Quadratmeter vor und steuern durch ihre Aktivität sowohl zur Stabilisierung des Sediments als auch zu seiner Durchwühlung bei. Veränderungen im Sedimenthaushalt können sich auf das Ökosystem Watt auswirken und darüber die Ansiedlungsbedingungen am Meeresboden verändern. Um diese Fragen experimentell zu untersuchen, werden zwei der zahlenmäßig häufigen Wattwurmarten (*Polydora cornuta*

und *Streblospio benedicti*) in Kultur gehalten. Diese Wurmulturen produzieren unter Laborbedingungen unabhängig von der Jahreszeit regelmäßig eine Vielzahl von Larven, die nach einer Aufzuchtphase in Ansiedlungstests auf ihre Standortpräferenzen untersucht werden. Dass Bakterien für den Ansiedlungsprozess beider Wurmarten eine wichtige Rolle spielen, lässt sich deutlich im Experiment mit natürlichem Sediment zeigen. Werden nämlich die Bakterien hier durch Sterilisierung abgetötet, erweist sich das Sediment als nicht mehr attraktiv für den Larvalorganismus. Mit dem Ziel, Bakterien zu finden, die die Ansiedlung stimulieren, werden Bakterien aus der obersten Schicht des Watts isoliert und auf künstliche Sedimente aufgebracht, um die Reizantwort der Larven unter kontrollierten Bedingungen festzustellen. Diese Arbeiten werden begleitet von einer molekularbiologischen „Kartierung“ der Bakterien an Wattstandorten, die augenscheinlich von den beiden untersuchten Wurmarten bevorzugt oder gemieden werden. Über solche Analyseverfahren wird angestrebt, die Standortattraktivität mit der Anwesenheit bestimmter Bakteriengruppen zu korrelieren. Von ausgewählten, kultivierbaren Bakterien werden anschließend mit chemisch-analytischen Methoden sowohl Sekundärmetabolite als auch mit der Zellmembran assoziierte Makromoleküle isoliert und getrennt auf ihren Effekt bzw. ihren „Informationsgehalt“ als Standortkriterium untersucht. Mit diesem experimentellen Ansatz versuchen wir, die imaginären Schilder auf der Wattoberfläche molekularbiologisch zu charakterisieren und ihre Aufschrift chemisch-analytisch zu entziffern.

## Der Autor



Juniorprof. Dr. Tilmann Harder, Leiter der Arbeitsgruppe Umweltbiochemie am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), studierte Chemie an der Universität Oldenburg, wo er 1996 promovierte. Anschließend arbeitete er an der Hong Kong University of Science and Technology, wo er sich mit der Isolierung und Beschreibung biologisch aktiver mariner Naturstoffe befasste. 2002 kehrte er als Juniorprofessor an die Universität Oldenburg zurück. Schwerpunkt seiner Forschungstätigkeit ist die Untersuchung von ökologisch relevanten marinen Naturstoffen, die der Verteidigung, Fortpflanzung oder Verbreitung mariner Organismen dienen.

# Nahrungsketten im Watt: Fressen und gefressen werden

Von Thilo Gross und Kai W. Wirtz

Das Wattenmeerökosystem ist ein komplexes Gefüge verschiedener Lebewesen und Prozesse. Wir stellen zwei verschiedene Modellierungsstrategien vor, mit denen dieses System untersucht wird – die realistische und die konzeptionelle Modellierung. Unsere Betrachtung zeigt, wie sich diese unterschiedlichen Herangehensweisen ergänzen und sogar vereinen lassen.

The Wadden Sea ecosystem is characterized by the complex interaction of many different species and processes. We describe two modelling approaches which are used to study this system – realistic and conceptual modelling. Our discussion underlines the differences between these approaches. It also shows how they complement each other and even converge to a new way of describing ecosystems.



Das Wechselspiel von Räuber und Beute ist nicht nur im Film "Findet Nemo" spannend, sondern auch bei der Modellierung von Ökosystemen spielt die Beschreibung von Nahrungsnetzen eine besondere Rolle.

Natürliche Ökosysteme basieren auf dem Prinzip des „Fressen-und-gefressen-werdens“. Dem Menschen, der am Ende vieler Nahrungsketten steht, ist dieses Prinzip nur noch von einer Seite her erfahrbar. Die andere Seite wird in Filmen wie Findet Nemo einprägsam in Szene gesetzt: Nemos Mutter und seine Geschwister „verschwinden“ bei einem Barrakuda-Besuch. Solche Animationsfilme wie auch realistische Dokumentationen stellen eindrucksvoll die verschiedenen Strategien dar, mit denen Räuber ihre Nahrung erbeuten und die Beute ihrerseits dem Gefressen-werden zu entkommen versucht. Man denke nur an Fische, die durch Schwarmbildung ihre Jäger verwirren, oder Orka-Wale, die Heringsschwärme zusammentreiben, um die Fische dann mit ihren Schwanzflossen zu erschlagen. Nicht weniger dramatisch geht es auch im Wattenmeer zu.

## Nahrungsketten im Wattenmeer

Im Wechselspiel der Gezeiten führen selbst Algen - die Pflanzen der Meere - ein bewegtes Leben. Um wachsen zu können, benötigen sie wie alle Pflanzen Licht und

eine ausreichende Versorgung mit gelösten Nährstoffen. Die Algen werden von Muscheln und Zooplankton, zum Beispiel kleinen Wasserflöhen gefressen. Vom Zooplankton ernähren sich kleine Fische und Fischlarven. Muscheln und kleine Fische selbst stehen wiederum auf dem Speiseplan vieler Seevögel. Eine zweite, vor allem im Wattenmeer wichtige Nahrungsquelle bildet abgestorbenes organisches Material. Durch einen ersten Zersetzungsprozess werden die abgestorbenen Überreste von Tieren und Pflanzen in kleine Partikel, den so genannten Detritus, umgewandelt. Von ihm leben direkt oder indirekt Bakterien, einige Planktonarten und Wattwürmer.

Grob betrachtet ergeben sich im Wattenmeer zwei parallele Nahrungsketten. Die eine Kette beginnt bei den anorganischen Nährstoffen, die andere beim Detritus. Seevögel, räuberische Vögel und Menschen stehen am Ende beider Ketten. Schaut man jedoch genauer hin, ist die Situation viel komplexer. Die verschiedenen Stufen der Nahrungsketten sind nicht nur dicht miteinander verwoben, sondern werden jeweils von Dutzenden verschiedener Arten bevölkert. Diese Arten zeigen teilweise sehr

unterschiedliches Verhalten. Während einige Algen beispielsweise auf gelöste Siliziumverbindungen angewiesen sind, kommen andere weitestgehend ohne diesen Nährstoff aus. Viele Zooplanktonarten fressen nicht nur Algen, sondern auch anderes Zooplankton. Und natürlich ernähren sich auch nicht alle Fische nur von Zooplankton. Es gibt sogar vegetarische Fische, wie zum Beispiel die Meeresche, die den Algenbewuchs auf dem Sediment beweidet. Auf diese Weise ergibt sich ein komplexes Nahrungsnetz. Nicht nur für das Wattenmeer, sondern auch für andere Ökosysteme ist dieses komplexe Gefüge von zentraler Bedeutung. Das Wattenmeer dient vielen Fischarten der Nordsee als Kinderstube. Darüber hinaus nutzen viele Zugvögel das Watt, um sich Energievorräte für ihre langen Reisen anzufressen.

## Realistische Modelle

Für die Untersuchung von komplexen Systemen wie dem Nahrungsnetz im Wattenmeer stellen mathematische Modelle neben Laborexperimenten und Messungen im Untersuchungsgebiet ein wichtiges Werkzeug dar. Bei der Modellierung werden die aus Theorie und Experiment bekannten Zusammenhänge in mathematische Gleichungen übersetzt. Dadurch entsteht ein Gleichungssystem, das das Verhalten des natürlichen Systems nachbildet. Anhand dieses mathematischen Modells lassen sich dann weitere Untersuchungen mit relativ geringem Aufwand durchführen. Zum Beispiel können in einem Modell alle Systemvariablen direkt beobachtet werden - also auch diejenigen, die sonst nur schwer zu messen sind. Ein weiterer Vorteil zeigt sich bei der Betrachtung besonderer Szenarien, die in der Natur gar nicht oder nur mit großen Aufwand untersucht werden können. Auf diese Weise werden zum Beispiel im Computer die Auswirkungen von Eiswintern, Stürmen oder Ölunfällen auf das Watt betrachtet.

Zur Untersuchung des Wattenmeers als Gesamtsystem wird eine Modellierungsstrategie eingesetzt, die als realistische Modellierung bezeichnet wird. In realistischen Modellen wird versucht, das natürliche System möglichst genau nachzubilden. Dies führt bei einem System wie dem Nahrungsnetz im Wattenmeer automatisch zu einem sehr komplexen System von mathematischen Gleichungen, deren Formulierung und Einbettung in das mathematische Modell viele Jahre in Anspruch nehmen kann. In



Das Watt ist die Heimat vieler interessanter Lebensformen. Ihre Wechselwirkungen bilden ein komplexes Netzwerk. Die Abbildung zeigt einen Copepoden (Zooplankton) und verschiedene Algen.

den Gleichungen steckt eine Vielzahl von Parametern, die zum Beispiel beschreiben, wie schnell eine Zooplanktonpopulation unter bestimmten Umweltbedingungen wächst. Um die Werte dieser Parameter in der Natur zu bestimmen, ist oft ein erheblicher experimenteller Aufwand erforderlich. Darüber hinaus benötigt ein realistisches Wattmodell weitere Informationen. So hängt die Bewegung des Planktons von der Strömung des Wassers durch das Watt ab. Die Strömungsfelder, die diese Bewegung beschreiben, müssen deshalb zunächst in hydrodynamischen Berechnungen gewonnen werden.

Eine andere Auswirkung der Komplexität realistischer Modelle ist, dass sie beinahe ausschließlich in Simulationen untersucht werden können. Der Ablauf einer Simulation ähnelt dabei einem Experiment. Im Experiment würde man einen bestimmten Eingriff vornehmen, also zum Beispiel zusätzliche Nährstoffe in ein Versuchssystem einbringen und dann die Auswirkungen auf das System für eine gewisse Zeit beobachten. Bei der Simulation ändert man einen entsprechenden Modellparameter (z.B. Nährstoffverfügbar-

keit) und simuliert dann die Entwicklung des Systems über den entsprechenden Zeitraum. Dies geht in der Regel sehr viel schneller als im Experiment. Deshalb können sehr viele Untersuchungen in relativ kurzer Zeit und mit vergleichsweise geringem Aufwand durchgeführt werden.

Komplexe Modelle sind mitunter für Überraschungen gut. Ihre eigentliche Stärke liegt in dem Aufzeigen von unerwarteten Effekten, weniger in der Vorhersage genauer Zahlen (vgl. „Warum Bakterien schlafen“ in diesem Heft). Ein aktuelles Beispiel liefern die Nährstoffkonzentrationen an der Küste. Im Rahmen neuer EU-Qualitätsstandards werden bald neue Grenzwerte gelten. Es können deshalb technische, ökonomische oder gesetzliche Steuerungen erforderlich sein, um den Eintrag von Nährstoffen durch Abwässer und Landwirtschaft zu reduzieren. Um möglichst gezielt Maßnahmen ergreifen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Nährstoffdynamik im Watt wünschenswert. Mit Oldenburger Modellen kann gezeigt werden, dass die hohe Nährstoffkonzentration in den flachen Gewässern des Wattenmeeres nicht nur vom Menschen bestimmt wird,



sondern auch durch einen hohen Eintrag aus dem Wattediment.

## Konzeptionelle Modelle

**T**rotz der vielen spannenden Erkenntnisse, die mit realistischen Modellen gewonnen werden, besitzen diese auch Nachteile. Da sie viele Prozesse sehr konkret beschreiben, basieren sie auf einer Vielzahl verschiedener Annahmen. Der Gültigkeitsbereich dieser Annahmen ist in vielen Fällen unklar. Selbst nach sechs Jahren Arbeit der Forschergruppe werden viele Unsicherheiten in den in Oldenburg entwickelten realistischen Modellen verbleiben. Dieses Problem ist nicht nur durch weitere Messkampagnen, internationale Kooperationen oder vermehrten Zugriff auf bestehende Datenbestände zu lösen. Vor allem ist eine intelligente Methodenentwicklung gefragt. Die Untersuchung konzeptioneller Modelle kann hierzu einen Beitrag leisten.

Im Gegensatz zu realistischen Modellen versuchen konzeptionelle Modelle nicht, das Gesamtsystem in allen Details abzubilden. Stattdessen beschreiben sie einzelne, eng umrissene Aspekte, also zum Beispiel bestimmte Teile des Nahrungsnetzes. Im Vergleich mit realistischen Modellen besitzen konzeptionelle Modelle deshalb eine viel geringere Komplexität. Das bedeutet nicht nur, dass das Verhalten von konzeptionellen Modellen leichter zu verstehen ist, sondern dass zur Analyse von konzeptionellen Modellen andere mathematische Methoden zur Verfügung stehen.

Zusätzlich zur Simulation sind an konzeptionellen Modellen auch Untersuchungen mit den Verfahren der Bifurkationstheorie möglich. In Simulationen werden in der Regel nur Systeme betrachtet, in denen die Werte aller Parameter vorgegeben sind. Wenn ein Parameterwert geändert wird, weil neue Daten verfügbar sind oder ein anderes Szenario untersucht werden soll, muss die Simulation vollständig wiederholt werden. Um den realistischen Parameterraum zu erkunden, werden deshalb oft sehr viele Simulationen durchgeführt. Mit den Methoden der Bifurkationstheorie sind hingegen gar keine Simulationen notwendig. An ihre Stelle treten mathematische Berechnungen, in denen die Parameter nicht spezifiziert werden müssen. Das bedeutet, dass die Berechnungen nur einmal durchgeführt werden müssen. Ihr Ergebnis ist für alle möglichen Parameterwerte gültig. Auf diese Weise können Aussagen formuliert werden, die das System mit großer Allgemeinheit beschreiben.

Im Rahmen der Forschergruppe Watt wurde die Allgemeinheit konzeptioneller Modelle noch einen Schritt weitergetrieben. Dazu wurde ein Ansatz entwickelt, der es erlaubt, allgemeine Modelle effizient zu analysieren. In diesen Modellen werden nicht nur die Parameter, sondern auch Teile der Modellgleichungen als Unbekannte behandelt. Ein einziges allgemeines Modell kann auf diese Weise eine große Klasse ähnlicher Systeme beschreiben. Unsicherheiten, die bei der Beschreibung des Systems bestehen, müssen deshalb in allgemeinen Modellen nicht durch häufig relativ willkürliche Annahmen ausgeräumt werden.

Allgemeine Modelle können unter anderem eingesetzt werden, um zu entscheiden, welche biologischen Details in realistischen Modellen berücksichtigt werden sollten. Dies zeigt sich am Beispiel der Nährstoffdynamik. In den meisten konkreten Modellen von Nahrungsketten wirkt eine Erhöhung des Nährstoffeintrags destabilisierend. Aus der Natur ist jedoch bekannt, dass bestimmte Nahrungsketten durch die Zugabe von Nährstoffen stabilisiert werden. In allgemeinen Modellen kann nun untersucht werden, unter welchen Bedingungen eine Destabilisierung beziehungsweise eine Stabilisierung eintritt. Es zeigt sich, dass Nährstoffzugabe immer destabilisierend wirkt, wenn die Wechselwirkung zwischen Arten mit bestimmten mathematischen Funktionen beschrieben wird (Holling-Funktionen). Diese Funktionen werden heute in den meisten konkreten Modellen eingesetzt. Werden jedoch komplexere Funktionen verwendet, die mehr biologische Prozesse berücksichtigen, kann eine Nährstoffzugabe auch stabilisierend wirken. Anhand eines allgemeinen Modells kann entschieden werden, welche Klassen von Prozessen diesen Effekt haben können und deshalb in realistischen Modellen berücksichtigt werden sollten.

## Realistisch, konzeptionell oder beides?

**I**n der Forschergruppe Watt werden einerseits realistische Modelle entwickelt, die das Watt als Gesamtsystem beschreiben, aber auf Grund ihrer hohen Komplexität viele Unsicherheiten enthalten. Andererseits werden allgemeine konzeptionelle Modelle betrachtet, die einzelne Teilaspekte in großer Allgemeinheit beleuchten, aber nur einen kleinen Teil des Gesamtsystems erfassen. Diese beiden Ansätze bilden zwei komplementäre Startpunkte auf dem Weg zu einem

gemeinsamen Ziel: ein Modell, das das Wattenmeer als Gesamtsystem beschreibt, aber nur wenige Gleichungen und Parameter enthält. Ein solches Modell würde die Detailtreue von realistischen Modellen mit der Allgemeinheit und Sicherheit von konzeptionellen Modellen in sich vereinen.

Es stellt sich die Frage, ob eine realistische und gleichzeitig konzeptionelle Beschreibung eines Systems von der Komplexität des Wattenmeeres möglich ist. Können zahlreiche, auf verschiedenen Ebenen miteinander verknüpfte Prozesse des Wachstums und der Anpassung überhaupt mit Hilfe weniger Gleichungen und Modellparameter beschrieben werden? Die Antwort auf diese Frage ist in überraschend vielen Fällen „ja“. Eine grundlegende Eigenschaft von komplexen Systemen ist das Auftreten von emergenten Strukturen. Solche Strukturen treten zum Beispiel auf bei der komplizierten Bahnbewegung der Atome der Luft, die uns umgibt. Zusammengenommen führt die komplexe Bewegung zu emergenten Eigenschaften wie Druck und Temperatur, die einfachen Regeln folgen.

Das Wattenmeerökosystem ist viel komplexer als ein Volumen von Gasatomen. Die geschlossene Beschreibung des Systems auf einer emergenten Ebene ist deshalb noch weit entfernt. Eine Besonderheit der Oldenburger Arbeit liegt darin, dass wir uns diesem Ziel von zwei Seiten nähern, und zwar sowohl durch das Aufspüren zentraler Prozesse in realistischen Modellen als auch durch die genaue Betrachtung dieser Prozesse in konzeptionellen Modellen.

## Die Autoren



Prof. Dr. Kai W. Wirtz (siehe Seite 30).

Dr. Thilo Gross, von 2001 bis 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Theoretische Physik/Komplexe Systeme am Institut für Chemie und

Biologie des Meeres (ICBM), studierte Physik an der Universität Oldenburg und an der University of Portsmouth (Großbritannien). 2004 promovierte er in Oldenburg auf dem Gebiet des Einsatzes allgemeiner Modelle in der Populationsdynamik. Sein wissenschaftliches Interesse gilt vor allem methodischen Entwicklungen im Bereich der Theorie dynamischer Systeme und der Anwendung neuer Methoden in der Ökologie und auf anderen Gebieten.

# Leben an der Grenze: Die alltägliche Sintflut

Von Michael E. Böttcher und Bo B. Jørgensen

Materialeintrag aus der Wassersäule, Wasserströmungen und die biologische Aktivität bestimmen die komplexen Prozesse in der Oberflächenschicht des Watts. Erst der kombinierte Einsatz moderner Feld- und Labor-Methoden ermöglicht es, die Bedeutung einzelner Reaktionen in diesem hochdynamischen System zu erkennen.



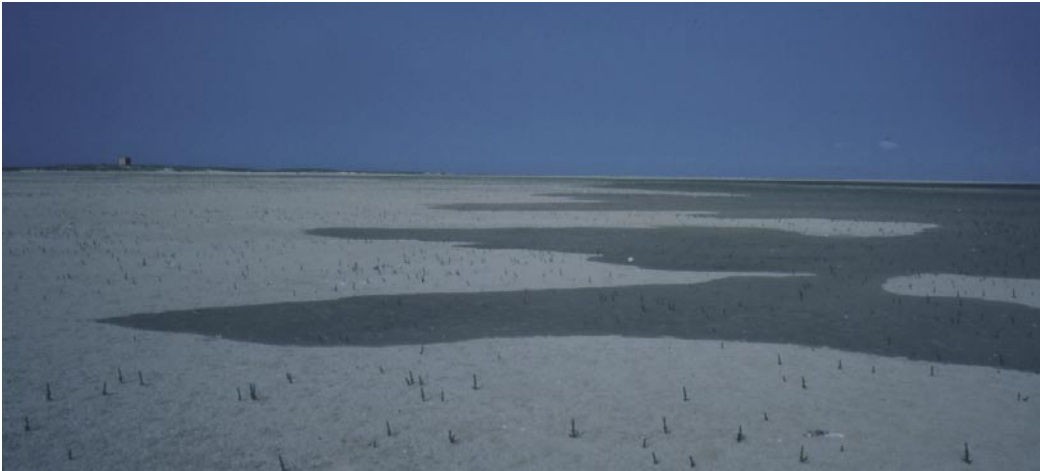
Zur Winter-Probenahme mit dem Forschungsschiff - hier eine Tjaek - im Wattenmeer.

„Im Watt leben vielerlei Viecher, ihr Lifestyle füllt Bücher um Bücher: je kleiner geraten - je größer die Daten. Da hilft nur der richtige Riecher!“

Im Watt gibt es keinen Anfang und kein Ende, alles ist Teil eines dynamischen Kreislaufs, der gelöste und feste Stoffe im Rhythmus der Gezeiten zwischen Wattboden und Meerwasser austauscht. Die sedimentären Prozesse werden durch Organismen entscheidend beeinflusst. Dramatische Wechsel der Lebensbedingungen, z.B. bestimmt von Temperatur, Sonneneinstrahlung, Salzgehalt, Sauerstoffverfügbarkeit, Trockenfallen und Überflutung, prägen das Leben besonders in den oberen Zentimetern des Watts. Wie wird die Aktivität von Mikroorganismen und Kleinstlebewesen durch diese extremen Bedingungen beeinflusst, und was sind die Konsequenzen für die Stoffströme und die Ausbildung von geochemischen Signalen? In seinem Limerick verweist Kirchenrat a.D. Helmut Oeß aus Dangast auf die Vielzahl von Messwerten, die erhoben werden müssen, will man die biogeochemischen Prozesse in den Oberflächensedimenten des hochdynamischen Wattenmeeres verstehen.

Die biologischen und chemischen Reaktionen im Wattboden bestimmen in besonderem Maße die Bildung, Umwandlung, Mobilität und Festlegung von festen, gelösten und gasförmigen Stoffen sowie ihren Transport über die Sediment-Wasser-Grenze. Unterschiedliche Ablagerungsbedingungen im Watt führen je nach Schlickgehalt zu Sand-, Misch- und Schlickwatt-Sedimenten. Damit einher gehen Änderungen anderer Sedimenteigenschaften wie z.B. der Gehalt an organischem Material, Metalloxiden und -sulfiden sowie unterschiedliche Durchlässigkeiten für das oberflächennahe Porenwasser. Die saisonalen, täglichen und tidenabhängigen Änderungen der Hydrodynamik, Temperatur, Lichtintensität, Sedimentumlagerung, Produktivität und Einarbeitung von organischem Material im hochdynamischen Ökosystem Wattenmeer verstärken die Komplexität der im Watt ablaufenden Prozesse. Diese Reaktionen haben darüber hinaus weitreichende ökologische Konsequenzen z.B. für die Festlegung und Remobilisierung von Substanzen, die für andere Organismen lebenswichtig oder auch schädlich sind. Die Erforschung dieser Vorgänge ist technisch sehr aufwändig und geschieht oft unter abenteuerlichen Bedingun-

Material input from the water column, water flow and biological activity determine the complex processes in the surface layer of tidal flats. Only the combination of modern field and laboratory measurements makes it possible to clarify the significance of individual reactions in this highly dynamic system.



Dramatischer Wechsel der Lebensbedingungen: Auflaufendes Wasser.

gen mit einem Forschungsschiff, das sich bei Niedrigwasser trockenfallen lassen kann.

### Wat´n Lifestyle: Leben im Zeichen der Sintflut

In den oberen 20 Zentimetern des Wattbodens findet man die größte Anzahl von Mikroorganismen. So leben im Schllick von der Größe eines Stückchens Würfelzucker etwa eine Milliarde Bakterien in einer Artenvielfalt, wie man sie auch im Regenwald antrifft. Sie ernähren sich von den Überresten von Pflanzen und Tieren. Die Größe dieser „kleinen Viecher“ liegt meist im Mikrometer-Bereich. Um sie und die durch sie verursachten chemischen Reaktionen zu erfassen, bedarf es einer Kombination von aufwändiger Probenahmetechnik mit modernsten analytischen Methoden. Die gezielte Anfärbung der Zellen in Sedimentproben mittels spezifischer Sonden (Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung) ermöglicht es, unter

dem Mikroskop die Bakterien bestimmten Gruppen und ihren unterschiedlichen Aufgaben in den Stoffkreisläufen zuzuordnen. Die bakterielle Verwertung von Abbauprodukten des organischen Materials erfordert die Einbeziehung von Oxidationsmitteln wie Sauerstoff, Nitrat, der festen Oxide von Eisen und Mangan sowie gelöstem Sulfat. Aufgrund ihrer Verfügbarkeit in den oberflächensedimenten sind Sauerstoff und Sulfat hinsichtlich ihrer Menge die wichtigsten Reagenzien. Die Größe, Aktivität und Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft variieren mit den Umweltbedingungen im Sediment. Mit radioaktiv markiertem Sulfat wurde nachgewiesen, dass mit steigender Umgebungstemperatur die Menge an gelöstem Sulfat, das pro Zeiteinheit mikrobiell zu Schwefelwasserstoff umgewandelt wird, deutlich zunimmt. Deshalb ist das Maximum der Sulfatumsetzung in den Sommermonaten zu beobachten. Darüber hinaus führen die höheren Gehalte an organischen Resten im

Schllick im Vergleich zum Sand zu einer verstärkten Aktivität der sulfatreduzierenden Bakterien, die zudem in den oberen Sedimentschichten höher ist als in der Tiefe. Dennoch fungieren auch die durchlässigen Sande als eine Art Bioreaktor, der durch eindringendes Porenwasser mit frischem organischem Material versorgt wird. Die erhöhte mikrobielle Aktivität in den Sommermonaten führt zu einer Intensivierung der biogeochemischen Elementkreisläufe. Beispielsweise wird Manganoxid in der oberflächenschicht der Sedimente in eine lösliche mobile Form überführt. Das Mangan kann dann bei Wasserbedeckung in das Bodenwasser übergehen, wo es wieder oxidiert und sich zurück in einen Feststoff verwandelt.

Die Farbübergänge im Sediment von Gelbbraun an der Oberfläche bis hin zu tiefem Schwarz in tieferen Schichten spiegeln die verschiedenen Nahrungsangebote und -ansprüche der Bakterien wider. Eine Schwarzfärbung an der Sedimentoberfläche durch Eisensulfide, wie sie in größerer Sedimenttiefe normal ist, zeugt von einem vollständigen Verbrauch des Sauerstoffs. Wenn diese Zone bis an die Oberfläche reicht, wird dieses Phänomen im Wattenmeer mit dem Begriff „Schwarze Flecken“ bezeichnet. Das Auftreten großer schwarzer, sauerstofffreier Flächen Mitte der 90er Jahre führte zu einer öffentlichen Diskussion über den Zustand des Ökosystems Wattenmeer.

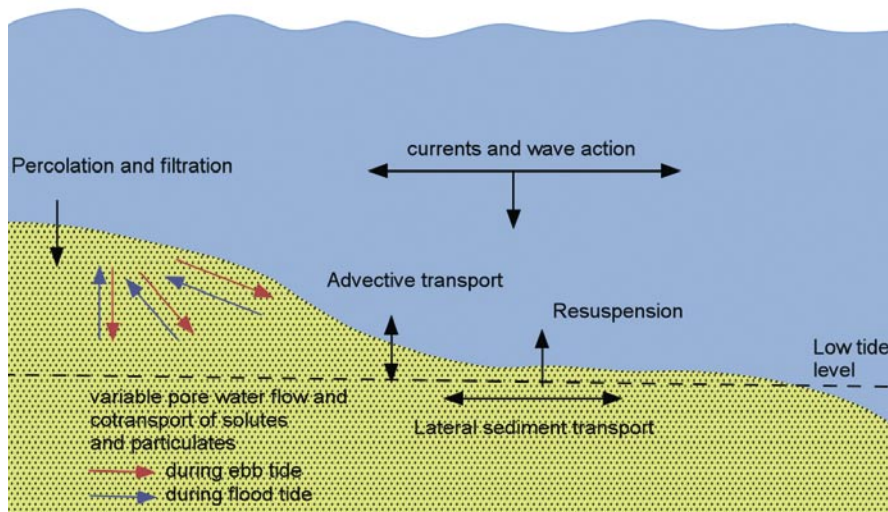
### Nadelstiche im Watt: Räumliche und zeitliche Skalen

Die Anzahl und Art der Mikroorganismen und die Bedeutung der durch sie katalysierten Reaktionen werden durch die sich



Unter für den Menschen lebensfeindlichen Bedingungen ohne Sauerstoff fühlt sich ein Großteil der Bakterien erst richtig wohl. Hier ist der Austritt von sauerstofffreien Porenwässern im Sandwatt durch die Bildung von Schwarzen Flecken angezeigt.





Vereinfachte Darstellung der Transport-Prozesse in sandigen Sedimenten.

ständig ändernden Bedingungen von Licht, Temperatur, Druck, Strömungsverhältnissen, Sauerstoff- und Salzgehalt beeinflusst, die sich zum Teil kleinskalig im Zentimeter- bis hinunter in den Millimeter-Maßstab unterhalb der Sediment-Wassergrenzschicht abspielen. Das Ökosystem Wattenmeer erfordert die richtigen Instrumente, um die Änderungen in ihrer zeitlichen und räumlichen Dynamik erfassen zu können, da viele Prozesse nicht im Labor nachgestellt werden können.

Sauerstoff dringt häufig nur wenige Millimeter in das Sediment ein, so dass die Messung der unterschiedlichen Sauerstoffgehalte über kurze Distanzen hochempfindliche Sensoren („Riecher“) erfordert. Bei Wind und Wetter dringen daher die Forscher vom Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen mit nadelfeinen Mikrosensoren Millimeter für Millimeter in die Welt der Kleinstlebewesen im Wattboden vor. Die Messinstrumente werden dafür auf Gestellen befestigt, ein Motor ermöglicht eine automatische Messung z.B. von Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Temperatur als Funktion der Sedimenttiefe im Gezeitenverlauf. So wurde festgestellt, dass sauerstoffgesättigtes auflaufendes Wasser kurzfristig bis zu mehrere Zentimeter in sandige Sedimente eindringen und so eine erhöhte Bedeutung für die Oxidation von organischem Material bekommen kann.

### Grenzflüsse: Dem Transport auf der Spur

Die Kraft der Wellen pumpt Wasser in den Wattboden, besonders dort, wo er sandig und durchlässig ist, und spült Substanzen

aus dem Untergrund zutage. Das Was und Wieviel, das Woher und Wohin zu klären, ist das Ziel. Die Wattoberfläche wirkt als Brücke zwischen dem Leben in der Unter- und der Oberwelt. Der Austausch von Sauerstoff über die Sediment-Wassergrenzschicht lässt sich experimentell erfassen. Mit aquariummähnlichen Kammern, mit markierten und ohne markierte Substanzen auf den Wattboden gesetzt, kann der Austausch von gelösten Stoffen bei Wasserbedeckung direkt gemessen werden. Farbstoffe ermöglichen darüber hinaus die Verfolgung der Porenwasserströmung in den Oberflächensedimenten. Der Einsatz von Diffusions-Probennehmern ermöglicht die hochaufgelöste Porenwasserbeprobung für die Untersuchung auf gelöste Metalle. Die Kopplung der verschiedenen Feld- und Labormethoden erlaubt die Erfassung des strömungsinduzierten Porenwasserflusses und des damit verbundenen Austauschs von gelösten Substanzen über die Sediment-Wasser-Grenze hinweg.

Als ein erstes Ergebnis der bisherigen Felduntersuchungen lässt sich bereits zeigen, dass der Transport von sauerstofffreien Wässern im Sediment eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung schwarzer Flecken spielt. Diese Flecken können zum Fenster für die Freisetzung von mikrobiell gebildeten Stoffen werden. Die Untersuchungen tragen dazu bei, die Rolle der Wattenmeersedimente als Zwischenspeicher von Metallen und anderen Stoffen und die Kontrolle durch die biogeochemischen Prozesse im Bioreaktor Watt besser zu verstehen.

### Die Autoren



Dr. habil. Michael E. Böttcher, Privatdozent für Geochemie am ICMB und Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen, studierte Geowissenschaften an den Universitäten Hamburg

und Göttingen, wo er 1993 auch promovierte. Nach Tätigkeiten als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Oldenburg und am Max-Planck-Institut habilitierte er sich 2003 an der Universität Oldenburg. Seine Forschungsschwerpunkte liegen überwiegend im Bereich der Biogeochemie und Isotopengeochemie mariner und terrestrischer sedimentärer Systeme, der Physikochemie von Wasser-Gesteins-Organismen-Wechselwirkungen sowie der experimentellen Geochemie. Die Skalen hierbei reichen von der Zelle bis hin zum globalen Elementkreislauf.



Prof. Bo Barker Jørgensen ist seit 1992 Direktor am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen und Leiter der Abteilung Biogeochemie und zugleich Hochschul-lehrer am Fachbereich Geowissenschaften an

der Universität Bremen sowie Adjunkt-Professor am Biologischen Institut der Universität Aarhus, Dänemark. Er studierte Biologie an der Universität Kopenhagen und promovierte 1977 an der Universität Aarhus. Von 1975 bis 1987 war er Lecturer und Senior Lecturer an der Universität Aarhus, anschließend bis 1992 dort Professor. Seine Forschungsinteressen umfassen die mikrobiologischen und geochemischen Prozesse im Meer, von der Wassersäule bis zur tiefen Biosphäre.

# Bakterien-Nährstoffmodell: Muster im Wattsediment

Von Martin Baurmann, Wolfgang Ebenhöf und Ulrike Feudel

Diffusion wird üblicherweise als Prozess erkannt, der räumliche Unterschiede von chemischen Stoffkonzentrationen auslöscht. Wir zeigen, dass in einem einfachen Bakterien-Nährstoff-Modell für das Wattsediment Diffusion der Prozess sein kann, der die Bildung von räumlichen Mustern in den Konzentrationsverteilungen auslöst.



Wühl- und Pumpaktivitäten: Spuren des Pierwurms im Watt.

Im Lebensraum Wattenmeer ist das Sediment ein wichtiges Teilsystem. In ihm werden chemische Substanzen biologischen Ursprungs auf vielfältige und komplexe Weise abgebaut. Die Überreste abgestorbener Lebewesen sinken aus dem Wasser auf die Sedimentoberfläche. Dort werden sie entweder direkt abgebaut oder in das Sediment eingelagert. Neben Diffusion (Transport aufgrund von Konzentrationsunterschieden) und Advektion (Transport durch Strömung) spielt vor allen Dingen die so genannte Bioirrigation eine Rolle, d.h. der Transport von Stoffen durch die Wühl- und Pumpaktivität von Würmern, Muscheln und anderen Tieren.

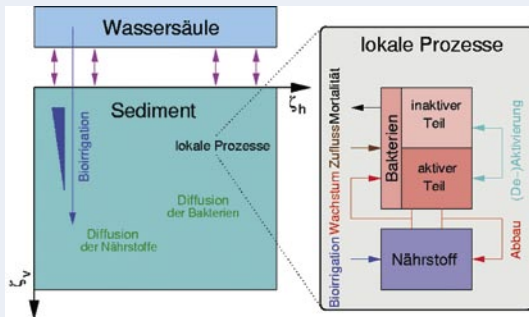
## Muster im Sediment

Mikroorganismen sorgen für die Umsetzung und Verwertung der toten organischen Substanz im Sediment. Da das organische Material aus dem Wasser stammt, sollte man erwarten, dass seine Konzentration mit zunehmender Sedimenttiefe stetig abnimmt. Messungen zeigen aber, dass ein solcher Trend zwar insgesamt erkennbar ist, dass aber starke Schwankungen die tiefenabhängigen Messprofile überlagern. Diese

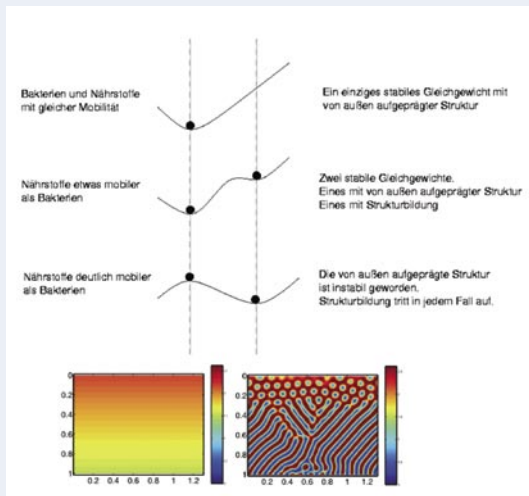
Schwankungen sind nur zum Teil auf lokale Veränderungen in den Umweltbedingungen, z.B. durch die Schichtung des Sediments, zurückzuführen. In diesem Fall können sie als „von äußeren Einflüssen aufgeprägt“ betrachtet werden.

Im Gegensatz dazu steht die Möglichkeit, dass die Wechselwirkung zwischen mikrobiellem Umsatz und dem Transport zur Ausbildung räumlicher Muster führt. Dieser Mechanismus wurde von dem britischen Wissenschaftler Alan Turing im Jahr 1952 anhand theoretischer Überlegungen entdeckt. Turing sprach in diesem Zusammenhang von spontaner Strukturbildung und grenzte sie von Strukturbildung ab, die von außen aufgeprägt ist. Turings Arbeit lieferte einen wesentlichen Impuls zur Erforschung der Strukturbildung, da sie eine plausible Erklärung für die Zelldifferenzierung bei Embryonen bot. Eine experimentelle Überprüfung seiner Hypothese gelang jedoch erst ca. 40 Jahre später durch französische Chemiker. Der Grund hierfür liegt in den speziellen Bedingungen, die die Voraussetzung für eine spontane Strukturbildung sind und die in wässriger, gut durchmischter Lösung nur schwer zu realisieren sind. Demgegenüber sind diese Bedingungen bei Prozessen, die im Sediment stattfinden,

Typically, we consider diffusion as a process that levels spatial differences of chemical concentrations. We show that in a simple bacteria-nutrient model applied to the Wadden Sea, diffusion in the sediment can be a process that induces the formation of spatial patterns.



Oben: Das reduzierte Sedimentmodell  
Wir betrachten die Wechselwirkung zwischen einer Bakterienpopulation und ihrem Nährstoff in einem zweidimensionalen Ausschnitt (vertikal-horizontal) des Wattsediments. Im Modell berücksichtigen wir die folgenden Prozesse: Zufluss und Sterblichkeit von Bakterien, Aktivierung und Deaktivierung von Bakterien, Wachstum der mikrobiellen Biomasse durch Abbau von Nährstoffen, tiefenabhängige Zuführung von Nährstoffen durch Bioirrigation und schließlich Diffusion als Transportprozess.



fast von selbst erfüllt, was eine spontane Herausbildung räumlicher Muster wahrscheinlich macht.

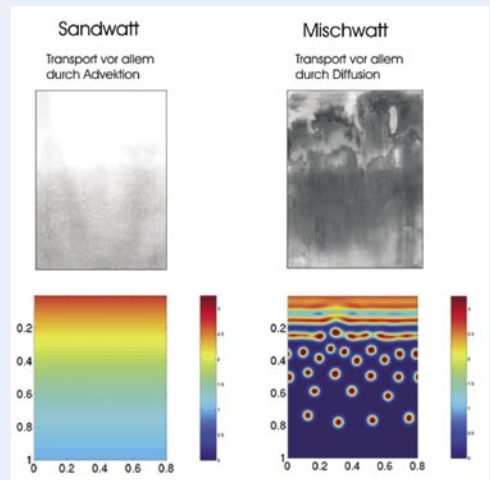
Wir gehen der Frage nach, ob der von Turing entdeckte Mechanismus beim Stoffabbau im Wattsediment tatsächlich eine wesentliche Rolle spielen könnte. Dabei nutzen wir mathematische Modelle, die zum Teil am ICBM entwickelt wurden. Sie bestehen aus einem komplizierten Netzwerk von sich gegenseitig beeinflussenden Populationen von Mikroorganismen, die verschiedene Stoffe im Sediment abbauen. Ein genauer Blick auf die Struktur der Modelle zeigt, dass sie aus

einander ähnlichen Einzelbausteinen aufgebaut sind. Da wir das grundsätzliche Systemverhalten in einer qualitativen Untersuchung bestimmen wollen, konzentrieren wir unsere Analyse in erster Linie auf diese Einzelbausteine und untersuchen ein entsprechend reduziertes Bakterien-Nährstoff-Modell.

### Das reduzierte Bakterien-Nährstoff-Modell

Unser reduziertes Bakterien-Nährstoff-Modell umfasst eine Bakterien-Population und ihren Nährstoff. Bei den Bakterien

Rechts: Die Abbildung zeigt im oberen Teil die Aufnahmen von Sulfat-Reduktionsraten im Sand- bzw. Mischwatt (Aufnahmen: Böttcher, Theune, Bosselmann, unveröffentlicht). Da die Reduktionsraten ein Maß für die mikrobielle Aktivität sind, können wir sie (zumindest qualitativ) in Bezug zu den bakteriellen Populationsdichten in unserem Modell setzen (unten). Die rechte Aufnahme (Mischwatt-Sediment) zeigt neben von außen aufgeprägten Strukturen (ein Wurmlloch erscheint als heller Fleck in der oberen rechten Ecke) Phänomene der Strukturbildung, wie z.B. scharfe Fronten. Unser Modell zeigt qualitativ ähnliche Ergebnisse: Ist die Diffusion der dominante Transportprozess wie im Mischwatt, dann erhalten wir ausgeprägte Strukturen wie Fronten und „hot spots“ in Abhängigkeit von der Tiefe. Ist wie im Sandwatt auf Grund der grobkörnigeren Struktur auch der Strömungstransport ein wichtiger Prozess, dann führt er zu einer Angleichung der Mobilitäten von Bakterien und Nährstoffen und damit zum Verschwinden der Strukturen. In diesem Fall bleibt nur ein von außen durch die Bioirrigation aufgeprägtes Profil.



Links: Kugeln im Schwerfeld können sich in unterschiedlichen Gleichgewichtszuständen befinden. Bewegt sich eine Kugel, nachdem man sie angestoßen hat, in den Gleichgewichtszustand zurück, so ist dieser stabil (in den Mulden). Kehrt die Kugel indessen nicht in den Ursprungszustand zurück, so liegt dort ein instabiles Gleichgewicht vor (auf den Buckeln). Die Bildersequenz zeigt die Analogie für das Sedimentmodell. Sind die Bakterien so mobil wie die Nährstoffe, so existiert nur ein Gleichgewichtszustand. Er ist stabil und zeigt die von außen aufgeprägte Struktur. Verringert man die Mobilität der Bakterien, findet sich neben dem bereits erwähnten Gleichgewichtszustand ein weiterer stationärer Zustand, der ebenfalls stabil ist, aber Merkmale der Strukturbildung aufweist. Schließlich kann man die Mobilität der Bakterien unter einen kritischen Schwellenwert senken. Die von außen aufgeprägte Struktur bleibt zwar im Gleichgewichtszustand, verliert aber ihre Stabilität. Wird sie durch kleine Störungen beeinträchtigt, kehrt der Systemzustand nicht zum Ursprungszustand zurück. Stattdessen setzen unmittelbar Prozesse der Strukturbildung ein, und der Systemzustand wird in ein stärker strukturiertes Muster überführt.

unterscheiden wir zwischen aktiven und inaktiven Zellen. Nur die aktiven Zellen tragen zum Abbau von Nährstoffen (das sind hier die abzubauenen biologischen Substanzen) bei. Der Übergang vom aktiven zum inaktiven Zustand und umgekehrt wird durch die Mikroorganismen selbst über die Ausschüttung von Signalmolekülen beeinflusst. Neben der Umsetzung von Nährstoffen berücksichtigen wir im Modell auch die Zufuhr von Bakterien aus der Wassersäule, ihre Sterblichkeit und die Nachführung von Nährstoffen als Folge von Diffusions- und Bioirrigationsprozessen. Der horizontale



Transport durch Strömung im Porenwasser wird vernachlässigt. Wie bereits erwähnt, nimmt die Bioirrigation mit wachsender Tiefe ab, so dass untere Schichten wesentlich schlechter mit Nährstoffen versorgt werden als höhere.

Bei der Untersuchung des Modells stoßen wir zunächst auf ein Profil, das außer der Abnahme des Nährstoffs mit wachsender Tiefe keinerlei zusätzliche räumliche Strukturen aufweist. Das Profil entspricht einem Gleichgewichtszustand, der sich mit steigender Simulationsdauer nicht mehr ändert. Er ist ausschließlich durch die Randbedingungen bestimmt. Von einer spontanen Strukturbildung im eigentlichen Sinne kann man daher nicht sprechen, sondern davon, dass die vorhandene Struktur von außen (eben durch die lokale tiefenabhängige Änderung der Bioirrigation) aufgeprägt ist. Von entscheidender Bedeutung ist die Frage nach der Stabilität dieses stationären Zustands gegenüber Störungen: Wie reagiert er auf leichte Änderungen der Nährstoff- und Bakterienkonzentrationen? Grundsätzlich sind zwei unterschiedliche Verhaltensvarianten voneinander abgrenzbar. Erreicht das durch geringe Störungen beeinflusste Modell nach einer Übergangsphase wieder den stationären Ausgangszustand, so ist dieser Zustand stabil, und die Störungen klingen ab. Entfernt sich das Modell dagegen vom betrachteten Gleichgewicht und geht dauerhaft in einen anderen Zustand über, so gilt das Gleichgewicht als instabil. Die Unterscheidung von stabilen und instabilen Gleichgewichten ist bei der Untersuchung von natürlichen Systemen von besonderer Bedeutung: Systeme, wie sie in der Natur zu finden sind, unterliegen stets natürlichen Schwankungen. Daher wird sich auf lange Sicht ein instabiles Gleichgewicht nicht etablieren können, sondern das natürliche System wird sich von ihm entfernen, sich immer einem stabilen Zustand oder Zyklus annähern und darin verbleiben.

## Diffusion kann Strukturbildung auslösen

Schauen wir uns die Stabilität des von außen aufgeprägten Tiefenprofils von Nährstoffen und Bakterien im Sediment an, dann zeigt sich unter bestimmten Umständen ein instabiles Gleichgewicht. Statt bei kleinen Störungen zum ursprünglichen Gleichgewichtszustand zurückzukehren, schaukeln sich die Störungen auf, und es

bildet sich ein neuer Gleichgewichtszustand aus, in dem sich spontan Strukturen geformt haben. Es entwickeln sich räumliche Muster heraus, die zwar ebenfalls durch die tiefenabhängige Bioirrigation geprägt werden, jedoch eine weitaus kompliziertere Ortsabhängigkeit besitzen. Neben der Abhängigkeit von der Tiefe entstehen im Modellsystem scharfe Fronten mikrobieller Aktivität und „hot spots“, d.h. lokal scharf begrenzte kleine Gebiete mit erhöhter bakterieller Aktivität, wie sie auch in der Natur beobachtet werden. Voraussetzung für das Phänomen der Musterbildung sind zwei Bedingungen:

1. Das Wachstum der Bakterienpopulation muss sich selbst verstärken, d.h. dichte Populationen müssen ein höheres Wachstum pro Zelle aufweisen als weniger dichte. Diese Bedingung ist realistisch in Systemen, in denen Mikroorganismen durch den Ausstoß von Signalmolekülen das Wachstum der eigenen Population beeinflussen. Dass marine Bakterien dazu in der Lage sind, wurde von der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie des ICBM gezeigt.
2. Der Nährstoff muss mobiler sein als die Zellen der Mikroorganismen. Diese Bedingung ist fast immer erfüllt. Die Nährstoffe bestehen aus gelösten organischen Substanzen, die sich im Porenraum des Sediments schneller bewegen als die oft festsitzenden Bakterien. Diese beiden Bedingungen, die im Sediment auf natürliche Weise erfüllt werden, entsprechen genau den Bedingungen, die Turing für seine spontanen Strukturbildungen abgeleitet hat.

Unsere Untersuchungen zeigen also, dass sich die Herausbildung räumlicher Muster von Nährstoffen und Mikroorganismen nicht in jedem Fall auf lokal unterschiedlich wirkende äußere Einflüsse zurückführen lässt, sondern auch durch interne Vorgänge wie die Wechselwirkung von Umsatz und Transport hervorgerufen werden kann. Diese Art der Musterbildung ist besonders ausgeprägt, wenn als Transportprozess nur Diffusion und Bioirrigation eine wichtige Rolle spielen, nämlich vor allem im Schlickwatt. Im Sandwatt spielt auf Grund der hohen Porosität auch der Strömungstransport eine große Rolle, was zum Verschwinden der räumlichen Muster führt. In diesem Fall bleibt das von außen durch die Bioirrigation aufgeprägte Tiefenprofil ein stabiler Gleichgewichtszustand.

## Die Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Ebenhöhl leitete bis zu seiner Emeritierung im Oktober 2004 die Arbeitsgruppe Mathematische Modellierung am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM). Er studierte

Physik in Leipzig und Heidelberg und promovierte 1966 in theoretischer Kernphysik. Anschließend ging er für ein Jahr an das Weizmann-Institut in Israel. Die Habilitation folgte 1972. 1973 war er Gastdozent an der Universität Uppsala. Nach der Berufung zum Professor für Mathematik in Oldenburg 1975 wandte er sich in seinen Forschungen ganz der mathematischen Modellierung zu. Nach Auslandsaufenthalten in den Niederlanden, an der Universität Trondheim und am Bedford-Institut in Kanada konzentrierte sich seine Forschung auf die Ökosystemmodellierung auf allen Stufen der Komplexität von konzeptionellen bis zu großen Simulationsmodellen.



Prof. Dr. Ulrike Feudel leitet die Arbeitsgruppe für Theoretische Physik/Komplexe Systeme am ICBM. Sie studierte Physik an der Humboldt-Universität und wurde dort 1986 mit einer Arbeit über

Strukturbildungsprozesse promoviert. Danach profilierte sie sich auf dem Gebiet der nichtlinearen dynamischen Systeme an der Universität Potsdam. Dort erfolgte 1996 auch ihre Habilitation. Als Heisenberg-Stipendiatin der DFG arbeitete sie 1995 und 1998 zweimal für längere Zeit in den USA an der University of Maryland, College Park. Im Jahr 2000 erhielt sie einen Ruf an die Universität Oldenburg. Im Mittelpunkt ihrer Arbeit steht die Entwicklung von Methoden zur Untersuchung nichtlinearer dynamischer Systeme und ihrer Anwendung auf Umweltmodelle. Die Vielfalt der bearbeiteten Probleme reicht von der Analyse allgemeiner Populationsmodelle für Nahrungsketten und -netze über Strukturbildung im Wattsediment bis zur Wechselwirkung biologischer Systeme mit turbulenter Strömung.



Dr. Martin Baurmann, Mathematiker, ist seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am ICBM. Nach dem Studium der Mathematik und Informatik in Bremen promovierte er 2001 an der Technischen Universität Dresden mit einer Arbeit

auf dem Gebiet der Hydrogeologie. Anhand mathematischer Modelle untersucht er jetzt Prozesse der Strukturbildung im Wattsediment.

# Im Untergrund des Watts: Bakterien in der „tiefen Biosphäre“

Von Bert Engelen

Mikrobielle Prozesse in tieferen Sedimentschichten des Watts wurden bisher kaum erforscht. Die Analyse der Bakteriengemeinschaften im Untergrund des Watts soll zu einer Bilanzierung der Stoffflüsse im Gesamtsystem Wattenmeer beitragen.



Das Bild des norddeutschen Wattenmeeres wird geprägt durch die zahlreichen Vögel auf den Inseln und den Wattflächen und durch die Fischerboote in den Häfen, Anzeichen für die enorme Produktivität des Ökosystems Watt. Aber wie kommt es zu dem Organismenreichtum im Watt? Wie in jedem Ökosystem spielen Mikroorganismen dabei eine wichtige Rolle. Es handelt es sich um Bakterien und Archaeen, zwei unterschiedliche Arten von Organismen, die schon seit Milliarden von Jahren die Erde besiedeln. Sie stehen an einer entscheidenden Stelle in der Nahrungskette, denn sie zersetzen das organische Material der abgestorbenen Lebewesen und liefern Nährstoffe, aus denen neues Leben aufgebaut werden kann. Die große Aktivität der Bakterien ist leicht erkennbar, wenn man auf einer Wattwandlung mit einem Spaten in das Sediment sticht. Die oberen Millimeter sind bräunlich gefärbt und zeigen die Eindringtiefe des Sauerstoffs an. In der oberen Schicht erfolgt die erste Zersetzung des organischen Materials, bei der Sauerstoff durch die Bakterien verbraucht wird. Darunter ist das Watt aber keineswegs tot. Wenige Millimeter tiefer beginnt die Welt der anaeroben Mikroorganismen, die ihren Stoffwechsel an ein sauerstoffreiches Milieu angepasst haben. Sie benutzen Nitrat, Sulfat

oder Mangandioxid zur Energiegewinnung und zum weiteren Abbau des organischen Materials. Ein Zeichen für die Aktivität der sulfatreduzierenden Bakterien ist die Schwarzfärbung des Sediments und der typische Geruch nach faulen Eiern.

Die oberflächennahe Zone der Wattedimente ist recht gut untersucht. Nahezu völlig unbekannt ist, was sich in den tieferen Schichten des Sediments abspielt. Wir wollen deshalb herausfinden, welche mikrobiellen Lebensgemeinschaften die verschiedenen Tiefzonen im Wattediment besiedeln, welche Anpassungen sie an ihren Lebensraum zeigen und welche Nährstoffe ihnen zur Verfügung stehen. Diese Fragen können nur durch eine enge Zusammenarbeit von Mikrobiologen und Geochemikern unter Kombination ihrer Untersuchungsmethoden beantwortet werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche interdisziplinäre Forschung ist das geeignete Probenmaterial.

## Probenahme im Watt

Zunächst muss ein geeigneter Zeitpunkt für die Probenahme gefunden werden, da die Wattflächen nur bei Niedrigwasser betreten werden können. An der Probenahmestelle

Microbial processes in the deeper layers of tidal flat sediments have hardly been investigated so far. The analysis of bacterial communities in the subsurface of tidal flats will contribute to understanding the balance of material transport in the Wadden Sea system.

wird zur Gewinnung eines Sedimentkerns ein vibrierender Zylinder an einem Aluminiumrohr befestigt, der normalerweise auf Baustellen zur Verdichtung von Beton benutzt wird. Ein mobiler Generator liefert die nötige Energie, um das sechs Meter lange Rohr in das Sediment zu rütteln. Anschließend wird das Rohr mit dem Sediment über ein Dreibein mit Flaschenzug wieder herausgezogen. Bilder und Berichte von Probenahmen im Watt und von anderen Expeditionen sind auf der Internetseite der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie des ICBM unter [www.icbm.de/pmbio](http://www.icbm.de/pmbio) zu finden.

Das Aluminiumrohr mit seinem Inhalt wird vor Ort in leichter transportable Abschnitte geteilt und nach Oldenburg gebracht, wo die Beprobung der verschiedenen Sedimentschichten erfolgt. Die Rohrabschnitte werden dazu der Länge nach aufgesägt und in zwei Hälften geteilt. Der eine Teil wird für geochemische Analysen verwendet, für die Proben aus verschiedenen Tiefen zur Gewinnung des Porenwassers entnommen werden. Die andere Hälfte des Kerns dient der mikrobiologischen Untersuchung. Ein Teil der Proben

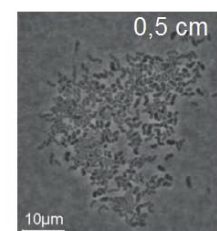
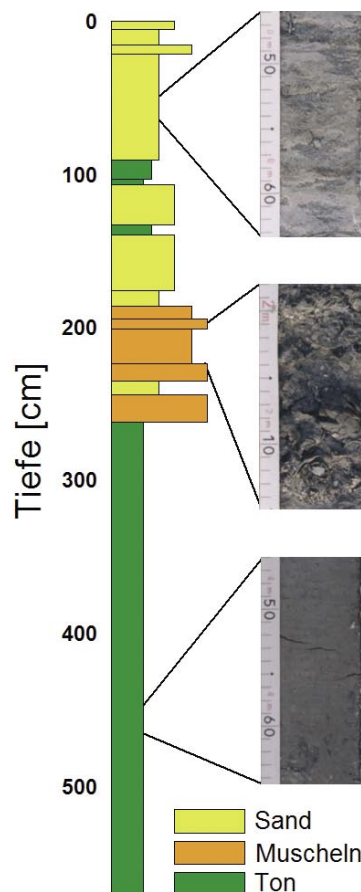
wird in Ethanol fixiert und für die mikroskopische Zählung der Bakterien kühl gelagert. Ein anderer Teil wird sofort eingefroren und später mit molekularbiologischen Methoden analysiert. Die dritte Fraktion wird für die Kultivierung von Mikroorganismen in Nährmedien überführt. Ziel ist es, die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften in den verschiedenen Tiefen der Sedimentsäule als Ganzes zu erfassen, aber auch prägende Vertreter zu kultivieren. Die Anreicherung und Isolierung von Mikroorganismen ist immer der „Königsweg“ der mikrobiellen Ökologie, da anhand von Bakterien-Reinkulturen die speziellen Stoffwechseleigenschaften untersucht werden können. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Funktion im Ökosystem zu. Aber auch die Anwendung zusätzlicher molekularbiologischer Methoden ist sinnvoll.

### Das Dilemma der mikrobiellen Ökologie

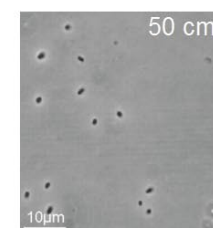
Durch die Verwendung von molekularbiologischen Methoden in der mikrobiellen Ökologie hat sich gezeigt, dass an den

meisten Standorten nur weniger als 1 Prozent der dort vorkommenden Mikroorganismen kultiviert werden können. Dies liegt daran, dass die Verhältnisse der Natur im Labor nicht ausreichend gut simuliert werden können. Auch funktioniert die Isolierung, also die Vereinzelung von Mikroorganismen in Kulturen, nur bedingt, da einige Arten nur in Gemeinschaft wachsen können. Die Kunst der klassischen Mikrobiologie ist es daher, geeignete Methoden und Kultivierungsstrategien zu finden, um möglichst viele verschiedene Vertreter der Bakteriengemeinschaften zum Wachstum zu bringen.

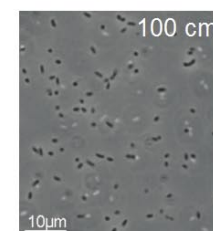
Die Molekularbiologie sucht nach genetischen Mustern, die unabhängig von einer Kultivierung erfasst werden können. Bei Anwendung dieser Methode können aber meist nur die Namen und Verwandtschaftsverhältnisse von Mikroorganismen aufgedeckt werden. Untersuchungen zur Aufklärung der Stoffwechselleistungen sind nicht möglich. Eine gute Analyse von Bakteriengemeinschaften erfordert also die erfolgreiche Kombination unterschiedlicher Methoden.



*Glaciecola pallidula*



*Vibrio splendidus*



*Shewanella violacea*

### Bakterienisolate

Links: Entnahme eines bis zu sechs Meter langen Sedimentkerns auf dem Neuharlingersielener Nacken. Rechts: Struktur des Sedimentkerns vom Neuharlingersielener Nacken und Bakterienisolate aus verschiedenen Tiefenstufen.





Wachstumsmedien zur Anreicherung von Bakterien aus dem Watt werden mit Proben aus verschiedenen Tiefenstufen des Sediments beimpft.

## Mikrobielle Gemeinschaften in der Tiefe des Watts

In unseren Untersuchungen der Sedimente von verschiedenen Wattflächen bis in eine Tiefe von über fünf Metern konnten wir zeigen, dass die Zahl der Mikroorganismen generell mit der Tiefe abnimmt. Selbst in den tiefsten Schichten finden wir allerdings noch etwa zehn Millionen Mikroorganismen pro Gramm Sediment. Die genetischen „Fingerabdrücke“ zeigen an, dass die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften in den verschiedenen Tiefenstufen sehr stark von der Beschaffenheit des Sediments abhängt. So ist ein Sedimentkern, der auf dem Neuharlingersielener Nacken gewonnen wurde, in drei Bereiche unterteilbar. Die obere sandige Zone reicht bis in eine Tiefe von etwa zwei Metern, ihr folgen eine eingelagerte Muschelschicht und ein toniger Bereich unterhalb von drei Metern. Molekularbiologisch wurden in dem tiefsten Bereich des Sedimentkerns Bakterien nachgewiesen, wie man sie auch bei Untersuchungen von Tiefseesedimenten findet; allerdings gibt es von ihnen bisher kaum kultivierte Vertreter. Es ist uns zwar gelungen, diese Gruppe in unseren Kulturmedien anzureichern, nicht aber sie als Reinkultur zu isolieren. Insgesamt wurden bei unseren Kultivierungsansätzen etwa 150 Bakterien-Reinkulturen isoliert und auf ihre Stoffwechselleistungen hin untersucht. Aus der tiefsten Zone der Sedimentkerne wurden allerdings fast ausschließlich Sporenbildner isoliert. Es ist also nicht auszuschließen, dass die Zellen in diesem Bereich als Überdauerungsstadien vorliegen und wenig zur mikrobiellen Aktivität beitragen.

## Mikrobielle Aktivitäten

Nachdem in den letzten drei Jahren die Bestandsaufnahme der Bakteriengemeinschaften in der Tiefe des Watts im Vordergrund stand, konzentrieren wir uns derzeit auf die Erfassung der mikrobiellen Aktivitäten. Diese Messungen liefern Informationen für die modellierenden Arbeitsgruppen, die an dem Wattprojekt beteiligt sind. Zusammen mit chemischen Daten dienen die Aktivitätsmessungen einer Bilanzierung der Stoffflüsse im Watt. Die Aktivitäten der mikrobiellen Enzyme, die Sulfatreduktion und die Methanoxidation nehmen wie die Zellzahl mit der Tiefe ab, sind aber auch noch in den tiefsten bisher untersuchten Schichten der Sedimentsäule nachweisbar.

## Die Rolle des Methans im Watt

Im Wattenmeer wurden im Vergleich mit dem offenen Ozean etwa hundertfach erhöhte Methankonzentrationen gemessen. Um Quellen und Senken dieses klimaaktiven Gases aufzudecken, soll in den kommenden drei Jahren der Methankreislauf in allen Bereichen des Watts (Sediment, Wasser, Schwebstoffe) untersucht werden. Die am Kreislauf beteiligten Mikroorganismen sollen gezählt, isoliert und stoffwechselphysiologisch charakterisiert werden. Von besonderem Interesse sind Lebensgemeinschaften aus methanbildenden Archaeen und sulfatreduzierenden Bakterien, die gemeinsam das im Sediment gebildete Methan unter sauerstofffreien Bedingungen oxidieren

und damit verbrauchen. Diese Konsortien waren bisher nur aus der Tiefsee bekannt und wurden kürzlich von einer Arbeitsgruppe des Bremer Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie auch im Watt entdeckt.

## Verbindungen zur „Tiefen Biosphäre“

In den letzten zehn Jahren wurde deutlich, dass die Ausdehnung der belebten Umwelt wesentlich größer ist, als bisher vermutet. Besonders die Zahl der Mikroorganismen in Tiefseesedimenten ist enorm hoch. Diese so genannte „Tiefe Biosphäre“ beherbergt etwa dieselbe Zahl an Mikroorganismen wie die feste Oberfläche der Erde. Die einzelnen Zellen scheinen zwar wenig aktiv zu sein, aber ihre ungeheure Menge hat eindeutig einen Einfluss auf globale Stoffkreisläufe. Wie die Bewohner der tiefen Biosphäre überleben, woher sie ihre Energie beziehen und welche speziellen Stoffwechselmechanismen sie besitzen, ist weitgehend unbekannt. Die Bakterienarten, die wir bei der Analyse der tiefen Schichten der Wattsedimente gefunden haben, ähneln stark denen der tiefen Biosphäre. Viele von ihnen liegen als Überdauerungsstadien vor und zeigen eine geringe Aktivität. Wir haben mit dem Watt also ein Untersuchungsgebiet vor unserer Haustür, an dem sich aktuelle Fragen zur tiefen Biosphäre beantworten lassen. Die Entwicklungsarbeiten bei der Untersuchung von mikrobiellen Gemeinschaften im Watt strahlen demnach weit über das Wattenmeer hinaus.

## Der Autor



Dr. Bert Engelen ist seit 2001 wissenschaftlicher Assistent in der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie des ICBM. Er studierte in Braunschweig Biologie mit den Schwerpunkten Mikrobiologie, Biochemie und Siedlungswasserwirtschaft. Im Jahr 1998 promovierte er an der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft und arbeitete anschließend bei der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in einem dreijährigen Forschungsprojekt. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Analyse von mikrobiellen Gemeinschaften mariner Sedimente, aber auch anderer Standorte wie z.B. des Bodens, der Wassersäule und in Erdöllagerstätten.

# Aktivitätswechsel: Warum Bakterien schlafen

Von Kai W. Wirtz

Bakterien sind fast überall auf der Erde zu finden. Sie verdanken dies vor allem der Fähigkeit, in Schlafzustände überzuwechseln. Die zugehörige Aktivitätsregulation ist noch weitgehend ungeklärt. Ein mathematisches Modell zeigt, dass in Wattenmeersedimenten weder eine zu langsame noch eine zu schnelle Regulation evolutionär von Vorteil ist.

Bacteria can be found nearly everywhere on our planet. This is mainly due to their ability to switch to a dormant state. The regulation of this process is still poorly understood. For microbes in tidal flat sediments, a mathematical model demonstrates that neither a slow nor a very fast regulation rate is favourable from an evolutionary standpoint.



Erste Blicke in den Mikrokosmos: der holländische Wissenschaftler Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723).

Im 17. und 18. Jahrhundert wurden die modernen Naturwissenschaften geboren. Nach einem etwa zweitausendjährigen Halbschlaf, in dem die Bewahrung von Wissen schon als Fortschritt galt, legten Pioniere der Forschung wie Galileo, Newton und Lavoisier die Grundsteine für eine Entwicklung, die bis heute andauert: die exponentielle Vermehrung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen.

Einer der bedeutendsten frühen Wissenschaftler war Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723). Sein Bekanntheitsgrad hält sich allerdings in Grenzen. Statt neuer Planeten oder Wunderwaffen entdeckte der niederländische Naturforscher das Kleine und Unscheinbare in uns und um uns herum. Mit seinen selbst gebauten Mikroskopen machte er eine bis dahin unbekannt Welt sichtbar, den Mikrokosmos (von griech. mikros = klein) mit den Bakterien als seinen zahlreichsten Bewohnern. Diese Organismen unterscheiden sich von den uns geläufigeren Pflanzen und Tieren sowohl durch ihre winzigen Ausmaße von etwa einem Tausendstel Millimeter Durchmesser als auch dadurch,

dass sie ohne kompakte Zellorgane wie Mitochondrien auskommen. Aufgrund dieser beiden Eigenschaften können Mikroben jedoch eines besonders gut: schnell wachsen.

## Zeit spielt keine Rolle

Bakterien füttern ihren Stoffwechsel durch die Umwandlung von organischen oder anorganischen Stoffen. Tausende verschiedener Mikroben sind darauf spezialisiert, unterschiedliche chemische Reaktionen in oder an der Zelle in Gang zu bringen, um den Energiegewinn zum Wachstum zu nutzen. Bei optimalen Bedingungen teilen sich die Zellen vieler Bakterienarten etwa zwei Mal pro Stunde, so dass aus einer einzigen Mikrobe innerhalb eines Tages  $10^{21}$  Nachkommen entstehen könnten. Diese riesige Zahl würde mit ihrem Volumen ein Mehrfamilienhaus füllen, nach wenigen weiteren Tagen den ganzen Planeten.

Offensichtlich werden die Zellen schon nach kürzester Zeit daran gehindert, mit der maximal möglichen Rate zu wachsen.



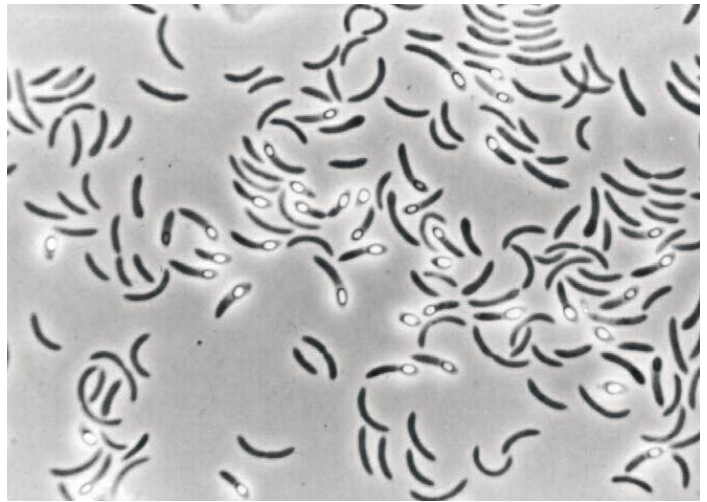
In der Natur bilden Mikroben zweidimensionale Biofilme (z.B. auf Zähnen), aber keine dreidimensionalen Klumpen, schon gar nicht in Eigenheimgröße, weil die Nährstoffe nicht schnell genug nachgeliefert werden können.

Überraschenderweise stellt ausbleibender Nachschub von Nährstoffen aber kein ernstes Problem für die Verbreitung der anscheinend so einfach gestrickten Einzeller dar. Es gibt auf der Erde so gut wie keinen Ort, an dem sie nicht zu finden sind. Bakterien tummeln sich in Wolken, kochenden Quellen oder in kilometertiefen, mehreren Hundertmillionen Jahren alten Gesteinen. Dort teilen sich die noch aktiven Zellen statistisch nur alle paar tausend Jahre einmal. Keine andere Organismengruppe ist in ihrem zeitlichen Wachstumsverhalten so flexibel.

## Schlaf als Anpassungsleistung

**B**akterien können nicht nur schnell wachsen, sondern oft auch rasant schwimmen: ein Vielfaches ihrer Körperlänge pro Sekunde. Diese Beweglichkeit reicht häufig jedoch nicht aus, um bei anhaltendem Stress einen Ort mit besseren Lebensbedingungen zu finden. Daher haben sie weitere Anpassungsmechanismen entwickelt, mit denen sie schlechte Zeiten überdauern können. Um den Stoffwechselumsatz deutlich zu reduzieren, können Mikroben in mitunter

Zellen von *Desulfosporosinus orientis*, die Sporen (helle Flecken) bilden. Bei optimalen Bedingungen teilen sich die Zellen etwa zweimal die Stunde. Diese riesige Anzahl der Zellen würde mit ihrem Volumen nach wenigen Tagen den gesamten Erdball füllen.



zeitlich kaum begrenzte „Schlafzustände“ überwechseln. Lediglich eine Zellfunktion muss aktiv bleiben: die Fähigkeit, bessere Umweltbedingungen wahrzunehmen. Denn nur so ist gewährleistet, dass der energetisch günstigste Augenblick des „Wachwerdens“ nicht verpasst wird.

Eine extreme Form dieser Reaktion besteht in der Bildung von Sporen. Ihr Aufbau ist zwar energetisch aufwändig, dafür benötigen Sporen fast keine Erhaltungsenergie. In ihnen wird genetische Information über lokal lebensfähige Formen gespeichert, um in unbestimmter Zukunft ein Aufleben schlafender Populationen möglich zu ma-

chen. Damit ähneln sie Büchern und dem darin akkumulierten Wissen vergangener Forschergenerationen, das in Bibliotheken des 15. und 16. Jahrhunderts auf eine Renaissance wartete.

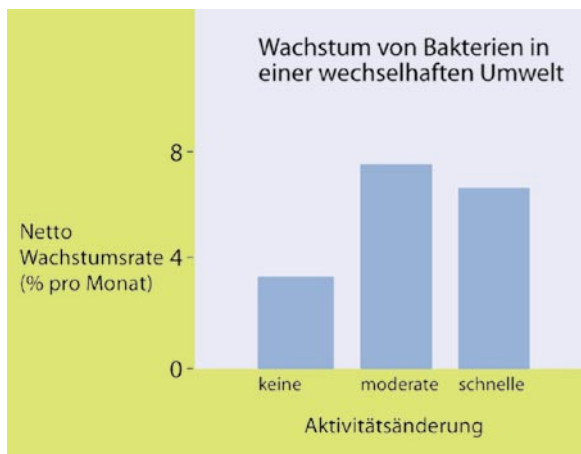
## Arbeiter des Lebens - auch im Watt

**D**ie genauen Mechanismen der Aktivitätsregulation von Bakterien unter natürlichen Bedingungen sind noch weitgehend unbekannt (s.a. „Im Untergrund des Watts: Bakterien in der 'tiefen Biosphäre'“ in diesem Heft auf Seite 26). Die aktuelle Forschung kann also kaum auf überliefertes



Selbst in Sedimentschichten mit hoher mikrobieller Aktivität sind viele Zellen inaktiv: Abbruchkante im Watt.





Gemittelte Wachstumsrate einer Bakteriengemeinschaft in einem mathematischen Modell, das biogeochemische Prozesse im Wattsediment beschreibt. Das Modell berücksichtigt realistisch fluktuierende Randbedingungen und simuliert die Aktivitätsänderungen von 15 Bakteriengruppen. Für diese Änderungen wurden nacheinander drei Varianten mit keiner, mittlerer und sehr schneller Anpassungsgeschwindigkeit gewählt.

Wissen zurückgreifen, sondern muss mit innovativen Methoden und aufwändigen Messkampagnen das Rätsel stückweise lösen. Bei der Untersuchung biogeochemischer Prozesse im Wattenmeer gilt ein besonderes Augenmerk der Funktionsweise von Mikroorganismen sowohl im Meerwasser als auch auf kleinen Schwebstoffen, auf der Sedimentoberfläche und in einigen Metern Tiefe unterhalb des Meeresbodens. Jeder dieser Lebensräume ist durch ein Spektrum sich ändernder Einflussgrößen wie Gezeiten, wühlende Makroorganismen oder unterirdische Drainageflüsse charakterisiert. Ohne Bakterien wäre das Wattenmeer tot. Mit der Umwandlung von abgestorbener Biomasse in Kohlendioxid und mineralische Nährsalze schaffen sie die Grundlage für den Kreislauf des Lebens. Wenn wir die zentrale Rolle von Mikroben in biogeochemischen Kreisläufen besser verstehen möchten, müssen wir mehr über ihre Aktivitätsregulation in Erfahrung bringen. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass selbst in Sedimentschichten mit hoher mikrobieller Aktivität viele Zellen inaktiv sind. Unter welchen Umständen haben sie ihren Metabolismus herunterreguliert, und wann wachen sie wieder auf?

## Evolution, Modelle und Bakterenschlaf

Für einen Organismus, der sich geschlechtlich vermehrt, wäre ein zeitlich kaum begrenzter Zustand der Inaktivität nicht förderlich. Er wäre nach dem Aufwachen wahrscheinlich alleine in seiner (Mikro-) Welt und könnte keine Nachkommen in eine möglicherweise wieder günstigere Umwelt setzen. Für die sich ohne sexuelle Paarung fortpflanzenden Bakterien macht ein Dauer-

schlaf evolutionär aber durchaus viel Sinn, da die meisten Lebensräume wiederkehrend bestimmte Zustände einnehmen. Dies gilt auch für die unter- und oberirdischen Bereiche des Wattenmeeres.

Die Evolutionstheorie könnte auch bei der Beantwortung der konkreten Fragen nach den Schwellen zum Schlafen und Wachwerden weiterhelfen. Theoretische Überlegungen können wiederum über den Einsatz von mathematischen Modellen getestet werden. Biogeochemische Sedimentmodelle versuchen, die Dynamik und gegenseitige Beeinflussung zahlreicher biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse mithilfe von mathematischen Gleichungen abzubilden. Das Oldenburger Modell zeichnet sich durch eine relativ detaillierte Beschreibung mikrobieller Aktivitäten aus. Sogar der Übergang vom aktiven zum inaktiven Zustand und umgekehrt kann simuliert werden, wobei die Geschwindigkeit dieses Übergangs im Modell frei einzustellen ist.

Obwohl das Modell auch auf tiefe Sedimente angewendet werden kann, benutzen es die Forscher am ICBM meist für die Simulation von Vorgängen in den oberen 20 bis 40 Zentimetern des Wattenmeerbodens. Mit unterschiedlichen Einstellungen können wir verschiedene Evolutionsszenarien für die Bakteriengemeinschaften in diesen Tiefen im Computer verfolgen, wenn Randbedingungen wie Gezeiten, Stürme oder Einträge von Substraten realistisch vorgegeben werden. Für den über einen längeren Zeitraum gemittelten Wachstumserfolg können drei Varianten von bakteriellen Aktivitätsänderungen angenommen werden. Im ersten Fall bleiben die Zellen stetig aktiv, im zweiten Fall verändern sie in moderater Weise ihren Aktivitätszustand in Abhängigkeit von aktuellen

Wachstumsbedingungen. Im dritten Szenario wird diese Änderung im Modell sehr schnell simuliert. Es überrascht ein wenig, dass nicht die schnellste Anpassung zum evolutionär besten Ergebnis führt. Im Erzeugen solcher Überraschungen liegt aber die eigentliche Stärke von mathematischen Modellen, da sie automatisch zu einem weiteren Hinterfragen der Phänomene drängen.

Die Erklärung in diesem Fall erscheint im Nachhinein einfach: Viele von außen aufgeprägte Änderungen in den oberen zehn Zentimetern des Wattenmeersediments sind periodischer Natur und haben relativ kurze Wiederkehrzeiten. Wenn die Bakterien zu schnell in einen anderen Modus hinüberschalten, werden sie von der nächsten Änderung „auf dem falschen Fuß erwischt“. Evolutionär günstiger ist es, die (In)Aktivitätsschwellen an die dominanten Frequenzen im jeweiligen Lebensraum anzupassen. Wie viel Zeit sich Bakterien für das Einschlafen und das Aufwachen nehmen, ist eine der zentralen Fragen, denen die Mikrobiologen der Forschergruppe nachgehen. Ein Aktivitätswechsel scheint mitunter mehrere Tage zu dauern. Darin liegt wohl ein weiterer Unterschied zwischen Mikroben und vielen „höheren“ Organismen einschließlich des Homo sapiens.

## Der Autor



Prof. Dr. Kai W. Wirtz, seit 2004 Leiter der Abteilung „Ökosystemmodellierung“ am Institut für Küstenforschung des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht, lehrt an der Universität in Kiel.

Er studierte Physik und Theologie in Mainz, Pisa und Oldenburg. Nach seiner Promotion in Kassel war er am Forschungszentrum Terramare Wilhelmshaven und ab 1999 am ICBM tätig. Seit 2001 arbeitet er in der Forschergruppe Watt im Teilprojekt „Integrative Modellierung“. Von 2003 bis 2004 leitete er die Nachwuchsforschergruppe IMPULSE am ICBM, die sich mit anwendungsorientierten Fragen im Küstenraum vor allem im Bereich der Offshore-Windenergie beschäftigt. Seine Forschungsgebiete umfassen neben der Entwicklung neuer Modellierungsmethoden die marine Ökologie, Küstenzonenmanagement, biogeochemische Kreisläufe, Pflanzenphysiologie, Mensch-Umwelt-Beziehung im Holozän und Mikrobiologie.

## Forschung

### Neues Graduiertenkolleg

„TrustSoft - Vertrauenswürdige Software-Systeme“ heißt ein neues Graduiertenkolleg an der Universität Oldenburg. Das auf neun Jahre angelegte Kolleg wurde, wie bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) üblich, zunächst für viereinhalb Jahre bewilligt. Das Fördervolumen für den ersten Abschnitt beträgt 1,5 Millionen €. Gefördert werden 14 besonders qualifizierte NachwuchswissenschaftlerInnen aus der Informatik und den Rechtswissenschaften. Sprecher ist Prof. Dr. Wilhelm Hasselbring, Hochschullehrer für Software Engineering im Department für Informatik. Kooperationspartner sind u.a. die Firmen Microsoft und Sun, die EWE und die Kommunale Datenverarbeitung Oldenburg (KDO). Ein wichtiges Bewilligungskriterium war die Einbindung in das neue Forschungszentrum „Sicherheitskritische Systeme“ der Universität mit dem DFG-Sonderforschungsbereich Transregio AVACS und der DFG-Nachwuchsgruppe Palladio.

### ProDid wird fortgesetzt

Das im Jahr 2001 an der Universität Oldenburg eingerichtete Promotionsprogramm „Didaktische Rekonstruktion“ (ProDid) geht in die zweite Runde: Auf Empfehlung der Wissenschaftlichen Kommission hat das Wissenschaftsministerium die dreijährige Weiterfinanzierung des Programms mit zwölf Promotionsstipendien zugesagt. Die Förderungssumme beträgt 568.000 €, weitere 123.000 € legt die Universität dazu. In dem Promotionsprogramm findet eine in Deutschland einmalige Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses für die Fachdidaktiken in der Lehrerausbildung unter Beteiligung von zwölf Fächern statt.  
 ⓘ [www.diz.uni-oldenburg.de/forschung/ProDid/Prodid-GLS-D.htm](http://www.diz.uni-oldenburg.de/forschung/ProDid/Prodid-GLS-D.htm)

### Hören wie im Konzertsaal

Der im Hörzentrum Oldenburg vorhandene „Kommunikationsakustik-Simulator“ (KAS) ist eine Besonderheit, die es weltweit nur in wenigen Forschungsinstituten gibt. Per Knopfdruck lässt sich der äußerlich normale Vortragsraum akustisch nach Belieben in ein Klassenzimmer, einen Konzertsaal oder eine Bahnhofshalle verwandeln. Mit dem Simulator soll der Einfluss der Raumakustik auf unterschiedliche Kommunikationsformen

untersucht werden. So kann jetzt die Benutzbarkeit von Hörgeräten und Telefonen in extrem unterschiedlichen Situationen getestet werden.

ⓘ [www.hausdeshoerens-oldenburg.de](http://www.hausdeshoerens-oldenburg.de)

### Neue Bakterien entdeckt

Hunderte von Metern unter dem Meeresboden leben große Mengen unbekannter Mikroorganismen. Mehrere neue Arten von Bakterien dieser so genannten „tiefen Biosphäre“ konnten jetzt im Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) isoliert werden, wie das Magazin „Science“ am 24.12.2004 berichtete. Vorausgegangen war die erste mikrobiologische Expedition des internationalen „Ocean Drilling Program“ mit dem Forschungsschiff „JOIDES Resolution“ im Frühjahr 2002, zu dessen Teilnehmern auch der Leiter der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie am Oldenburger Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), Prof. Dr. Heribert Cypionka, gehörte. In aufwändiger Laborarbeit brachten er und sein Team Bakterien aus den Sedimentproben zum Wachsen und gewannen dabei mehr als 170 Reinkulturen mit mehreren bisher unbekannt Arten. Bei vielen Isolaten handelt es sich um Sporenbildner, die sehr lange Zeiträume überdauern können.

ⓘ [www.mikrobiologischer-garten.de](http://www.mikrobiologischer-garten.de)

### Kopfschüttelnde Vögel

Zugvögel „scannen“ das Magnetfeld der Erde, das sie zur Flugorientierung nutzen, mit speziellen regelmäßigen Kopfbewegungen. Das zeigen Experimente unter der Leitung des Biologen Dr. Henrik Mouritsen, der am Institut für Biologie und Umweltwissenschaften die von der VolkswagenStiftung geförderte Nachwuchsgruppe „Animal Navigation“ leitet. Wie Mouritsen in dem Wissenschaftsmagazin „Current Biology“ (9.11.2004) berichtet, konnten die auffälligen, aber bisher kaum beachteten Kopfbe-



wegungen von Gartengräsmücken (Foto) in Zusammenhang mit der Wahrnehmung des Magnetfelds gebracht werden. Erst kürzlich war dem Wissenschaftler und seinen MitarbeiterInnen der Nachweis gelungen, dass sich in der Netzhaut von Gartengräsmücken Cryptochrom-Moleküle befinden, die es den Vögeln ermöglichen können, das Magnetfeld zu „sehen“. Seine Experimente zeigten auch, dass Zugvögel ihren „Kompass“ mit Hilfe des Sonnenuntergangs täglich neu eichen.

### Joule im Pulverturm

Wissenschaftsgeschichte verständlich zu präsentieren ist das Anliegen sowohl der Arbeitsgruppe Didaktik und Geschichte der Physik um Dr. Falk Rieß als auch der ARD-Fernsehserie „Meilensteine der Naturwissenschaft und Technik“. So lag es nahe, dass die Fernsehmacher auf die Oldenburger zukamen, als es um die Wissenschaftspioniere James Prescott Joule und Michael Faraday ging, die lebens- und wissenschaftsnah ins Bild gebracht werden sollten. Die WissenschaftlerInnen stellten originalgetreue Nachbauten historischer Experimente zur Verfügung. Außerdem erwies sich als praktisch, dass Oldenburg über passende historische Kulissen für entsprechende Filmaufnahmen verfügt. So fanden Joule und seine Experimente Platz im Pulverturm (Foto) und Faraday wurde kurzerhand im Zeughaus einquartiert.

ⓘ [www.uni-oldenburg.de/histodid](http://www.uni-oldenburg.de/histodid)



### Gefährdete Spinnen

Allein in Niedersachsen und Bremen leben 675 Spinnenarten, von denen 42,7 Prozent als „mehr oder weniger stark bedroht“ angesehen werden müssen. Dies ist das Ergebnis einer Studie des Biologen Dr. Oliver-D. Finch sowie der Diplomandin Theda Bruns von der Arbeitsgruppe Terrestrische Ökologie. Damit liegt erstmalig für Niedersachsen und Bremen ein Gesamtüberblick sowie auch eine Rote



Liste gefährdeter Spinnenarten vor. Für die Studie griffen die WissenschaftlerInnen auf verstreut vorhandenes Datenmaterial zurück, in das auch eigene Erhebungen vor Ort einfließen. Die Untersuchung bezieht sich auf Webspinnen, die größte Gruppe der Spinnentiere in Deutschland (abgesehen von den Milben, die ebenfalls zur Gruppe der Spinnen zählen). Zu den bekanntesten Vertretern gehören die Garten-Kreuzspinne, die Zebraspringspinne sowie die Zitterspinne, die bevorzugt in Wohnungen und Häusern in enger - nicht immer wohlgeleitener - Nachbarschaft zum Menschen lebt.  
 ① www.arages.de

**Verschuldung nicht dramatisch**

Bei jungen Menschen ist die Verschuldungsproblematik weniger dramatisch als häufig angenommen. Nach einer Studie des Hauswirtschaftsexperten Prof. Dr. Armin Lewald (Institut für Ökonomische Bildung und Technische Bildung) liegt die Zahl derer, die als Auszubildende bereits in wirtschaftlich gefährdende Verschuldungen verstrickt sind, bei etwa zehn Prozent. Lewald befragte - mit finanzieller Unterstützung der SCHUFA Holding AG (Wiesbaden) - ca. 1.400 Auszubildende im Alter von 18 bis 24 Jahren nach ihrem Finanzverhalten („Erstes Geld, erste Schulden - Zur finanziellen Situation Auszubildender“).

**Nachrichten**

**„Bulle“ für Appelrath**



Prof. Dr. Hans-Jürgen Appelrath, Vorstandsvorsitzender des Informatik-Instituts OFFIS, ist im März 2005 mit dem „Oldenburger Bullen“ ausgezeichnet worden, einer Ehrung, die die Stadt zum dritten Mal vergab. Der

„Bulle“ geht an Persönlichkeiten, die sich durch wirtschaftliches Engagement, innovatives Handeln oder durch Forschungs- und Lehrleistungen hervorragen haben. Appelrath habe mit dem An-Institut OFFIS Oldenburg zu einem IT-Standort gemacht, der weit über die Region hinaus Bedeutung habe, sagte Uni-Präsident Prof. Dr. Uwe Schneidewind in einer Stellungnahme. Der Wissenschaftler, seit 1987 an der Universität, übernahm

1992 die Leitung von OFFIS, das mit zahlreichen Unternehmen weltweit kooperiert und über 200 MitarbeiterInnen beschäftigt. Im vergangenen Jahr war Dr. Werner Brinker, EWE-Vorstandsvorsitzender und Vorsitzender des Hochschulrats, mit dem Oldenburger Bullen ausgezeichnet worden.

**Juniorprofessur gestiftet**



Das Pius-Hospital Oldenburg hat eine Juniorprofessur für Medizinische Strahlenphysik an der Universität Oldenburg gestiftet. Mit diesem jüngsten Kooperationsprojekt wird die bisherige Zusammenarbeit beider Institutionen in dem für die klinische Strahlentherapie äußerst wichtigen Bereich deutlich gestärkt. Juniorprofessor Dr. Björn Poppe (Foto) hat seine Lehr- und Forschungsarbeit inzwischen aufgenommen.

**Wieder bestes deutsches Team**

Bei dem jährlichen nordwesteuropäischen Programmierwettbewerb NWERC, der im November 2004 im schwedischen Lund ausgetragen wurde, setzten sich die Programmierer der Universität Oldenburg bereits zum fünften Mal in Folge als bestes deutsches Team durch. Die Studierenden Daniel Jasper, Christian Ohler und Felix Fontein erreichten unter 42 teilnehmenden Mannschaften aus Holland, Dänemark, Norwegen, Schweden und dem Norden Deutschlands insgesamt den vierten Platz.  
 ① www.oldies-ev.de

**KinderUni sehr erfolgreich**

Nach dem großartigen Erfolg im vergangenen Jahr wird die KinderUniversität Oldenburg 2005 mit sieben Vorlesungen fortgesetzt, die sich sowohl mit natur- als

**Web of Science 2004**

279 Publikationen von Oldenburger WissenschaftlerInnen sind im Jahr 2004 im „Web of Science“ registriert worden, zwei mehr als 2003. Das „Web of Science“ erfasst die wissenschaftliche Literatur weltweit, überwiegend in den Naturwissenschaften. Die Aufteilung der Oldenburger Publikation: Die Psychologie ist mit neun (22), die Sprach- und Literaturwissenschaften sind mit zwei Publikationen vertreten. Die Sportwissenschaft und das Interdisziplinäre Zentrum für Bildung und Kommunikation in Migrationsprozessen (IBKM) sind je einmal registriert.

Die zahlreichsten Oldenburger Publikationen im „Web of Science“

	2004: 279	2003: 277
Biologie	55	54
Physik	64	48
Chemie	51	60
ICBM	48	48
Informatik	19	17
Mathematik	15	17

auch mit geisteswissenschaftlichen Themen beschäftigen. In einem Vorlesungsverzeichnis werden zudem spezielle Projekte präsentiert, die sich an



Kinder unterschiedlicher Altersstufen wenden.

Die Vorlesungen werden in zwei Blöcken, einem Frühjahrssemester und einem Herbstsemester, angeboten. Im vergangenen Jahr nahmen rund 9.000 Kinder an den acht Vorlesungen teil.

**250 Klassen bei CHEMOL**

Mehr als 250 Grundschulklassen haben inzwischen das eigens für Kinder eingerichtete CHEMOL-Labor im Institut für Reine und Angewandte Chemie besucht. Damit erhielten nahezu 5.000 Kinder die Möglichkeit, ihr Verständnis der Naturwissenschaften und insbesondere der Chemie zu verbessern. Die jährlich 70 Kursangebote sind bereits auf zwei Jahre hin ausgebucht. Das von Prof. Dr. Walter Jansen begonnene Projekt wird jetzt von Prof. Dr. Ilka Parchmann betreut. Gesponsert wird es von der EWE-Stiftung und dem Fonds der Chemischen Industrie.



## Hochschulpolitik

### Uni-Leitbild bis Juli

Einstimmig hat der Senat auf seiner Januar-Sitzung die von Präsident Prof. Dr. Uwe Schneidewind eingeleitete Leitbild-Diskussion begrüßt und damit das Tor für den Diskussions- und Strategieprozess weit geöffnet. Jenseits von verordneten Zielvereinbarungsdiskussionen eine positive Vision zu entwickeln und das Potenzial der Universität Oldenburg besser als bisher auszuschöpfen, müsse das Ziel sein, betonte das Gremium. Bereits im Juli sollen das neue Leitbild sowie eine Strategie formuliert sein, die nach Schneidewinds Vorstellungen die Universität 2010 zu einer forschungsorientierten Best-Practice-Hochschule führt.

### Neue Vizes

Mit großer Mehrheit wählte der Senat die Kulturwissenschaftlerin Prof. Dr. Karen Ellwanger zur Vizepräsidentin für Lehre und den Neurobiologen Prof. Dr. Reto Weiler zum Vizepräsidenten für Forschung. Sie lösten am 1. Januar 2005 die Politologin Dr. Marion Rieken und den Erziehungswissenschaftler Prof. Dr. Wolf-Dieter Scholz ab. Ellwanger wurde 1994 an die Universität Oldenburg auf die Professur für „Kulturgeschichte der europäischen Textilien“ berufen. Sie war u.a. Sprecherin des Kollegs für Kulturwissen-



schaftliche Geschlechterstudien und Studiendekanin der Fakultät III Sprach- und Kulturwissenschaften. 1998 erhielt sie den „Preis für gute Lehre“ der Universität. Der Max-Planck-Forschungspreisträger Weiler

## Universitäts-Gesellschaft Oldenburg (UGO)

### Mitgliederveranstaltungen



Am 25. November 2004 wählte die Mitgliederversammlung Vorstand und Beirat für die nächsten drei Jahre. Vorsitzender bleibt Dr. Jörg Bleckmann (Foto), der vor der

Wahl erläutert hatte, dass es sich bei der Vorschlagsliste um eine vollständige Wiederkandidatur des bestehenden Vorstands handle. Beisitzer ist seit dem 25. November kraft Amtes der neue Präsident der Universität, Prof. Dr. Uwe Schneidewind, der auch dem Vorstand angehört.

In den UGO-Beirat wurden außerdem Hubert Bittner, Rita Broweleit, Rolf Gerwien, Martin Grapentin, Axel Koenig, Uwe-Jens Kruse, Eberhard Menzel, Prof. Dr. Dietmar Pohlmann, Arno Schreiber und Dietmar Schütz gewählt. Aus der Hochschule gehören Prof. Dr. Götz Frank, Prof. Dr. Siegfried Grubitzsch, Ina Grieb, Renate Gerdes und Tilman Brock (Student) dem Beirat an.

Bleckmann dankte insbesondere Prof. Dr. Rolf Schäfer, der als langjähriger Vorsitzender des Beirats für die neue Wahlperiode nicht kandidierte, für die verlässliche,

engagierte und konstruktive Arbeit in den zurückliegenden Jahren. Auch dankte er den Herren Milde, Barnstedt und Schubert, die ebenfalls nicht mehr als Beiratsmitglieder für eine weitere Wahlperiode zur Verfügung stehen, für ihr besonderes Engagement.

### Wachsmann-Preis an Chemiker



Ebenfalls am 25. November 2004 wurde der mit 3.000 € dotierte Gerhard Wachsmann-Preis vergeben. Der Chemiker Dr. Arne Lützen (Foto) nahm den Preis für seine an der Fakultät V (Mathematik und Naturwissenschaften) vorgelegte Habilitationsschrift entgegen. Die Arbeit des 35-Jährigen - es geht dabei um die Übertragung von Prinzipien der Natur auf künstliche Systeme - war zuvor schon von der Gesellschaft Deutscher Chemiker als „beste Habilitation auf dem Gebiet der Organischen Chemie in Deutschland“ ausgezeichnet worden.

### Neujahrsempfang

Prominenter Gast beim traditionellen Neujahrsempfang im Oldenburgischen Staatstheater war Wissenschaftsminister Lutz Stratmann. Er bescheinigte der Hochschule,

sie sei „gut aufgestellt“ und habe allen Anlass, das neue Jahr mit Optimismus anzugehen. Die Aufführung des Musicals „Cabaret“ fand, wie schon die Veranstaltungen der vergangenen Jahre, vor ausverkauftem Haus statt.

### UGO-Botschafterempfang

Auch in 2005 werden die UGO-Botschafter mit Empfängen in ihren Regionen ihre erfolgreiche Arbeit fortsetzen. Ziel ist es, die Universität als Wirtschaftsfaktor in der Region im Bewusstsein der Öffentlichkeit zu verankern und das Zusammenwirken regionaler Unternehmen und Persönlichkeiten mit der Hochschule zu fördern.

### Mittagstisch des Präsidenten

Geplant sind „Mittagstische“ im Jahr 2005 an folgenden Terminen: 6. April, 1. Juni, 6. Juli, 7. September und 2. November.

### Termine

Der weitere Jahresplan 2005 sieht Mitgliederveranstaltungen im Juni und September vor. Für den 24. November sind die Vorstands- und Beiratssitzung, die Mitgliederversammlung und die Gerhard Wachsmann-Preisverleihung geplant.

wurde 1986 an die Universität Oldenburg berufen und war u.a. Direktor des Instituts für Biologie und Umweltwissenschaften. Er war maßgeblich an der Einrichtung des Sonderforschungsbereichs „Neurokognition“ beteiligt.

### Budgetierung neu geordnet

Die Universität wird im Sachmittelbereich ihre Finanzen neu ordnen. Die Regelung, die seit dem 1. Januar 2005 in Kraft ist, enthält neue Indikatoren zur Verteilung des Sachmittelhaushalts im Wissenschaftsbereich. Ziel ist die aufgaben- und leistungsorientierte Mittelvergabe an alle Einrichtungen der Universität und die Schaffung besserer Steuerungsmöglichkeiten durch Präsidium und Fakultäten. Damit soll die Förderung von für die Profilierung der Universität wichtigen Projekten gewährleistet werden. Nach den Worten von Präsident Prof. Dr. Uwe Schneidewind macht das neue Budgetierungsmodell „Institute, Fakultäten und auch das Präsidium handlungsfähiger und wird insgesamt für mehr Transparenz sorgen“.

### Juniorprofessuren bleiben

Die Juniorprofessuren werden in Niedersachsen auch nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom Juli 2004 erhalten bleiben, da die Regelung bereits vor zwei Jahren in das Länderrecht übernommen wurde. Im Niedersächsischen Hochschulgesetz (NHG) ist die Juniorprofessur mit eigenständiger Aufgabenbeschreibung und eigenen Landesregelungen für die Berufung und Bestellung verankert. Die Habilitation ist nicht mehr vorgesehen, soll aber als gleichwertiger Zugang zur Professur wieder gesetzlich verankert werden. An der Universität Oldenburg sind derzeit 21 JuniorprofessorInnen tätig.

### Nur noch Teilverlagerung

Von ihrem Plan, im Rahmen des Hochschuloptimierungskonzepts die gesamte Lehramtsportausbildung von Osnabrück nach Oldenburg zu verlagern, ist die Landesregierung wieder abgerückt. Lediglich Sport für das Lehramt an Gymnasien soll jetzt an der Universität Oldenburg konzentriert werden. In Osnabrück sind etwa 400 Studierende im Fach Sport eingeschrieben, in Oldenburg sind es knapp 800. Die vier Osnabrücker ProfessorInnenstellen sollten nach den ursprünglichen Plänen nach Oldenburg kommen. Wie viele es nach dem neuen Konzept sein werden, ist noch ungewiss.

## Berufungen



*Prof. Dr. Martin Georg Fränze*, bisher Hochschullehrer an der Technischen Universität Dänemark, hat die Professur für Hybride Systeme am Department für Informatik übernommen. Fränze promovierte 1997 an der Universität Kiel, wo er auch als Wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig war. Anschließend war er am damaligen Fachbereich Informatik der Universität Oldenburg tätig, um dann für zwei Jahre als Associate Professor für Informatik im Bereich „Safe and Secure IT-Systems“ nach Dänemark zu gehen. Seine Forschungsschwerpunkte u.a.: Mathematische Modellierung sowie Verifikation und Synthese sicherer eingebetteter Computersysteme.



*Prof. Dr. Dagmar Freist*, bisher Wissenschaftliche Oberassistentin an der Universität Osnabrück, ist zur Professorin für Geschichte der Frühen Neuzeit am Institut für Geschichte ernannt worden. Die Historikerin promovierte an der University of Cambridge und begann ihre Habilitationsschrift als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Historischen Institut in London (1995-1998). 2003 habilitierte sie sich an der Universität Osnabrück. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen überwiegend im Bereich der nordwesteuropäischen „Neuen Kulturgeschichte“.



*Prof. Dr. Corinna Höhle*, bisher Wissenschaftliche Assistentin an der Universität Hamburg, hat die Professur für Didaktik der Biologie am Institut für Biologie und Umweltwissenschaften übernommen. Höhle war zunächst als Lehrerin (Biologie und Theologie) tätig, um dann 1995 als Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin an das Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften der Universität Kiel zu wechseln. Hier promovierte sie 1999. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind neben der Lehr- und Lernforschung zur Biologiedidaktik die kritische Reflexion bioethischer Fragestellungen, Philosophieren mit Kindern sowie Gesundheits- und Umwelterziehung.



*Prof. Dr. Thorsten Klüner*, bisher Arbeitsgruppenleiter am Fritz-Haber-Institut Berlin, hat die Professur für Theoretische Physikalische Chemie am Institut für Reine und Angewandte Chemie übernommen. Nach der Promotion an der Universität Bochum, die mit der Otto-Hahn-Medaille der Max-Planck-Gesellschaft ausgezeichnet wurde, ging er 1997 an das Fritz-Haber-Institut, das er 2000 für einen einjährigen Gastaufenthalt an der University of California Los Angeles verließ. 2004 habilitierte sich Klüner an der Humboldt Universität Berlin. Seine Forschungsschwerpunkte u.a.: Entwicklung moderner Methoden zur Berechnung der elektronischen Struktur von Molekülen und Festkörpern.



*Prof. Dr. Karl-Wilhelm Koch*, bisher Laborleiter am Institut für Biologische Informationsverarbeitung im Forschungszentrum Jülich, hat die Professur für Biochemie am Institut für Biologie und Umweltwissenschaften übernommen. Nach der Promotion an der Universität Osnabrück (1986) folgte ein Forschungsaufenthalt an der Stanford University California, zehn Jahre später ein weiterer an der University of California San Francisco. 1988 wurde Koch Laborleiter in Jülich, wo er über Biochemie der Phototransduktion in Wirbeltierphotorezeptorzellen forschte. 1993 habilitierte er sich an der Universität Köln.



*Prof. Dr. Dietmar von Reeken*, bisher Hochschullehrer für die Didaktik des Sachunterrichts an der Universität Bielefeld, wurde auf die Professur für Geschichtsdidaktik am Institut für Geschichte berufen. Von Reeken promovierte 1989 im Fach Geschichte an der Universität Oldenburg. Der sechsjährigen Tätigkeit als Wissenschaftlicher Assistent für Geschichtsdidaktik an der Universität Bielefeld folgte die Habilitation 1998 ebenfalls in Oldenburg. Ab 1998 trat er in Bielefeld eine Professur für Sachunterrichtsdidaktik, die er 2001 endgültig übernahm. Seine Forschungsschwerpunkte u.a.: Theorie und Pragmatik des Geschichtsunterrichts, Analyse geschichtskultureller Phänomene.





*Prof. Dr. Ilka Parchmann*, bisher Hochschullehrerin an der Universität Kiel, hat die Professur für Didaktik der Chemie angenommen. Parchmann promovierte 1997 im Bereich Didaktik der Chemie an der Universität Oldenburg. Nach ihrem Referendariat ging sie 1999 als Wissenschaftliche Mitarbeiterin an die Universität Kiel. 2002 wurde sie dort Professorin und stellvertretende Abteilungsleiterin für Didaktik der Chemie am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. Ihre Forschungsschwerpunkte u.a.: konzeptionelle Entwicklung und begleitende Lehr-Lern-Forschung zu kontextbasiertem Chemieunterricht, Implementation innovativer Unterrichtsansätze.



*Prof. Dr. Tanja Susanne Scheer*, zuletzt Lehrstuhlvertreterin an der Universität Bielefeld, ist zur Hochschullehrerin für Alte Geschichte ernannt worden. Scheer studierte promovierte an der Universität München und forschte von 1994 bis 1996 am Deutschen Archäologischen Institut in Rom. 1998 habilitierte sie sich. Scheer war u.a. Heisenberg-Stipendiatin der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Forschungsaufenthalte führten sie zweimal an die Harvard University. Ihre Forschungsschwerpunkte u.a.: Religionsgeschichte der Antike, Antike Geschlechtergeschichte und Antikenrezeption.



*Prof. Dr. Mathias Wickleder*, seit 2002 Vertreter der Professur Anorganische Chemie am Institut für Reine und Angewandte Chemie in Oldenburg, hat diese Professur jetzt übernommen. Wickleder promovierte an der Universität Hannover. Als Postdoc forschte er von 1994 bis 1996 an der Universität Bern und wechselte dann als Wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent an das Institut für Anorganische Chemie der Universität Köln, wo er sich 2000 mit einer Arbeit über Beiträge zur Kristallchemie und zum thermischen Verhalten von Verbindungen der Selten-Erd-Elemente mit komplexen Anionen habilitierte. Sein Forschungsschwerpunkt: Anorganische Festkörper- und Koordinationschemie.

## Juniorprofessuren



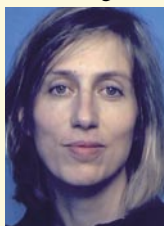
*Dr. Myriam Gerhard*, bisher Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Hegel-Archiv in Bochum, ist zur Juniorprofessorin für Philosophie ernannt worden. Gerhard studierte Philosophie und Politikwissenschaft an der Universität Hannover, wo sie 2001 promovierte. Dem Forschungsaufenthalt als Visiting Research Fellow an der University of Durham (Großbritannien) folgte die Mitarbeit am Hegel-Archiv. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Naturphilosophie, Wissenschaftsphilosophie, Metaphysik und Erkenntnistheorie.



*Dr. Jutta Kretzberg*, bisher Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der University of California San Diego, ist zur Juniorprofessorin für Sinnesphysiologie am Institut für Biologie und Umweltwissenschaften ernannt worden. Kretzberg studierte Informatik in Bielefeld, wo sie auch promovierte (2001). In der Forschung beschäftigt sie sich mit einer Kombination aus theoretischen und experimentellen Methoden, um ein neuronales Netzwerk zu analysieren, das eine einfache Verhaltensreaktion des Blutegels auf taktile Reize steuert.



*Dr. Michael Mohe*, bisher Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Unternehmensführung der Universität Oldenburg, ist zum Juniorprofessor für Business Consulting am Institut für Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftspädagogik ernannt worden. Mohe studierte in Oldenburg und arbeitete anschließend in verschiedenen Beratungsfirmen sowie an der Universität Oldenburg, wo er 2003 promovierte. Er leitet die Forschergruppe Consulting Research.



*Ute Pinkert*, bisher Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Fachhochschule Potsdam, ist zur Juniorprofessorin für Didaktik des Szenischen und Theaterpädagogik

am Kulturwissenschaftlichen Institut ernannt worden. Pinkert studierte Germanistik an der Universität Leipzig und Spiel- und Theaterpädagogik an der Hochschule der Künste Berlin. Sie war als Entwicklungsdramaturgin in Berlin und als freischaffende Theaterpädagogin tätig, bevor sie an die FH Potsdam ging.



*Dr. Heinke Röbbken*, bisher Kollegiatin an der Universität Dortmund, ist zur Juniorprofessorin für Bildungsmanagement am Institut für Pädagogik ernannt worden. Röbbken studierte Wirtschaftswissenschaften und Germanistik in Oldenburg, wo sie auch promovierte. Nach dem Studium wurde sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität der Bundeswehr in Hamburg und wechselte 2003 ins Dortmunder Promotionskolleg „Wissensmanagement und Selbstorganisation im Kontext hochschulischer Lehr- und Lernprozesse“. Gastaufenthalte führten sie an die Cornell University, University of Chicago und die Reykjavik University.

## Rufe



*Prof. Dr. Gerd Hentschel*, Dekan der Fakultät III Sprach- und Kulturwissenschaften und seit 1993 Hochschullehrer für Slavische Philologie, hat einen Ruf auf die C4-Professur für „Deskriptive Linguistik und internationale Soziolinguistik“ an die Europa-Universität Frankfurt (Oder) erhalten.

*Dr. Vladimir Dyakonov*, Physiker und Leiter der Arbeitsgruppe Photovoltaik in der Abteilung Energie- und Halbleiterforschung am Institut für Physik, hat den Ruf auf die Professur für Experimentelle Physik an der Universität Würzburg angenommen. Mit dem Lehrstuhl ist auch die Leitung des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung in Würzburg verbunden.

*Prof. Dr. Heike Wehrheim*, bisher Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung „Entwicklung Korrekter Systeme“ am Department für Informatik, hat die Professur für Informatik an der Universität Paderborn angenommen. Die Wissenschaftlerin ist seit 1998 an der Universität Oldenburg, wo sie sich 2002 habilitierte.



## Promotionen 2004

### Fakultät I Erziehungs- und Bildungswissenschaften

*Sylke Bartmann*, Thema „Flüchten oder Bleiben? Rekonstruktion biographischer Verläufe und Ressourcen von Emigranten im Nationalsozialismus“, (Pädagogik)

*Heinz Lothar Fichtner*, Thema „Bildung und Erziehung behinderter und nicht behinderter Kinder - Bedeutung für die Aus- und Fortbildung sozialpädagogischer Lehrkräfte, Lehrerinnen und Lehrer“, (Sonderpädagogik)

*Anwar Hadeed*, Thema „Selbstorganisation im Einwanderungsland - Partizipationspotenziale von Migranten - Selbstorganisationen in Niedersachsen“, (Pädagogik)

*Astrid Hedtke-Becker*, Thema „Die Pflegenden pflegen. Angehörige chronisch kranker Menschen: ihre Lebenssituation, Entlastungsmöglichkeiten und Angehörigenarbeit“, (Pädagogik/Erwachsenenbildung)

*Frank Hellmich*, Thema „Interesse von Grundschulkindern an Mathematik unter besonderer Berücksichtigung ihrer auf den Mathematikunterricht bezogenen Schulkonzepte und Kompetenzen“, (Pädagogik)

*Willi Gierke*, Thema „Die pluralen Strukturen der Erwachsenenbildung - Zur Geschichte der Erwachsenenbildung in Niedersachsen 1947 - 1960“, (Pädagogik)

*Nils Kulik*, Thema „Das Gute und das Böse in der phantastischen Kinder- und Jugendliteratur unter besonderer Berücksichtigung pädagogischer Bezüge“, (Pädagogik)

*Catrin Lange*, Thema „Klientenbedürfnisse bei Trennung und Scheidung - eine empirische Untersuchung“, (Pädagogik)

*Holger Lindemann*, Thema „(Sonder-)pädagogische Theorie und Praxis aus konstruktivistischer Sicht“, (Sonderpädagogik)

*Shu-Chiu Liu*, Thema „The Alternative Models of the Universe. A Cross-Cultural Study on Students and Historical Ideas about the Heaven and the Earth with a View towards Reshaping Science Instruction“, (Pädagogik)

*Margitta Menke*, Thema „Für mich ist Bildung Freiheit!“, (Pädagogik)

*Simone Seitz*, Thema „Zeit für eine Grundschule mit allen Kindern - Didaktische Rekonstruktion von Zeit für inklusiven Sachunterricht“, (Pädagogik)

*Ralf Sluzalek-Drabent*, Thema „Die Beziehung zwischen dem freiwilligen sozialen Bürgerengagement und dem beruflichen Helfen in der außerschulischen Behindertenhilfe“, (Sonderpädagogik)

### Fakultät II Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften

*Olaf Gerrit Amthor*, Thema „Gesellschaftliches Engagement in der Elektrizitätsversorgungsindustrie - Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung seiner Begründung und seiner strukturpolitischen Wirkung“, (BWL)

*Dirk Fischer*, Thema „Strategisches Management in der Symbolökonomie“, (BWL)

*Arne Harren*, Thema „Temporale Datenintegration in Data-Warehouse-Systemen“, (Informatik)

*Marian Jonda*, Thema „Szenario-Management digitaler Geschäftsmodelle. Skizze einer Geschäftsmodellierung am Beispiel von Mobile-Health-Dienstleistungen“, (BWL)

*Vera Kamp*, Thema „Datenbanksystemunterstützung für mehrdimensionale intelligente Datenanalysen“, (Informatik)

*Palle Klante*, Thema „Gestaltung auditiver Umgebungen - Eine Vorgehensweise zur Gestaltung interaktiver, auditiver Welten“, (Informatik)

*Wolfgang Kneer*, Thema „Befunde vermittelter und bewerteter Führung. Eine empirische Untersuchung über die Zusammenhänge von vermittelter und bewerteter Führung zur Identifikation von erfolgsbedingten Führungsaspekten - am Beispiel eines Wirtschaftsunternehmens der Automobilbranche“, (BWL)

*Susanne König*, Thema „Human Resource Management, Personalauswahl und Theorien industrieller Beziehungen - Interaktionskulturen aus einer Negotiated Order-Perspektive“, (BWL)

*Roman Lokhov*, Thema „Potenziale eines Emissionshandels für die russische und europäische Wirtschaft nach Kyoto: Entwicklung und Perspektiven“, (VWL)

*Andreas Lüdtke*, Thema „Kognitive Analyse Formaler Sicherheitskritischer Steuerungssysteme auf Basis eines integrierten Mensch-Maschine-Modells“, (Informatik)

*Oliver Märker*, Thema „Online-Mediation als Instrument für nachhaltige Stadt- und Regionalplanung - Eine qualitative Untersuchung zur extremen und internen Relevanz online mediierter Verfahren“, (BWL)

*Bettina Merlin*, Thema „Internet-Marketing in lateinamerikanischen Exportunternehmen - Eine empirische Untersuchung der Auswirkungen der Internetnutzung in der Weinindustrie in Chile und der Kaffeeindustrie in Costa Rica“, (BWL)

*Ulrich Müller*, Thema „Kundenbindung im E-Commerce: Personalisierung als Instrument des Customer Relationship Marketing“, (BWL)

*Lars Plate*, Thema „Bankbetriebliches Qualitätsmanagement und seine Umsetzung im Kreditgeschäft - Prozessorientierung als Voraussetzung für einen Ausgleich zwischen markt- und risikopolitischen Anforderungen“, (BWL)

*Heinke Rübken*, Thema „Inside the ‚Knowledge Factory‘: Organizational Change in business Schools in the United States, Germany, Sweden from Neo-Institutional Perspective“, (BWL)

*Guido Schimm*, Thema „Workflow Mining - Verfahren zur Extraktion von Workflow-Schemata aus ereignisbasierten Daten“, (Informatik)

*Marco Schlattmann*, Thema „Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung virtueller multimedialer Labore“, (Informatik)

*Arndt Schönberg*, Thema „Architektur einer wissensbasierten Bedrohungs- und Risikoanalyse von IT-Systemen mit automatisierter Auswahl und Integration von Sicherheitsmechanismen“, (Informatik)

*Daniela Stäcker*, Thema „Die Marktstrukturentwicklung des liberalisierten europäischen Gasmarktes - Untersuchungen mit einem dynamischen Simulationsmodell“, (VWL)

*Dirk Stüker*, Thema „Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im automobilen Straßenverkehr“, (Informatik)

*Dennis Urban*, Thema „Anforderungen des Signaturgesetzes an die Zertifizierungsdienstleister

und ihre Auswirkungen auf deren Organisationsgestaltung“, (Rechtsw.)

*Jens Winkler*, Thema „Wettbewerb für den deutschen Trinkwassermarkt: Vom freiwilligen Benchmarking zur disaggregierten Regulierung“, (VWL)

*Julia Wölm*, Thema „Kommunale Dateiverarbeitungszentralen - Situationsanalyse und Entwicklungsperspektiven“, (BWL/Verwaltungsw.)

### Fakultät III Sprach- und Kulturwissenschaften

*Hauke Bartels*, Thema „Dativ oder Präposition: Zur Markierung von Nominalphrasen bei adjektivischen Prädikaten im Deutschen, Polnischen und Russischen“, (Fremdsprachenphilologie)

*Christina Burck*, Thema „Schreiben als Selbstfindung. Zum Zusammenhang von Biographie und literarischer Produktion im Werk Geno Hartlaubs“, (Germanistik)

*Sonja Eisermann*, Thema „Eine sprach-historische Untersuchung insbesondere des in-Derivationsmorphems unter Berücksichtigung prototypen-semantischer Aspekte beim Bedeutungswandel“, (Germanistik)

*Lübbert Haneburger*, Thema „Aus nächster Ferne - zur Entstehung und Entwicklung der Bildform bei Franz Gertsch“, (Kunst)

*Ellen Harlizius-Klück*, Thema „Weberei als episteme und die Genese der deduktiven Mathematik - in vier Umschweiften entwickelt aus Platons Dialog Politikos“, (Kunst)

*Traute Helmers*, Thema „Anonym unter grünem Rasen - Eine kulturwissenschaftliche Studie zu neuen Formen der Begräbnis- und Erinnerungspraxis auf Friedhöfen“, (Kunst)

*Markus Kosuch*, Thema „Szenische Interpretation von Musiktheater. Von einem Konzept des handlungsorientierten Unterrichts zu einem Konzept der allgemeinen Opernpädagogik“, (Musik)

*Ursula Lüdtke*, Thema „Funktion und Wirkung von Mehrdeutigkeit im Erzählwerk der Schriftstellerin Brigitte Kronauer“, (Germanistik)

### Fakultät IV Human- und Gesellschaftswissenschaften

*Stefan Ahrens*, Thema „Legitimität und Gründung. Hannah Arendts politisches Denken über die Legitimität demokratischer politischer Ordnung“, (Politikwissenschaft)

*Annika Akerfelt*, Thema „Visual-Tactile Stop Signal Inhibition“, (Psychologie)

*Jürgen Bantelmann*, Thema „Die Integrativen Verlaufsskalen (IVS-39) - Ein Instrument zur Veränderungsmessung und Diagnostik tiefenpsychologische und integrativorientierter Psychotherapie“, (Psychologie)

*Frank Betker*, Thema „Einsicht in die Notwendigkeit. Berufserfahrungen und Institutionen in der kommunalen Stadtplanung zu DDR-Zeiten und nach der Wende (1945-1994)“, (Sozialwissenschaften)

*Gerd Bohlen*, Thema „Die Förderung von Selbstwirksamkeit bei Eltern und Kindern in der Erziehungsberatung auf der Basis videogestützter Interaktions-Diagnostik“, (Psychologie)

*Daniela Frees*, Thema „Egmont Zechlin, 1896-1992. Eine Biographie“, (Geschichte)

*Elisabeth Ganseforth*, Thema „Das Fremde und das Eigene. Methoden - Methodologie - Diskurse

in der soziologischen Forschung“, (Sozialwissenschaften)

*Jochen Gollbach*, Thema „Die Europäisierung der Gewerkschaften im Spannungsverhältnis nationaler und europäischer Strukturen und Traditionen“, (Politikwissenschaft)

*Tanja Helmers*, Thema „Sozialerziehung zum sozial verantwortlichen Handeln. Eine Untersuchung zur Begründung, Entwicklung und Erforschung eines sportpädagogischen Konzepts zur Sozialerziehung im und durch Schul- und Vereinssport“, (Sportwissenschaft)

*Annette Hirschert*, Thema „Frauen zwischen Kind und Beruf: Mütterliche Erwerbsarbeit in Familien mit einem behinderten Kind - Realität und Selbstverständnis“, (Soziologie)

*Thomas Klapheck*, Thema „Der heilige Ansgar und die karolingische Nordmission“, (Geschichte)

*Martin Koch*, Thema „Geistes-Gegenwart in der Homöopathie - Eine Studie zur Heilung in der Klassischen Homöopathie unter Berücksichtigung psychotherapeutischer und transpersonaler Bezüge“, (Psychologie)

*Christina Preßler*, Thema „Tagebücher aus der Zeit des Nationalsozialismus in der historisch-politischen Erwachsenenbildung. Ein Beispiel für zeitgeschichtliches Lernen“, (Geschichte)

*Stephan Scholz*, Thema „Zwischen konfessioneller Solidarität und antirevolutionärer Abgrenzung. Der Polendiskurs des deutschen Katholizismus 1830-1849“, (Geschichte)

*Claudia Steinbrink*, Thema „Phonologische und flexionsmorphologische Fehler in der Sprache normal hörender und hörgeschädigter Kinder“, (Psychologie)

*Chieh-Hsiang Wu*, Thema „Kulturpolitik und Kulturökonomie in Deutschland und Taiwan. Eine Analyse der staatlichen Kompetenzen“, (Soziologie)

## Fakultät V Mathematik und Naturwissenschaften

*Britta Bade*, Thema „Differentielle Expression humaner Granzyme in Lymphozyten aus dem peripheren Blut“, (Biologie)

*Stephan Barth*, Thema „Entwicklung eines hochauflösenden Geschwindigkeitssensors“, (Biologie)

*Martin Block*, Thema „Zur Theorie schwach wechselwirkender Bose-Gase“, (Physik)

*Dorothea Brandhorst*, Thema „Entwicklung eines in vitro Fluoreszenzassays zur Charakterisierung der Fusion von frühen Endosomen“, (Biologie)

*Dana Chirvase*, Thema „Electrical characterization of organic devices - Case study: polythiophene-fullerene based solar cells“, (Physik)

*Jörg Damaschke*, Thema „Towards a neurophysiological correlate of the precedence effect: from psychoacoustics to electroencephalography“, (Physik)

*Karin Dedek*, Thema „Charakterisierung von KCNQ-Kaliumkanälen und ihren  $\beta$ -Untereinheiten“, (Biologie)

*Ulrike Dicke*, Thema „Neural models of modulation frequency analysis in the auditory system“, (Physik)

*Petra Dirks*, Thema „Die L1-Familie neuraler Zellerkennungsmoleküle: Postnatale Expressionsmuster und die Identifizierung cytoplasmatischer Interaktionspartner“, (Biologie)

*Lutz Fischer*, Thema „Der Einfluss der großen

Meteorbank auf die Ernährungsbiologie und Verteilung dominanter Calanoida (Crustacea, Copepoda)“, (Biologie)

*Sven Fürmeier*, Thema „Mikroreaktorgekoppelte Elektrosprayionisations-Massenspektrometrie, ein neues Werkzeug zur Untersuchung von reaktiven Zwischenstufen in Lösung“, (Chemie)

*Anett Funke*, Thema „Elektrochemische Synthese von Pt/RU-Katalysatoren für den Reformatbetrieb von Brennstoffzellen“, (Chemie)

*Katrin Fritsch*, Thema „Plant response to changes in disturbance magnitude“, (Biologie)

*Hergen Gardeler*, Thema „Experimentelle Bestimmung und Vergleich experimenteller und berechneter Phasengleichgewichtsdaten aus schwerflüchtigen und überkritischen Komponenten“, (Chemie)

*Tim Garlipp*, Thema „On Robust Jump Detection in Regression Surfaces with Applications to Image Analysis“, (Mathematik)

*Stefan Graupner*, Thema „Identifizierung und Charakterisierung von Kompetenzgrenzen für die natürliche Transformation von *Pseudomonas stutzeri*“, (Biologie)

*Thilo Groß*, Thema „Population Dynamics: General Results from Local Analysis“, (Physik, ICBM)

*Matthias Hain*, Thema „Nachweis und Identifizierung von Pilzen auf Bryozoen“, (Biologie)

*Marko Hapke*, Thema „Synthese von Metallkomplexen als Rezeptoren für Monosaccharide“, (Chemie)

*Elke Heitling*, Thema „Untersuchungen zur heterogen-katalysierten Fries-Umlagerung in der flüssigen Phase“, (Chemie)

*Rainer Huber*, Thema „Objective assessment of audio quality using an auditory processing model“, (Physik)

*Bogdan Ichim*, Thema „Generalized Koszul Complexes“, (Mathematik)

*Falko Johannmeyer*, Thema „Stationen auf dem Weg ins Diskontinuum im Chemieunterricht der Sekundarstufe I“, (Chemie)

*Jörn Kiepe*, Thema „Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Phasengleichgewichtsverhalten komplexer fluider Gemische unter Einfluss starker Elektrolyte bis zu hohen Drücken“, (Chemie)

*Maren Klemmt*, Thema „Das Fulleren C60 als molekulare Sonde für Untersuchungen zum Elektronentransfer beim massenspektrometrischen Verfahren der Desorption/Ionisation“, (Physik)

*Cora Kohlmeier*, Thema „Modellierung des Spiekeroober Rückseitenwatts mit einem gekoppelten EulerLagrange-Modell auf der Basis von ERSEM“, ICBM

*Cathrin Kotsch*, Thema „Untersuchungen zu funktionalen Pflanzentypen im Naturraum ‚Kraukower Seen- und Sandergebiet‘ (Meckl.-Vorp.)“, (Biologie)

*Matthias Lemmler*, Thema „Synthese chiraler Zinnverbindungen und deren Einsatz in enantioselektiven Radikalreaktionen“, (Chemie)

*Susanne Kraft*, Thema „Multinukleare Titanocen-komplexe mit N-hetero-cyclischen Brückenliganden“, (Chemie)

*Anke Kühner*, Thema „Habitat models for plant functional groups with respect to soil parameters and management“, (Biologie)

*Elke Lorenz*, Thema „Methoden zur Beschreibung der Wolkenentwicklung in Satellitenbildern und

ihre Anwendung zur Solarstrahlungsvorhersage“, (Physik)

*Holger Lüschen*, Thema „Vergleichende anorganisch geochemische Untersuchungen an phanerozoischen Corg-reichen Sedimenten: Ein Beitrag zur Charakterisierung ihrer Fazies“, (ICBM)

*Manfred Dieter Mauerer*, Thema „Fine Structure in Distortion Product Otoacoustic Emissions and Auditory Perception“, (Physik)

*Joachim Maurer*, Thema „Geochemische Charakterisierung und Versuch der Strukturaufklärung aliphatischer Biomaker aus fossilem organischem Material“, (ICBM)

*Petra Meier*, Thema „Genomische Integration von Fremd-DNA in *Pseudomonas stutzeri*“, (Biologie)

*Jörn Miesner*, Thema „Beitrag zur kontinuierlichen interferometrischen Untersuchung der Eigenschwingungsformen rotierender Bauteile“, (Physik)

*Thomas Möhring*, Thema „Organisch-geochemische Charakterisierung von Wachsen und Asphalten von Stränden der Deutschen Bucht und aus dem südlichen Kalifornien“, (ICBM)

*Christian Mohn*, Thema „Martingalmaß und Bewertung europäischer Optionen in diskreten unvollständigen Finanzmärkten“, (Mathematik)

*Maria Jacqueline Muñoz Cifuentes*, Thema „Seevögel als Bioindikatoren für die Kontamination mit Umweltchemikalien: ein Vergleich zwischen Chile und Deutschland“, (Biologie)

*Johana Nešlehová*, Thema „Dependence of Non-Continuous Random Variables“, (Mathematik)

*Thomas Oldenburg*, Thema „Geochemical Significance of Heterocompounds in Petroleum System, Offshore Norway“, (ICBM)

*Steffen Page*, Thema „Untersuchungen der Energieratenbilanz der dreidimensionalen, ebenen Couette-Strömung bei Simulation mit der endlichen Galerkin-Methode“, (Physik)

*Martin Purschke*, Thema „Erzeugung und Reparatur strahleninduzierter DNA-Basenschäden und deren Bedeutung für die Strahlenempfindlichkeit von Säugerzellen“, (Biologie)

*Gerhard Ramaker*, Thema „Tetramerabute-1,3-dien: Optimierte Synthese und erste Reaktionen“, (Chemie)

*Nimer Safi*, Thema „Environmental Organic Geochemistry of Sediments from Wadi Gaza and Investigations of Bioremediation of Petroleum Derivatives and Herbicides by Cyanobacterial Mats under different Experimental Conditions“, (ICBM)

*Murad Sawalha*, Thema „Characterization of acid and basic properties of catalysts by test reactions“, (Chemie)

*Gregor Scheiffarth*, Thema „Born to fly - Migratory Strategies and Stopover Ecology in the European Wadden Sea of a long-distance migrant, the Bar-tailed Godwit (*Limosa lapponica*)“, (Biologie)

*Malte Siefert*, Thema „Analyse der kleinskaligen Turbulenz mittels multivariater Markovprozesse“, (Physik)

*Oleg Sklyar*, Thema „Modelling Scanning Electrochemical Microscopy (SECM) Experiments on Microstructured Functionalised Surfaces“, (Chemie)

*Thomas Stahnke*, Thema „Oxidativer Stress in Oligodendrozyten und die Bedeutung bei deme-

linisierenden Erkrankungen", (Biologie)  
*Heike Stevens*, Thema „Heterotrophe Bakteriengemeinschaften des Deutschen Wattenmeeres - Diversität, Dynamik und Abundanz", (ICBM)  
*Frank Thiemann*, Thema „Design, Synthese und Evaluation von auf 9,9'-Spirobifluorenen basierenden Rezeptoren", (Chemie)  
*Marc Volkmann*, Thema „Analyse und Charakterisierung von Mycosporinen aus gesteinsbesiedelnden mikrokolonialen Pilzen und Umweltgesteinsproben", (ICBM)  
*Tönjes de Vries*, Thema „Entwicklung und Erprobung experimenteller Konzepte für einen lebensweltlichen Chemieunterricht unter besonderer Berücksichtigung von Heimexperimenten", (Chemie)  
*Matthias Wächter*, Thema „Markov-Analysen unebener Oberflächen", (Physik)  
*Claudia Wenzel*, Thema „Geochemische Signale in spätpleistozänen Tiefseesedimenten aus dem nördlichen Benguela-Stromsystem: Indikatoren für paläoklimatische und paläo-ozeanographische Bedingungen", (ICBM)  
*Michael Wilken*, Thema „Experimentelle Untersuchung von Fest-Flüssig-Gas-Gleichgewichten und kalorischen Daten", (Chemie)  
*Ansgar Wille*, Thema „Untersuchungen zu laserinduzierten Adsorptionsplatzänderungen im Modellkatalysatorsystem CO/PD/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", (Chemie)

## Habilitationen 2004

### Fakultät I Erziehungs- und Bildungswissenschaften

*Dr. Norbert Heinen*, Fachgebiet „Sonderpädagogik unter Berücksichtigung der Pädagogik bei geistiger Behinderung", Schrift (kumulativ) „Sonderpädagogische Kompetenzen als Grundlage professionellen Handelns in der Pädagogik bei Menschen mit geistiger Behinderung"  
*Dr. Bettina Lindemeier*, Fachgebiet „Allgemeine Behindertenpädagogik", Schrift „Historisch-systematische Arbeiten zur Weiterentwicklung sonderpädagogischer Unterstützungsmaßnahmen"  
*Dr. Helmut Meschenmoser*, Fachgebiet „Schulpädagogik mit dem Schwerpunkt Medienpädagogik unter besonderer Berücksichtigung heterogener Lernzugänge", Schrift „Lernen mit Medien (unter Berücksichtigung heterogener Lernvoraussetzungen)"  
*Dr. Gisela Schulze*, Fachgebiet „Sonderpädagogik unter besonderer Berücksichtigung der Pädagogik bei Beeinträchtigungen des Lernens und des Verhaltens", Schrift „Die Feldtheorie von Kurt Lewin und ihre Bedeutung für eine Pädagogik bei sonderpädagogischem Förderbedarf - am Beispiel von Schülern und Schülerinnen mit Beeinträchtigungen im Lernen und Verhalten"

### Fakultät II Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften

*Ralf Antes-Kirschten*, Fachgebiet „Betriebswirtschaftslehre", Schrift „Nachhaltigkeit und Betriebswirtschaftslehre - Eine wissenschafts- und institutionen-theoretische Perspektive"  
*Andreas Aulinger*, Fachgebiet „Betriebswirt-

schaftslehre", Schrift „Entrepreneurship und soziales Kapital - Netzwerke als Erfolgsfaktor wissensintensiver Dienstleistungsunternehmen"  
*Jens Klusmeyer*, Fachgebiet „Berufs- und Wirtschaftspädagogik", Schrift „Die Berufs- und Wirtschaftspädagogik als wissenschaftliche Disziplin unter besonderer Berücksichtigung der Lehr-Lern-Methodenforschung"  
*Martin Müller*, Fachgebiet „Betriebswirtschaftslehre", Schrift „Supply Chain Management im Spannungsfeld - eine Analyse aus Sicht der Neuen Institutionenökonomie"  
*Stefan Seuring*, Fachgebiet „Betriebswirtschaftslehre", Schrift „Supply Chain Management im Spannungsfeld von Nachhaltigkeit und Performance"

### Fakultät III Sprach- und Kulturwissenschaften

*Dr. Rebecca Grotjahn*, Fachgebiet „Musikwissenschaft", Schrift „Studien zur Kulturgeschichte der Musik vom ausgehenden 18. bis zum frühen 20. Jahrhundert"  
*Dr. Susanne Lummerding*, Fachgebiet „Kunst und Medienwissenschaft", Schrift „Agency@? Cyber-Diskurse, Subjektkonstituierung und Handlungsfähigkeit im Feld des Politischen. Entwurf einer kritischen Repräsentationstheorie am Beispiel aktueller medialer Dispositive"  
*Dr. Florian Panitz*, Fachgebiet „Anglistische Sprachwissenschaft", Schrift „Invariant Meanings and Information Distribution in English Compared with German. The case of ‚result‘ verbs: field-oriented contrastive studies form a neo-Saussuran perspective"  
*Dr. Jan Oosterholt*, Fachgebiet „Niederländische Philologie: Literaturwissenschaft", Schrift „De bril van Tachtig. De rol van critice Willem Kloos en Albert Verwey in de beeldvorming omtrent de negentiende eeuwse dichtkunst in Nederland"

### Fakultät V Mathematik und Naturwissenschaften

*Dr. Robert Alois Biedermann*, Fachgebiet „Tierökologie", Schrift „Spatial structure and dynamics of insect populations"  
*Dr. Thomas W.P. Friedl*, Fachgebiet „Zoologie", Schrift „Sexual selection in red bishops (Euplectes orix) an European Treefrogs (Hyla arborea): different mating systems and common themes"  
*Dr. Hans-Peter Grossart*, Lehrgebiete „Mikrobiologie und Aquatische Ökologie", Schrift „Ökologie und Bedeutung von aggregat-assoziierten Bakterien in aquatischen Systemen"  
*Dr. Jörg Löffler*, Fachgebiet „Geographie mit dem Schwerpunkt Landschaftsökologie", Schrift „Physisch-geographische und landschaftsökologische Untersuchungen zur Dynamik arktisch-alpiner Ökosysteme"  
*Dr. Arne Lützen*, Fachgebiet „Organische Chemie", Schrift „Funktionelle supramolekulare Aggregate - Nutzung von Selbstorganisationsprozessen und allosterischen Effekten in der molekularen Erkennung"  
*Dr. Emil Stanev*, Fachgebiet „Physikalische Ozeanographie (Theorie)", Umhabilitierung  
*Dr. Johann de Vries*, Fachgebiet „Genetik", Schrift „The acquisition of foreign DNA in bacteria by natural transformation"

# Einblicke

[www.uni-oldenburg.de/presse/einblicke/](http://www.uni-oldenburg.de/presse/einblicke/)

Nr. 41, 21. Jahrgang, Frühjahr 2005  
 ISSN 0930/8253

Herausgeber  
 Das Präsidium der  
 Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Redaktion  
 Gerhard Harms (verantw.)  
 Dr. Corinna Dahm-Brey,  
 Manfred Richter,  
 Dr. Andreas Wojak

Presse & Kommunikation  
 Ammerländer Heerstraße 114-118  
 26129 Oldenburg  
 Tel.: 0441/798-5446, Fax: -5545  
 E-Mail: [presse@uni-oldenburg.de](mailto:presse@uni-oldenburg.de)

Layout  
 Gerhard Harms, Inka Schwarze

Bildbearbeitung  
 Inka Schwarze

Abbildungen  
 Dr. Thomas Badewien (Titelbild, S. 6)  
 Markus Baumann (S. 17)  
 Büllerbeck u. Hüttel (S. 21)  
 Europäische Weltraumorganisation ESA (S. 7)  
 Heike Grotelüschen (S. 7)  
 Ulf Harksen (S. 6)  
 Karl-Eberhard Heers (S. 4, 10, 14, 21, 23, 26, 30)

Druck  
 Officina-Druck - Posthalterweg 1b  
 26129 Oldenburg  
 Tel.: 0441/7760-60, Fax: -65  
 E-Mail: [info@officina.de](mailto:info@officina.de)

EINBLICKE erscheint zweimal im Jahr und informiert eine breitere Öffentlichkeit über die Forschung der Universität Oldenburg. Die AutorInnen nehmen bewusst Vereinfachungen in der Darstellung ihrer Projekte in Kauf. Abdruck der Artikel nach Rücksprache mit der Redaktion und unter Nennung der Quelle möglich.