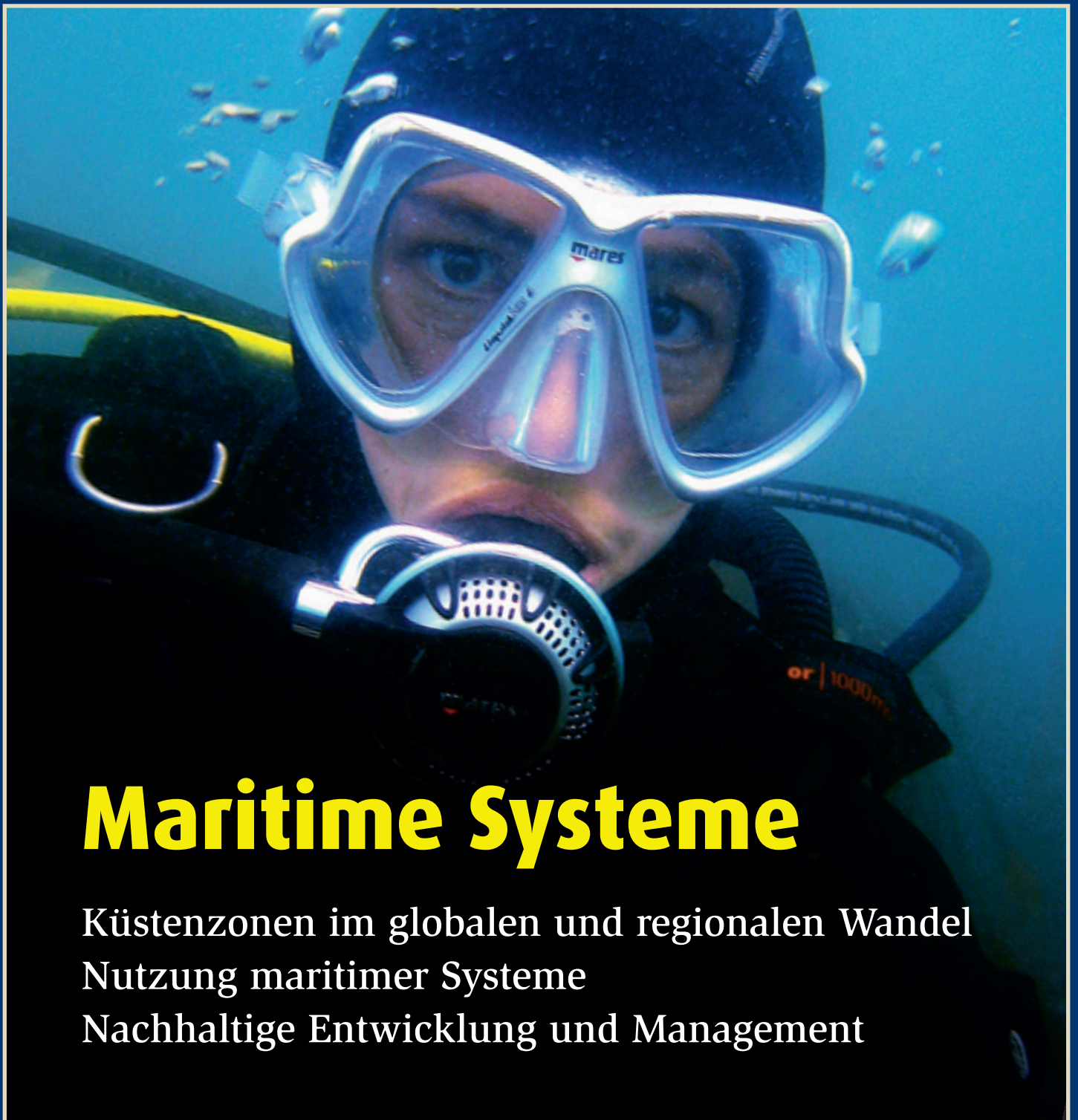


# Traditio et Innovatio



FORSCHUNGSMAGAZIN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

13. JAHRGANG • HEFT 2 / 2008 • ISSN 1432-1513 • 4.50 EURO



## **Maritime Systeme**

Küstenzonen im globalen und regionalen Wandel  
Nutzung maritimer Systeme  
Nachhaltige Entwicklung und Management

# Oben ankommen.



**UNIVERSITÄT ROSTOCK**

[www.uni-rostock.de](http://www.uni-rostock.de)



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

ein Jahr nach Gründung der Interdisziplinären Fakultät nehmen wir gerne die Gelegenheit wahr, die Themenbreite der Profillinie „Maritime Systeme“ an konkreten Beispielen zu veranschaulichen. Wissenschaftler aus acht Fakultäten arbeiten zusammen, um Perspektiven für den attraktiven Lebens- und Wirtschaftsraum Küste zu entwickeln.

Drei Schwerpunkte prägen die Zusammenarbeit in der Profillinie. Der Forschungsbereich „Küstenzonen im globalen und regionalen Wandel“ widmet sich von außen vorgegebenen ökosystemaren Trends, die erhebliche Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Erfordernisse und Strukturen der Küstenanrainer haben werden. Dazu gehören Änderungen in der Hydro- und Sedimentdynamik, Änderungen der Stoffkreisläufe und Veränderungen der Biodiversität. Hier gilt es, die Ursachen und Konsequenzen dieser Veränderungen zu ermitteln und Szenarien der zu erwartenden Änderungen zu prognostizieren, um die theoretische Grundlage für gesellschaftlich kompetentes Handeln zu schaffen.

Der Forschungsbereich „Nutzung maritimer Systeme“ betreibt sowohl Grundlagenforschung als auch Entwicklungsarbeit für umweltgerechte technische Lösungen in allen Bereichen der maritimen Wirtschaft. Das Spektrum reicht von der experimentellen Untersuchung und Modellierung hydrodynamischer Prozesse und Fluid-Struktur-Wechselwirkungen bis zur Konstruktion maritimer Großstrukturen, wie z. B. Anlagen zur Offshore-Energiegewinnung, Innovationen im Schiffbau und der Konzeption von Küstenschutzmaßnahmen. Innovative Strategien werden auch für die Fischereiwirtschaft und eine Ressourcen schonende Aquakultur erarbeitet.

Im Forschungsbereich „Nachhaltige Entwicklung und Management“ werden die vielfältigen Nutzungsinteressen in Küstenräumen in ihrem ökologischen, ökonomischen, politischen und gesellschaftlichen Kontext betrachtet. Fachübergreifend werden ganzheitliche Strategien zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit von Küstenzonen erarbeitet. Sie sollen dazu beitragen, die Küsten als ökologisch intakten und wirtschaftlich prosperierenden Lebensraum zu entwickeln. Wichtige Werkzeuge hierfür sind das integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM) und die marine Raumplanung.

Ihr

Prof. Dr. Gerhard Graf

Leiter des Departments Maritime Systeme

Interdisziplinäre Fakultät

<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
----------------	----------

Gerhard Graf

## **KÜSTENZONEN IM GLOBALEN UND REGIONALEN WANDEL**

<b>„Eiskalt erwischt...“</b>	<b>4</b>
------------------------------	----------

Leben und Lebensleistung von Mikroalgen in der Arktis

Jana Wölfel und Ulf Karsten

<b>Dienstleister am Meeresboden</b>	<b>7</b>
-------------------------------------	----------

Tiere in Sedimenten des küstennahen Flachwassers

Gerhard Graf und Stefan Forster

<b>Ein Einwanderer mit schlechtem Ruf</b>	<b>10</b>
---	-----------

Die Rippenqualle Mnemiopsis leidyi in der Ostsee

Sandra Kube und Lutz Postel

<b>Die Kohlendioxidaustritte im Okinawa-Graben</b>	<b>13</b>
--	-----------

Ein natürliches Labor für Untersuchungen zur marinen CO<sub>2</sub>-Deponierung

Gregor Rehder

<b>Mikrobielles Leben in den lebensfeindlichen Tiefen der Ostsee</b>	<b>16</b>
--	-----------

Mikroorganismen als Katalysatoren wichtiger Stoffkreisläufe

Klaus Jürgens

<b>„Strohwitwen und vergessene Verwandte“</b>	<b>19</b>
---	-----------

Der Artbegriff bei Protisten

Hendrik Schubert

<b>Die Barthaare der Robben vom biologischen zum technischen System</b>	<b>23</b>
---	-----------

Martin Brede, Guido Dehnhardt, Alfred Leder, Lars Miersch und Matthias Witte

## **NUTZUNG MARITIMER SYSTEME**

<b>Virtuelle und Erweiterte Realität in der maritimen Industrie</b>	<b>26</b>
---	-----------

Computergraphik an der Schwelle von der Forschung in die Anwendung

Uwe von Lukas

## **Offshore-Windparks in der Ostsee**

Strömungstechnische Auswirkungen auf das Ökosystem

Peter Menzel, Alfred Leder und Hans Burchard

Seite 38



## **Nachhaltige Nutzung der Meereszonen – geht das?**

Das Beispiel der Seefischerei

Detlef Czybulka

Seite 51



## Impressum

**Herausgeber:** Der Rektor der Universität Rostock  
**Redaktion:** Dr. Ulrich Vetter (V.i.S.d.P.), Dr. Kristin Nölting, Nicole Hulka  
 Universität Rostock  
 Presse- und Kommunikationsstelle  
 Universitätsplatz 1  
 18051 Rostock  
 Tel.: 0381/498-1012  
 E-Mail: pressestelle@uni-rostock.de

**Wissenschaftlicher Beirat:**  
 Prof. Dr. Hermann Michael Niemann (Leitung)  
 Prof. Dr.-Ing. Henning Bombeck  
 Prof. Dr. Detlef Czybulka  
 Prof. Dr.-Ing. Nils Damaschke  
 Prof. Dr. Franz-Josef Holznagel  
 Prof. Dr. Matthias Junge  
 Prof. Dr. Bernhard Lampe  
 Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen  
 Prof. Dr. Wolfgang Schareck  
 Prof. Dr. Dieter G. Weiss

**Titelbild:** Christina Augustin  
**Layout:** Hinstorff Media, Matthias Timm  
**Druck:** Stadtdruckerei Weidner GmbH  
**Auflage:** 3.000  
**ISSN-Nr.:** 1432-1513

Die Rechte der veröffentlichten Beiträge einschließlich der Abbildungen, soweit nicht anders gekennzeichnet, liegen bei der Universität Rostock. Copyright nur bei vorheriger Anfrage in der Redaktion und mit Angabe der Quelle.

**Der Roboter schweißt das, was er sieht 29**

Hohe Produktivität im Schiffbau durch die Anwendung modernster Technologien  
 Martin-Christoph Wanner

**AdaNav – Schiffsführung morgen? 31**

Bernhard Lampe, H. Korte, Kurowski und Wulff

**Über Luftströmungen in Räumen 35**

Mathias Paschen und Henning Knuths

**Offshore-Windparks in der Ostsee 38**

Strömungstechnische Auswirkungen auf das Ökosystem  
 Peter Menzel, Alfred Leder und Hans Burchard

**Wasserkraftanlagen zur Nutzung von geringen Fallhöhen 41**

Klaus Brökel, Mathias Paschen und Peter Fröhle

**Neue Herausforderungen durch wachsenden Ostseeverkehr 43**

Karl-Heinz Breitzmann

**Qualität im maritimen Tourismus 45**

Analysen zur Qualitätswahrnehmung am Beispiel des Kreuzfahrttourismus  
 Martin Benkenstein und Bettina Holtz

**Vom Acker in die Ostsee 48**

Landwirtschaftliche Stoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer  
 Bernd Lennartz, Petra Kahle und Bärbel Tiemeyer

**NACHHALTIGE ENTWICKLUNG UND MANAGEMENT**

**Nachhaltige Nutzung der Meereszonen – geht das? 51**

Das Beispiel der Seefischerei  
 Detlef Czybulka

**Auf dem Weg zur „Modellregion“? 56**

Politik und politische Systeme im Ostseeraum  
 Nikolaus Werz

**Zukunft gestalten 58**

Klöster als Orte der Kulturentwicklung im Ostseeraum  
 Heinrich Holze

# „Eiskalt erwischt...“

## Leben und Lebensleistung von Mikroalgen in der Arktis

Jana Wölfel und Ulf Karsten



Der arktische Kongsfjorden auf Spitzbergen, kurz nach Aufbruch des Meereises (Abb. 1)  
Foto: Ulf Karsten

**D**as Nordpolarmeer macht dem Namen „Eismeer“ alle Ehre (Abb. 1). Vom Herbst bis zum Frühjahr ist dieses Gebiet von einer sich über mehrere Millionen Quadratkilometer ausdehnenden und viele Meter dicken Packeisschicht bedeckt. Im Laufe von Frühjahr und Sommer kommt es durch Abtauprozesse zu einer starken Abnahme dieser Fläche. Das polare Eisschild der Arktis beeinflusst den Wärme- und Energieaustausch zwischen den kalten Luftmassen und den wärmeren Meeresströmungen und hat somit eine fundamentale Bedeutung für das Klimageschehen auf der Erde.

Dieses fein ausbalancierte Gleichgewicht zwischen der Atmosphäre und dem Ozean hat durch die Erderwärmung der letzten Jahre und dem daraus resultierenden massiven Rückgang der Packeisflächen eine deutliche Störung erfahren. Die Konsequenzen sind vielfältig und umfassen unter anderem einen

zunehmenden Verlust des Lebensraumes Eis und seiner spezifisch angepassten Organismen. Aber auch eine Abnahme von Permafrostböden sowie eine verstärkte Küstenerosion und Süßwasserbelastung werden in der Arktis beobachtet.

Gerade ökologische Studien in den hohen Breiten sind deshalb von übergeordneter Bedeutung, da diese biologischen Systeme aufgrund der vorherrschenden Extrembedingungen besonders empfindlich auf Veränderungen ihrer Umwelt reagieren. Dabei stellen die Lebensgemeinschaften und deren Lebensleistungen die wichtigsten Indikatoren für Global-Change-Szenarien dar.

Zum besseren Verständnis des marinen Ökosystems der Arktis sind vor allem Kenntnisse des Stoff- und Energieflusses von den Primärproduzenten zu den Konsumenten über die Nahrungsnetze von grundlegender Bedeutung. In der Arktis tragen verschie-

dene niedrigere Pflanzengruppen zur aquatischen Primärproduktion bei. Von dieser Produktion profitieren sowohl Tiere der Wassersäule als auch Tiere am Meeresboden.

Während in der freien Wassersäule einzellige pelagische Formen des Phytoplanktons dominieren, wachsen auf untermeerischen Böden benthische Formen des Mikrophytobenthos. Vertreter der ersten Gruppe schweben immer in der Wassersäule. Benthische Formen hingegen leben festgeheftet auf dem Gewässerboden oder als Aufwuchs von aquatischen Pflanzen und Tieren, meist in Form von Biofilmen.

Mikrophytobenthische Lebensgemeinschaften werden meist von Kieselalgen dominiert, auch Diatomeen genannt. Trotz ihrer mikroskopisch kleinen Größe zählen diese Organismen zu den ökologisch wichtigsten Pflanzengruppen der Erde, da sie in fast allen Gewässern der Erde die Mikroalgenflora dominieren. Diatomeen tragen zu etwa 25 Prozent zur globalen Primärproduktion bei, d. h. jedes vierte von Pflanzen freigesetzte Sauerstoffmolekül für die menschliche Atmung stammt von diesen Mikroalgen. Neben der elementaren Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf bilden diese „Minipflänzchen“ im Flachwasserbereich der Küsten großflächige, photosynthetisch aktive Biofilme, d. h. dünne hoch produktive Häutchen auf der Oberfläche von Sedimenten. So werden beispielsweise die Nahrungsbeziehungen im Wattengebiet der Nordsee vor allem durch Diatomeen gesteuert.

Neben der produktionsbiologischen Bedeutung des Mikrophytobenthos tragen diese Biofilme auch maßgeblich zur Stabilisierung der Sedimentflächen bei, indem sie sogenannte EPS („extracellular polymeric substances“) exkretieren und auf diese Weise Sedimentpartikel verkleben. EPS sind klebrige Kohlenhydrate und Proteine. Dadurch werden physiko-chemische Gradienten (z. B. Nährstoffe) und Austauschprozesse der Sediment-Wasser-Grenzschicht nachhaltig beeinflusst.

Trotz ihrer wissenschaftlich gut untersuchten großen ökologischen Bedeutung für Küstengewässer existieren kaum Informationen über das Mikrophytobenthos der Polarregionen. Dies hatte in der Vergangenheit sicherlich vor allem logistische Gründe. Trotz der schweren Zugänglichkeit der Arktis ist dank moderner Technik und Ausrüstung sowie der Einrichtung von Dauer-

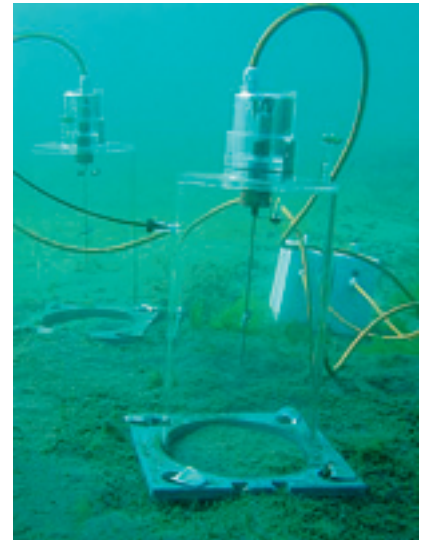
messstationen, z. B. auf Spitzbergen, in den letzten Jahren auch dieser Lebensraum von Forschern unterschiedlichster Arbeitsrichtungen intensiv untersucht worden.

Im Rahmen eines durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierten Drittmittelprojektes wurde in Kooperation mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (Bremerhaven) erstmalig die Produktionsbiologie und Leistungsfähigkeit Diatomeen-dominiertes mikrophytobenthischer Biofilme im Kongsfjorden auf Spitzbergen untersucht. Dieser Fjord dient seit den letzten beiden Jahrzehnten als ein gut zugängliches, repräsentatives Modellökosystem für die Arktis und wurde deshalb von Wissenschaftlern verschiedener Nationen intensiv physikalisch, chemisch, glaziologisch, geologisch und biologisch untersucht. Trotz der vielen verfügbaren Daten zeigen sich aber auch für den Kongsfjorden nach wie vor grundsätzliche Wissenslücken zur Produktionsbiologie benthischer Kieselalgen sowie zum Kohlenstofffluss zwi-

schen und innerhalb verschiedener Trophiestufen.

Deshalb wurden in den letzten Jahren Expeditionen von Rostock nach Spitzbergen unternommen, um an ausgesuchten Stationen im Kongsfjorden erstmalig Freiland- und Taucharbeiten zur quantitativen und qualitativen Erfassung des Mikrophytobenthos für eine flächendeckende Abschätzung der Biomasse („Standing Stock“) durchzuführen. Dieser Projektteil wurde mittlerweile abgeschlossen. Anhand der bisherigen Daten können erstaunlich hohe Mikrophytobenthos-Biomassen an allen untersuchten Stationen nachgewiesen werden.

Es deutet sich eine Tendenz der Biomasse-Zunahme zum Inneren des Kongsfjordes an, wahrscheinlich aufgrund des Sediment- und höheren Nährstoffeintrags durch vier angrenzende Gletscher. Weiterhin konnten selbst in 30 Meter Wassertiefe noch relativ hohe Biomasse-Gehalte ermittelt und viele lebende Diatomeen gezählt werden. Diese Informationen allein deuten schon auf die außerordentlich große Bedeutung des



Benthische Kammer für in-situ-Messungen der Primärproduktion von Kieselalgen auf dem Meeresgrund in fünf Metern Tiefe (Abb. 2) Foto: Michael Bartz

Mikrophytobenthos für die wenig verstandenen Nahrungsbeziehungen in Kongsfjorden hin.

Eine weitere Zielstellung des Projektes war, die produktionsbiologische Leis-



for a living planet®

## Es wird eng

Retten Sie seine Heimat:  
3 Euro für das Klima.

wwf.de



### Werden Sie Teil des WWF-Rettungsplans!

Schon mit 3 Euro im Monat spenden Sie für das Klima und für den bedrohten Lebensraum der Eisbären! Helfen Sie mit: Unterstützen Sie den WWF.

Einfach anrufen: **069/79 144-111**

Einfach klicken: **wwf.de**

Einmalig spenden:

Einfach SMS senden: **81190** (Stichwort: „Klima“)

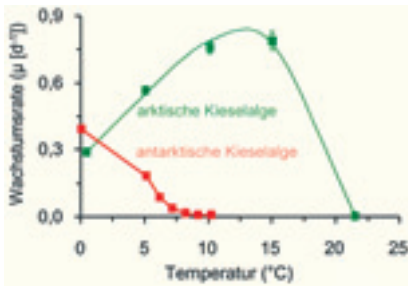
Eine SMS kostet 2,99 €\*, davon gehen 2,82 € direkt an den WWF. Kein Abol.\* zzgl. Kosten einer SMS

### Ja, ich spende für das Klima!

Bitte senden Sie mir kostenlos und unverbindlich mehr Informationen, wie ich den Lebensraum der Eisbären vor dem Klimawandel schützen kann.

Name, Vorname:  Straße/Nummer:

PLZ/Ort:  Telefon:  Y1204



arktische Kieselalge: eigene Ergebnisse; antarktische Kieselalge: Longhi et al. 2003 (Abb. 3)

tungsfähigkeit der Sediment-Diatomeen unter natürlichen Bedingungen im Fjord zu ermitteln. Zur Durchführung sogenannter Primärproduktionsmessungen wurden durch Taucher käseglockenähnliche Kammern auf dem Sediment verankert. In jeder Kammer wurde die Sauerstoffzunahme über die Zeit aufgrund der Photosynthese der Mikroalgen auf dem Sediment verfolgt. In Kooperation von Kollegen der Universitäten Rostock und Göteborg konnte ein neuer Kammertyp für in-situ-Inkubationen unter kalten Wasserbedingungen entwickelt werden (Abb. 2).

Dieser zeichnet sich durch eine optische Online-Bestimmung der Sauerstoff-Konzentration über lange Lichtleiterkabel aus, wodurch Messungen von Bord eines Schiffes ermöglicht werden. Aus den produzierten Sauerstoffwerten pro Zeiteinheit kann die Menge an fixiertem Kohlenstoff und somit die Primärproduktion berechnet werden. Die bisherigen Daten sind noch nicht vollständig ausgewertet, deuten aber auf eine hohe produktionsbiologische Leistungsfähigkeit des Mikrophytobenthos im Kongsfjorden unter arktischen Bedingungen hin.

Neben den dargestellten Feldarbeiten wurden Kieselalgen aus Sedimenten des Kongsfjordes isoliert, gereinigt und als unialgale Lebkulturen im Labor der Angewandten Ökologie etabliert. Die Stammsammlung arktischer Diatomeen an der Universität Rostock umfasst gegenwärtig rund 40 verschiedene Arten. Dieses Material wird unter kontrollierten Bedingungen im Labor hinsichtlich der Licht- und Temperaturanpassung umfassend ökophysiologisch charakterisiert, um die Lebensleistungen dieser Mikroalgen in der Arktis zu verstehen. Dabei spielen auch biotechnologische Anwendungen, z. B. die Nutzung ölhaltiger Spezies, eine wichtige Rolle.

Die bisherigen Ergebnisse von Versuchen an häufig vorkommenden Kieselalgen-Arten auf Spitzbergen zeigen unvermutet breite Temperaturtoleranzen hinsichtlich des Wachstums im Vergleich zu sehr ähnlichen Isolatn aus der Antarktis. Arktische Diatomeen wachsen typischerweise zwischen null und knapp 20 Grad Celsius mit einem Optimum zwischen zehn und fünfzehn Grad Celsius (Abb. 3). Im Gegensatz dazu bevorzugen antarktische Vertreter einen sehr viel niedrigeren und engeren Temperaturbereich mit einem Optimum um die null Grad Celsius. Temperaturen oberhalb von sieben Grad führen bereits zu einem Absterben dieser Mikroalgen (Abb. 3).

Diese sehr offensichtlichen Unterschiede im Temperaturbedarf für das Wachstum nah verwandter Kieselalgen beider Polargebiete lassen sich über die deutlich kürzere Kaltwassergeschichte der Arktis erklären. Die Mikroalgen der Antarktis hatten etwa sechs- bis siebenmal mehr Zeit, sich an kalte Bedingungen anzupassen, als ihre Verwandten des Nordpolarmeeres. Weiterhin können arktische Kieselalgen bereits unter niedrigsten Strahlungsbedingungen wachsen, sind somit extremen Schwachlicht angepasst. Auch der polare Winter mit mehrmonatiger Dunkelheit wird ohne

Probleme überstanden. In dieser lichtarmen Zeit werden interne Reservestoffe und Zellbestandteile abgebaut, um einen Erhaltungsstoffwechsel zu unterstützen. Sobald wieder Licht zur Verfügung steht, werden zuvor reduzierte Strukturen regeneriert, um ein schnelles Wachstum zu garantieren. Die zugrunde liegenden physiologischen und zellbiologischen Mechanismen müssen aber noch im Detail erforscht werden.

Die bisher im Projekt erzielten Daten dokumentieren erstmalig für den Kongsfjorden ein nahezu flächendeckendes Vorkommen benthischer Kieselalgen auf Sedimenten bis 30 Meter Wassertiefe. Das neue optische Messsystem zur Bestimmung der Primärproduktion hat sich unter arktischen Feldbedingungen bewährt und wird gegenwärtig für ähnliche Fragestellungen in anderen Meeresgebieten weiterentwickelt. Die experimentell nachgewiesenen Anpassungsleistungen der arktischen Kieselalgen erklären deren Dominanz und Produktivität im Kongsfjorden.

Alle bisherigen Erfahrungen zeigen, dass experimentelle Arbeiten mit polaren Organismen ohne Probleme am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock durchgeführt werden können. ■

Die Autoren



Prof. Dr. Ulf Karsten

Studium der Biologie an der Universität Bremen; Promotion 1993; Habilitation 1998; seit 2000 Professor für Angewandte Ökologie an der Universität Rostock; zahlreiche meeresbiologische Expeditionen in tropische und polare Regionen; Lieblingsobjekte der Forschung sind die Algen

**Universität Rostock**  
 Institut für Biowissenschaften  
 Albert-Einstein-Str. 3  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-6090  
 E-Mail: ulf.karsten@uni-rostock.de



Dipl.-Biol. Jana Wölfel

Studium der Biologie an der Universität Rostock; seit Oktober 2005 Doktorandin in einem DFG Projekt zur Arktis; zwei Expeditionen nach Spitzbergen; wissenschaftliche Spezialisierung auf Kieselalgen

**Universität Rostock**  
 Institut für Biowissenschaften  
 Albert-Einstein-Str. 3  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-6095  
 E-Mail: jana.woelfel@uni-rostock.de



Der Meeresboden unserer Küstengewässer ist von zahlreichen Organismen besiedelt, von denen oberflächlich allerdings wenig zu sehen ist. Diese Lebewesen sind mehr als nur Fischfutter, denn sie haben wesentlichen Anteil an den für die Menschen wichtigen Abläufen im Ökosystem.

Im Grenzbereich zwischen Land und offenem Meer liegen oft flache Küstengewässer mit überwiegend weichen Meeresböden aus Schlack und Sand. Diese sind durch Flüsse und durch das Grundwasser eng mit dem oft dicht besiedelten und intensiv genutzten Land verbunden. Sie sind Transitgebiete für Transporte, beherbergen Häfen und Industrieansiedlungen, in ihnen wird gefischt und sie dienen der Erholung. Die vielfältige Nutzung der Küstenmeere steigt mit immer dichter werdender Besiedlung, und mit ihr die Beanspruchung des gewachsenen Zusammenspiels der Vorgänge in diesen Ökosystemen. Wir beschäftigen uns mit dem weichen Meeresboden und seinen Bewohnern in unserem Küstenmeer und wir versuchen, Eingriffe und deren Folgen mit unserer Einsicht in die Zusammenhänge im Ökosystem zu bewerten.

### Lebensraum Sediment

Die Mehrzahl der Organismen in weichen Meeresböden ist nicht sichtbar, sie sind klein oder im Sediment versteckt. In einem Kubikzentimeter Sediment leben etwa eine Milliarde Bakterien, die allein aufgrund ihrer Anzahl wesentlich am Abbau der verwertbaren organischen Substanzen im Boden beteiligt sind. Ihre Atmung führt dazu, dass schon wenige Millimeter unterhalb der Meeresbodenoberfläche der Sauerstoff verbraucht ist. Tiere mit bis zu 0,5 Millimetern Länge, sogenannte Meiofauna, die mit etwa 0,5 bis zwei Millionen pro Quadratmeter vertreten sind, suchen die Sedimentoberfläche auf, um Sauerstoff zu atmen. Einige größere Tiere, bis zu mehreren Tausend, wie Würmer, Muscheln und Seeigel, die im Sediment leben, sorgen selbst für eine „Belüftung“ ihrer Gänge. In der Tiefe finden sie Schutz vor Räubern oder zum Teil auch Nahrung. Bewohner der Sedimentoberfläche haben es da leichter: Oft ernähren sie sich durch Filtration von Nahrungspartikeln aus dem vorbeiströmenden

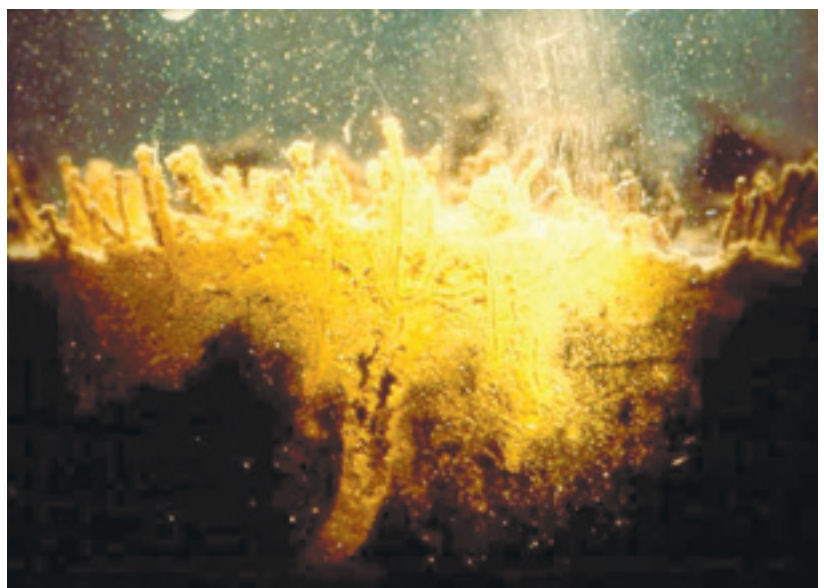
# Dienstleister am Meeresboden

## Tiere in Sedimenten des küstennahen Flachwassers

Gerhard Graf und Stefan Forster



Blick auf eine senkrecht aufgeschnittene Bodenprobe (links). Zwei Wurmrohren (*Pygospio elegans*) reichen etwa neun Zentimeter tief ins Sediment und einen Zentimeter über die Meeresbodenoberfläche hinaus (rechts). Am Ende des aus Sandkörnern zusammengeklebten Röhrchens sind zwei Palpen zu sehen, mit denen der Wurm Nahrungsteilchen aus dem Wasserstrom aufnimmt. Foto: Peine



Rasen aus Wurmrohren der Gattung *Polydora* mit je etwa zwei Millimeter Durchmesser, die senkrecht und horizontal durch den Boden verlaufen. Bei derart dichter Besiedlung gibt es praktisch keine Sedimentoberfläche mehr, stattdessen vermitteln die Würmer mit ihren Röhren den gesamten Austausch zwischen Sediment und darüber liegendem Wasser.

Wasser, die Versorgung mit Sauerstoff ist gut. Allerdings ist die Belastung der Organismen durch intensive Einwirkung von Wellen und Strömungen im Flachwasserökosystem groß und steigt mit abnehmender Wassertiefe.

Sowohl die Lebensäußerungen im Sediment als auch diejenigen an der Meeresbodenoberfläche haben deutlichen Einfluss an das Ökosystem. Das Graben, Sortieren und Belüften, das in kleinen Schritten und lokal erfolgt, fördert die Aktivität der Mikroorganismen und verbessert somit den Abbau und die Umwandlung von abgelagerten Stoffen. Diesbezüglich ähnelt es der Funktion der Würmer im Kompost, die eine Zersetzung beschleunigen. Totes organisches Material und die enthaltenen Nährstoffe werden dem Kreislauf der Elemente schnell wieder zur Verfügung gestellt, und sie ermöglichen neues Wachstum im darüber liegenden Wasser (Biogeochemie). Ein bedeutender Teil der schwebenden Nährstoffe kann durch filtrierende Organismen in eigene Körpermasse umgewandelt werden: Die Gewässer werden klarer und Eutrophierungseffekte gemindert (eine Forderung der gegenwärtigen Gesetzgebung in Form der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie, WRRL). Außerdem gestalten Tiere die Oberfläche des Meeresbodens, indem sie Türmchen, Hügel und Trichter bauen. Raue Oberflächen beeinflussen die Hydrographie, lokal wird die Ablagerung von Schwebstoffen gefördert oder auch deren Resuspension induziert. Die Gestaltung der Mikrotopographie durch Bodenbewohner kann auf größeren Raumskalen zur



Außer Muschelschalen und Algen sind auf dieser Sandwattfläche (etwa 60 mal 40 Zentimeter) nur Trichter und Kotschnüre des Wattwurmes *Arenicola marina* zu sehen. Hier leben etwa 100 Tiere pro Quadratmeter kopfüber bis 30 Zentimeter Tiefe im Sand. Foto: Wranik

Änderung der Geomorphologie des Meeresbodens führen (Biogeophysik). Praktisch alle Ablagerungsvorgänge, Transporte und Umwandlungen von Stoffen würden in einem unbelebten oder auch nur von Bakterien besiedelten Sediment langsamer oder anders ablaufen.

### Die Bedeutung für den Menschen

In Küstenmeeren werden die höchsten Primärproduktionsraten gemessen, da von Land und aus den Flachwassersedimenten von mikroskopisch kleinen Algen immer wieder wichtige Nährstof-

fe zur Verfügung gestellt werden. Viele Stoffe, die von Land hinzukommen, schädliche und ungefährliche, werden in die Zellsubstanz der Algen eingebaut oder durch Schleimbildung an deren Oberflächen eingefangen.

Diese Stoffe geraten nach dem Absterben und Sinken der Algenzellen überwiegend ins Sediment, das damit als Zwischenlager fungiert. Hier werden Stoffe deponiert, transformiert und dann zum Teil weitergeleitet. So werden viele Substanzen durch das benthische Ökosystem geleitet, bevor sie den Weg in die offene See antreten oder im Küstenmeer recycelt werden.

Ein Effekt der sich am Boden entwickelnden Biomasse ist beispielsweise, dass aus Überdüngung, aus der Atmosphäre und aus kommunalen Abwässern stammender Stickstoff zumindest zeitweise im Fleisch lebender Muscheln zwischengelagert wird. Werden diese Muscheln von tauchenden Meerestenten gefressen, dann wird auf diese Weise ein Teil des Stickstoffes aus dem Ökosystem entfernt. Gewichtiger ist der Prozess der Denitrifizierung, bei dem Bakterien gelöstes Stickstoffsalz in gasförmigen Stickstoff umwandeln. Dabei steigt die Rate, mit der denitrifiziert wird, mit der Menge und Komplexität der Röhren und Bauten, die Tiere im Sediment anlegen. Das Gas entweicht aus dem Wasser und ist ebenfalls der unmittelbaren Verwertung im biologischen Kreislauf entzogen. Aufgrund dieses glücklichen Umstandes wirkt



Probennahme an Bord des Forschungskutters GADUS. Stechrohre mit Sediment werden aus einem „Multicorer“ entnommen. Diese Proben mit 10 Zentimeter Durchmesser sind die typischen Einheiten, an denen der Stoffaustausch am Meeresboden untersucht wird. Foto: Peine

die Denitrifizierung als einziger natürlicher Prozess der Eutrophierung (Überdüngung) entgegen und entfernt beträchtliche Mengen des eingeleiteten Stickstoffs.

Denitrifizierung ist ein Beispiel für einen sogenannten „ecosystem service“, eine Funktion mit in diesem Fall positiver Wirkung, die die Gesellschaft unentgeltlich erhält. Fällt diese Funktion aus, dann wäre sie, wenn überhaupt, nur unter Einsatz erheblicher Finanzmittel zu ersetzen. Weitere solche „ecosystem services“ der Lebensgemeinschaft am Meeresboden sind: Die Vergrabung von Kohlenstoff (ein Prozess, der als Kohlenstoffdioxid-Abscheidung im industriellen Maßstab zur Minderung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen in Erwägung gezogen wird), die Minderung des Austrittes von Treibhausgasen, wie Methan und Lachgas, aus Sedimenten und die oben erwähnte Klärung des Wassers. Natürlich spielt das Flachwasser auch als Kinderstube mit Schutzmöglichkeiten für Jungfische und als guter Laichplatz eine Rolle für die Rekrutierung der Bestände.

Eine brennende Frage ist, inwiefern menschliche Aktivitäten das küstennahe Sedimentökosystem so verändern, dass vorhandene Funktionen nicht mehr oder nur noch teilweise ablaufen. Um dies abzuschätzen, beteiligen wir uns an Diskussionen in internationalen Expertenkreisen und initiieren Forschungsvorhaben. Bestimmte nach Korngrößen und geografischer Lage verschiedene Sedimente zeichnen sich durch deutlich unterschiedliche Organismengemeinschaften aus. Ein Ziel ist es, solchen Lebensgemeinschaften am Meeresboden bestimmte (biogeochemische) Ökosystemfunktionen zuzuordnen. Die Ostsee könnte sich in diesem Zusammenhang als ideales, da natürliches, Experimentierbecken erweisen. Aufgrund des von West nach Nordost abnehmenden Salzgehaltes leben immer weniger Tierarten am Boden der Ostsee. Die Diversität nimmt über weite Strecken ab. Mit immer weniger Organismen, die mit Strukturen im Sediment die Biogeochemie beeinflussen oder für die Umlagerung von Teilchen sorgen, könnten sich die Funktionen der Sedimentgemeinschaft von West nach Nordost deutlich ändern.

Das abgeschlossene Projekt „Dynamik natürlicher und anthropogener Sedimentation“ (DYNAS) des Bundes-

Die Autoren



**Prof. Dr. Gerhard Graf**

geboren 1950; Studium der Biologie und Chemie in Kiel, Promotion 1979 an der Universität Kiel; 1979 bis 1983 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zoologischen Institut, 1983 bis 1990 Assistent und Oberassistent am Institut für Meereskunde Kiel; 1991 bis 1996 C3-Professor für Marine Umweltgeologie, GEOMAR; seit 1996 Professor für Meeresbiologie an der Universität Rostock; Forschungsschwerpunkte: Benthosbiologie, benthisch-pelagische Kopplung, Wechselwirkung Tiere – Sediment

**Universität Rostock**

Institut für Biowissenschaften und Meeresbiologie  
 Albert-Einstein-Str. 3  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-6050  
 E-Mail: gerd.graf@uni-rostock.de  
 Internet: www.biologie.uni-rostock.de/meeresbiologie

ministeriums für Bildung und Forschung stand im Zusammenhang mit der Verklappung von unbelastetem Baggergut auf See. Hier wurden auf kleinerem Raum Prozesse der Ablagerung, des Transportes und der Verdriftung von Sedimenten unter Beteiligung mehrerer Fachdisziplinen und Fachbehörden untersucht. Die Gestaltung der Sedimentoberfläche durch Röhren, Hügel, Schalen und dergleichen beeinflusst die Strömung am Boden über Parameter wie die Rauigkeit. Artsspezifisch beeinflussen Tiere die Ablagerung von schwebendem Material auf dem Boden und ändern die kritische Strömungsgeschwindigkeit, die bei der Erosion des Meeresbodens einsetzt. Diese Eigenschaften der Sedimentoberfläche und ihre Erodierbarkeit im



**PD Dr. Stefan Forster**

geboren 1960; Studium der Biologie in Ulm und Kiel; Promotion 1991 an der Universität Kiel; post-doc am FZ GEOMAR in Kiel bis 1992, am Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen bis 1998; wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Ostseeforschung Warnemünde bis 2003; Habilitation an der Universität Rostock 2003; Gastprofessur an der Université de la Méditerranée in Marseille 2004; seit 2004 Mitarbeiter und Privatdozent in der Meeresbiologie des Instituts für Biowissenschaften; Forschungsschwerpunkte: Biogene Strukturen im Meeresboden und Stoffaustausch, Bioturbation, Grenzflächenströmung am Meeresboden, permeable Sedimente, Diversität und Funktion

**Universität Rostock**

Institut für Biowissenschaften und Meeresbiologie  
 Albert-Einstein-Str. 3  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-6053  
 E-Mail: stefan.forster@uni-rostock.de  
 Internet: www.biologie.uni-rostock.de/meeresbiologie

hydrodynamisch stark beeinflussten Flachwasser ändern sich beispielsweise nach der Verklappung zeitweise. Durch Neubesiedlung aus der Umgebung ist der ursprüngliche Zustand aber innerhalb weniger Jahre wieder hergestellt. Kontaminierte Altlasten hingegen können durch die Bodenfauna entweder vergraben oder erneut mobilisiert und somit im biologisch-chemischen Kreislauf des Gewässers gehalten werden. Diese dürfen dementsprechend in Deutschland auch nicht auf See verklappt werden.

Die Bewertung von Eingriffen und die Einschätzung von deren Folgen sind notwendig. Sie setzen Einsicht in und Wissen über die Zusammenhänge im Ökosystem voraus, auch am Boden des Meeres. ■

# Ein Einwanderer mit schlechtem Ruf

## Die Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi* in der Ostsee

Sandra Kube und Lutz Postel



Adulte Rippenqualle  
*Mnemiopsis leidyi*,  
Körperlänge sechs  
Zentimeter (Abb. 1)  
Foto: L. Postel

Die Verbreitung mariner Organismen durch den internationalen Seeverkehr ist von zunehmender Bedeutung für Veränderungen in der natürlichen Artenzusammensetzung der Tier- und Pflanzenwelt in küstennahen Meeresgebieten.

Unter den baltischen Meeresbiologen verbreitete sich im Herbst 2006 die Nachricht: Die westatlantische Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi* wurde in der Nord- und Ostsee von Tauchern entdeckt. Fast zeitgleich wurden Tiere dieser Art bei Helgoland, an der schwedischen Westküste, in der Kieler Bucht und in der Mecklenburger Bucht gesichtet. Mancherorts traten sie bereits in

beträchtlichen Dichten von bis zu 100 Individuen pro Kubikmeter auf. Vermutlich ist auch diese Tierart in Ballastwasser aus Tanks großer Frachtschiffe von Amerika nach Europa eingeschleppt worden (Abb. 1/Abb. 4).

Der Grund für die spontane Aufmerksamkeit, die dieser Rippenquallenart nicht nur von Meeresforschern sondern auch von Interessenvertretern der Fischerei kurz nach ihrer Entdeckung vor unserer Haustür entgegengebracht wurde, ist in der Einwanderungsgeschichte dieser Art vor rund 25 Jahren im Schwarzen Meer zu suchen. Dorthin gelangte *M. leidyi* vermutlich mit Ballastwasser zu Beginn der 80er Jahre

und trat etwa zehn Jahre später massenhaft auf (bis zu 300 Individuen pro Kubikmeter). Mit dem massiven Anstieg der Populationsdichte der Rippenqualle im Schwarzen Meer und ihrer weiteren Ausbreitung in die angrenzenden Meeresgebiete gingen eine drastische Reduktion der Zooplanktonbiomasse, Veränderungen der Artenvielfalt und ein Rückgang der ohnehin gefährdeten Sardellenbestände einher, sodass dort Ende der 80er Jahre die Fischerei zum Erliegen kam.

Erklärungen für diesen bemerkenswerten Einfluss von *M. leidyi* auf das Ökosystem des Freiwassers finden sich in der Biologie und Lebensweise der Art. So fragil diese bis zu zehn Zentimeter große Rippenqualle dem Beobachter auch erscheinen mag, sie zeichnet sich bezüglich ihrer Anpassungsfähigkeit an Umweltfaktoren und ihrer Rolle im pelagischen Nahrungsgefüge als äußerst robust und durchsetzungsfähig aus. In ihren natürlichen Verbreitungsgebieten, den Ästuaren der Ostküste Nord- und Südamerikas, toleriert *M. leidyi* Salzgehalte von zwei bis 38 PSU und Temperaturen von zwei bis 32 Grad Celsius, für die Fortpflanzung bedarf es allerdings mindestens zwölf Grad Celsius. Bei günstigen Temperatur- und Nahrungsbedingungen weist die Art ein enormes Reproduktionspotenzial von bis zu 3.000 Eiern pro Elterntier und Tag auf. Im Jahresverlauf zeigt *M. leidyi* in den nordamerikanischen Küstengewässern starke Populationsschwankungen. Die Dichte der Tiere ist dort für gewöhnlich die längste Zeit des Jahres extrem gering und steigt erst im Spätsommer für zwei bis drei Monate auf bis zu 300 Individuen pro Kubikmeter an, wenn die Wassertemperatur über 15 Grad Celsius beträgt und reichlich Nahrung vorhanden ist. Als räuberische Art, die sich von schwebenden Kleinkrebsen (Zooplankton) sowie Fischeiern und Fischlarven ernährt, konkurriert sie dann mit Zooplankton fressenden Fischen um die gleiche Nahrungsressource und kann außerdem auch den Fischnachwuchs durch Wegfraß direkt dezimieren.

Nach ihrer Entdeckung im Herbst 2006 war noch unklar, ob *M. leidyi* den Winter in der Ostsee überleben würde und sich im kommenden Sommer reproduzieren könnte. Regelmäßige Beprobungen in der Kieler Förde, vor Warnemünde und in der westlichen und zentralen Ostsee im Winter 2006/07 bewiesen: *M. leidyi* kann in der Ostsee



*Mnemiopsis leidyi*, Nachweise in der Ostsee zwischen Herbst 2006 und Herbst 2007 (Abb. 2)

überwintern. In geringer Anzahl (weniger als ein Individuum pro Kubikmeter), zurückgezogen in die tieferen Wasserschichten, wo Temperatur und Salzgehalt nicht die starken jahreszeitlichen Schwankungen des Flachwassers aufweisen, kann sie aufgrund ihrer Fähigkeit, geringe Sauerstoffkonzentrationen zu tolerieren und über längere Zeit mit geringen Nahrungsmengen auszukommen, überleben.

Im Sommer 2007 war *M. leidyi* dann allgegenwärtig an den Stränden der gesamten deutschen Ostseeküste anzutreffen. Strandbesucher konnten abends die faszinierende Fähigkeit der Biolumineszenz dieser Tiere beobachten. Die Dichte der Tiere stieg in der südwestlichen Ostsee im Spätsommer drastisch

an. In der Kieler Förde und vor Warnemünde waren Zahlen von mehr als 100 Individuen pro Kubikmeter zu verzeichnen. Bis zu 80 Prozent der Tiere waren in Jugendstadien, was auf die Reproduktion dieser Art in der Ostsee schließen lässt. Gleichzeitig wurde *M. leidyi*, nunmehr ein Jahr nach ihrem ersten Nachweis in der südwestlichen Ostsee, auch in der nördlichen Ostsee beobachtet. Im Bottnischen Meerbusen und im Golf von Finnland trat sie in Individuendichten von bis zu zehn Tieren pro Kubikmeter auf, wobei auch hier ein großer Anteil von Jugendstadien in der Population nachgewiesen wurde. Aktuelle Beobachtungen belegen, dass *M. leidyi* auch den Winter 2007/08 in der gesamten Ostsee überstanden hat.

Die bisherigen Befunde lassen darauf schließen, dass *M. leidyi* sich endgültig als fünfte Rippenquallenart in der Ostsee etabliert hat. Während die anderen vier Arten keine bedeutende Rolle im pelagischen Ökosystem der Ostsee spielen, ist die Bedeutung von *M. leidyi* in diesem neu besiedelten Habitat noch unklar.

Anfängliche Befürchtungen, die Rippenquallen könnten in der Ostsee unter den Herings- und Sprottenjungfischen räubern, können derzeit nicht bestätigt werden. Zur Laichzeit des Rügenschens Frühjahrsherings, dem derzeit wichtigsten Heringsbestand der südwestlichen Ostsee, im März/April, sind die Wassertemperaturen für die Massenvermehrung der Rippenquallen noch



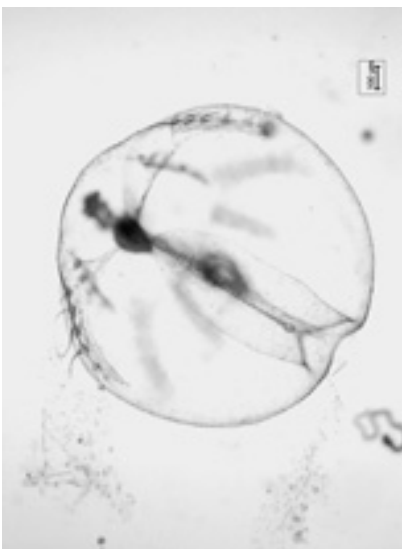
Adulte Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi* vor Nienhagen in 12 m Wassertiefe (Abb. 3)

Foto: G. Niedzwiedz

zu gering. Für die Dorsche des zentralen Ostseebestandes ist die Situation etwas brisanter. Ihr Hauptlaichgebiet ist das Bornholmbecken, die Hauptlaichzeit liegt in den Sommermonaten. Der für den Laich geeignete Wasserkörper beschränkt sich auf eine etwa 20 Meter mächtige Schicht in 50 bis 70

Metern Wassertiefe. Genau diese Wasserschicht bevorzugen auch die Rippenqualle. Derzeit ist die Anzahl von *M. leidyi* in der zentralen Ostsee noch zu gering, als dass ein signifikanter Einfluss auf den Fischlaich auftreten könnte. Das sensible Zusammenspiel zwischen der Populationsentwicklung der Rippenqualle, dem Fischlaich und den physikalischen Faktoren des Wassers ist allerdings noch wenig untersucht, um endgültige Schlussfolgerungen über das Gefährdungspotenzial zu ziehen.

Die Etablierung gebietsfremder Arten im Ergebnis der Intensivierung des globalen Seeverkehrs stellt zunehmend ein bedeutsames ökologisches Problem für küstennahe Meeresgebiete dar. Neben der ständigen Überwachung der Verbreitungsareale müssen grundlegende Fragen nach den physiologischen Mechanismen, der Anpassungsfähigkeit und den ökologischen Ansprüchen solcher Arten beantwortet werden. Basierend auf diesen Grundlagen werden Prognosen über das Ausbreitungspotenzial eingewandelter Arten entwickelt, Risikogebiete identifiziert, ökologische und ökonomische Einflüsse kalkuliert und Maßnahmen zur Prävention des Einschleppens erarbeitet.



Juveniles Stadium (Cydippe-Larve) der Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi*, Körperlänge 1 Millimeter (Abb. 4)

Foto: S. Kube

Die Autoren



Dr. rer. nat. Sandra Kube

1995 bis 1998 Doktorandin an der Universität Rostock über Parasit-Wirt-Beziehungen in marinen Ökosystemen; 1999 bis 2001 Universität Greifswald, Arbeitsschwerpunkte: Phylogenie und Stammbaumrekonstruktion; Promotion 2002; 2003 bis 2007 in internationalen und nationalen Forschungsprojekten zur Ökologie und Physiologie mariner Wirbelloser am Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Universität Rostock  
Department Maritime Systeme  
Albert-Einstein-Str. 3  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-6063  
E-Mail: sandra.kube@uni-rostock.de



Dr. rer. nat. Lutz Postel

Diplom; Promotion (Fach Meeresbiologie) und Lehrbeauftragter an der Universität Rostock; seit 1972 am IfM/Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Zooplanktonforschung vor Westafrika, in der Ost- und Nordsee; Themen: langfristige Änderungen in Artenvielfalt und Menge, Stoffwechselaktivität, Methodik, Bezug zur Ozeanographie und Fischereibiologie

Leibniz Institut für Ostseeforschung  
Warnemünde  
Seestraße 15  
18119 Rostock-Warnemünde  
Tel.: 0381/5197-206  
E-Mail: lutz.postel@io-warnemuende.de

Im Zuge steigender CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre und einer allenfalls schleppenden Abkehr von fossilen Brennstoffen als Energieträger gewinnt die Frage eines sinnvollen Umgangs mit dem Industrieabfall „CO<sub>2</sub>“ an Bedeutung. Die Abscheidung aus Kraftwerken und Deponierung in geologischen Formationen wird daher als wichtiger Pfeiler moderner CO<sub>2</sub>-Minderungsbestrebungen betrachtet (Bericht des Weltklimarats 2007). Neben den geologischen Formationen an Land erscheint eine Einlagerung im Meeresboden hierbei vielversprechend. Doch die Abschätzung der Folgen ist schwierig. Wechselwirkungen mit dem Sediment, Anpassung von Meeresbewohnern auf langen Zeitskalen und der Weg des Treibhausgases im Falle von Leckagen sind nur einige der Prozesse, die man im Vorfeld gerne verstehen möchte. Glücklicherweise hat die Natur an einigen wenigen Stellen des Meeresbodens ein natürliches Versuchsfeld geschaffen. Die Untersuchung von Austrittsstellen flüssigen CO<sub>2</sub>s in der Tiefsee, in über 1000 m Wassertiefe, kann wichtige Rückschlüsse darüber ermöglichen, wie das Ökosystem der Tiefsee auf die Einbringung von CO<sub>2</sub> im großen Maßstab reagieren würde. Hierzu diente die durch das BMBF geförderte Expedition 196 des deutschen Großforschungsschiffes SONNE im Okinawa-Trog, Teil des Südchinesischen Meeres zwischen Japan und Taiwan. Die Fahrt stellt das Herzstück des Verbundprojekts SUM-SUN (Studien zur marinen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung durch Untersuchung natürlicher hydrothormaler CO<sub>2</sub>-Austritte im nördlichen Westpazifik) dar.

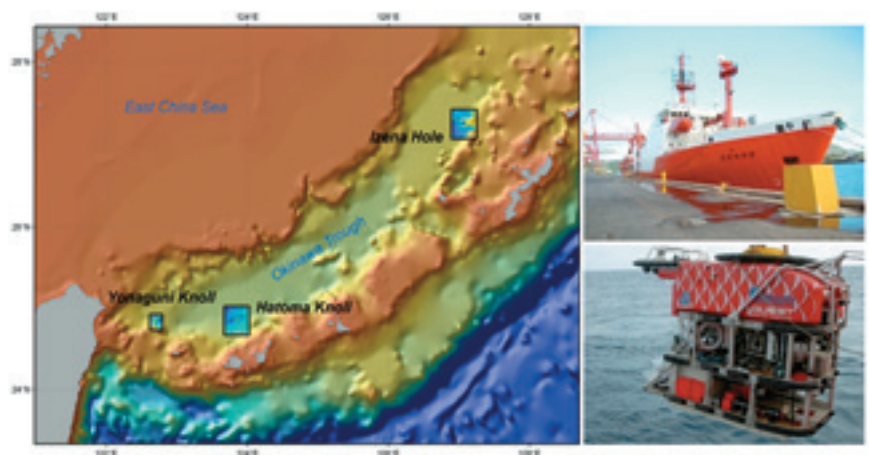
### CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Deponierung als CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie

Das Problem ist altbekannt: Bereits im Jahre 1860 befand John Tyndall, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre von Bedeutung für das Klima ist. Er spekulierte, dass der Gehalt an CO<sub>2</sub> eine wichtige Rolle beim Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten spielt. 1896 berechnete Svante Arrhenius auf Grundlage seines damaligen Wissens die Temperaturerwärmung, die eine Verdopplung des vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre mit sich bringen würde, 5–6° C. Visionäre Arbeiten zweier Nobelpreisträger. Arrhenius lag zwar mit seiner Prognose der Temperaturerhöhung nach

# Die Kohlendioxidaustritte im Okinawa-Graben

## Ein natürliches Labor für Untersuchungen zur marinen CO<sub>2</sub>-Deponierung

Gregor Rehder



Bathymetrische Karte des Okinawatrogs, Forschungsschiff SONNE an der Pier des Hafens von Guam und der wissenschaftliche Tauchroboter Quest des Bremer MARUM (Abb. 1)

Quelle: Karte, Steffen Gauger, Fielax; Bild Sonne, Gregor Rehder, IOW; Bild ROV, MARUM Bremen

derzeitigen Klimamodellen zu hoch, doch sein Szenario einer Verdopplung des vorindustriellen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Inventars (d. h. ~ 560 ppm) ist heute bereits als sehr optimistisches und ehrgeiziges Klimaziel zu sehen.

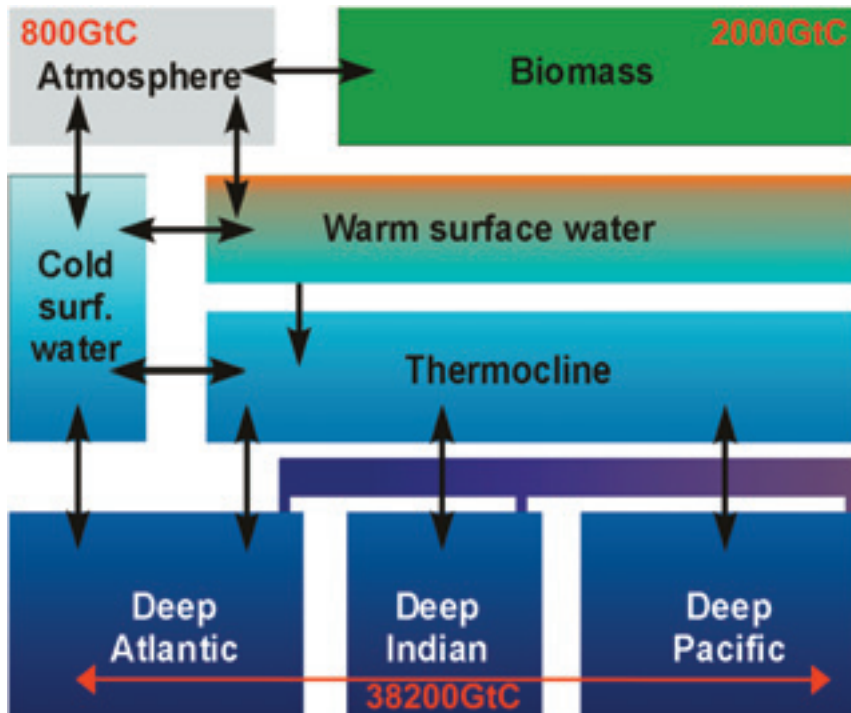
Etwa vierzig Prozent des seit Beginn der Industrialisierung produzierten CO<sub>2</sub>s hat mittlerweile über den Austausch mit dem Ozean seinen Weg ins Meer gefunden. Im Gleichgewicht wird die Aufnahme des karbonatgepufferten Ozeans bei etwa 90 % liegen, doch der Weg in den tiefen Ozean ist ein zeitliches Nadelöhr, bedingt durch eine Zeitskala der Tiefenwasserneubildung von 500 bis 1000 Jahren. Bei den möglichen Strategien für eine Minderung des Eintrags in die Atmosphäre durch Abscheiden aus Industrieabgasen und Lagern des CO<sub>2</sub>s (Carbon Capture and Storage – CCS) wurde daher neben diversen geologischen Formationen an Land vor allem die Möglichkeit der Lösung in den Tiefen des Ozeans dis-

kutiert (Spezialbericht des Weltklimarates zu CCS, 2005). Dies entspräche, wenn man so will, einer Beschleunigung der natürlichen CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch den Ozean, wenn auch das Verteilungsmuster zwischenzeitlich deutlich anders aussähe.

### Einlagerung in marine Sedimente

Doch in den letzten Jahren ist auch zunehmend die sogenannte Ozeanversauerung als Folge der menschlichen CO<sub>2</sub>-Produktion in das Bewusstsein der Forschung gerückt. Die Einlagerung in marine Sedimente weist daher gegenüber einer Lösung im Meerwasser – und auch gegenüber der Lagerung an Land – diverse Vorteile auf:

- Das mit CO<sub>2</sub> angereicherte Wasser wäre dichter als das umgebende Porenwasser und hätte daher die Tendenz, sich von der von der Oberfläche des Meeresbodens wegzubewegen.



Der Weg des menschengemachten Kohlendioxid – der Ozean als Großabnehmer (Abb. 2)  
Quelle: in Anlehnung an Siegenthaler und Sarmiento, 1993.

- In großen (> ~ 500 m) Wassertiefen bildet CO<sub>2</sub> mit Wasser eine feste, eisförmige Verbindung, das sogenannte CO<sub>2</sub>-Hydrat.
- Sedimente weisen einen hohen Anteil an Karbonaten und Tonmineralen auf. Beide Mineralgruppen können das CO<sub>2</sub> langfristig neutralisieren.

Im Falle einer Leckage würde immer noch der Ozean als Hemmschwelle zwischen Einlagerungsort und Atmosphäre fungieren.

Doch solche Szenarien und die auftretenden Reaktionen zu untersuchen oder gar die Auswirkung lokaler hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Tiefsee zu simulieren, ist ein schwieriges Unterfangen. Das Projekt SUMSUN soll daher

zeigen, ob die wenigen natürlichen Austrittsstellen flüssigen CO<sub>2</sub>s in der Tiefsee geeignet sind, um Rückschlüsse auf biologische, chemische und geologische Folgen zu ziehen.

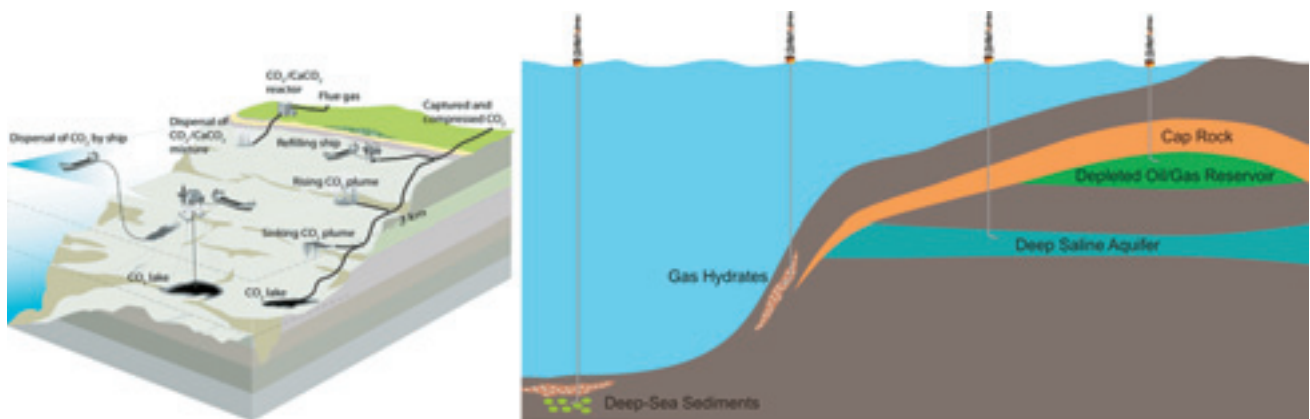
### Submarine CO<sub>2</sub>-Quellen – ein Sonderfall von Hydrothermalismus in der Tiefsee

Während heiße Quellen am Meeresboden seit Ende der 70er Jahre bekannt und ein weltweites Phänomen sind, sind Quellen flüssigen CO<sub>2</sub>s nur an sehr wenigen Orten bekannt. In allen Fällen handelt es sich um sogenannten Inselbogenvulkanismus. Eine erste solche Austrittsstelle war bereits 1989 im

Okinawatrog gefunden worden – auch damals mit FS SONNE, unter Leitung von Prof. Peter Halbach, einem Pionier der Deutschen Meeresforschung. Mehr als ein Jahrzehnt lang war das Gebiet aber aufgrund intensiver Fischerei für die Forschung nicht zugänglich. Seit Beginn des Jahrtausends sind nun noch weitere CO<sub>2</sub>-Austritte gefunden worden; dazu gesellte sich im Jahr 2004 am Marianenbogen in der Nähe der Insel Guam ein weiteres vulkanisches Meeressystem. Die Prozesse, die im Rahmen einer Trennung von Phasen im Meeresboden schließlich zur Bildung des im Wesentlichen CO<sub>2</sub>-enthaltenden Kondensats führen, sind ein wissenschaftliches Thema für sich – hier aber unmöglich mit abzuhandeln.

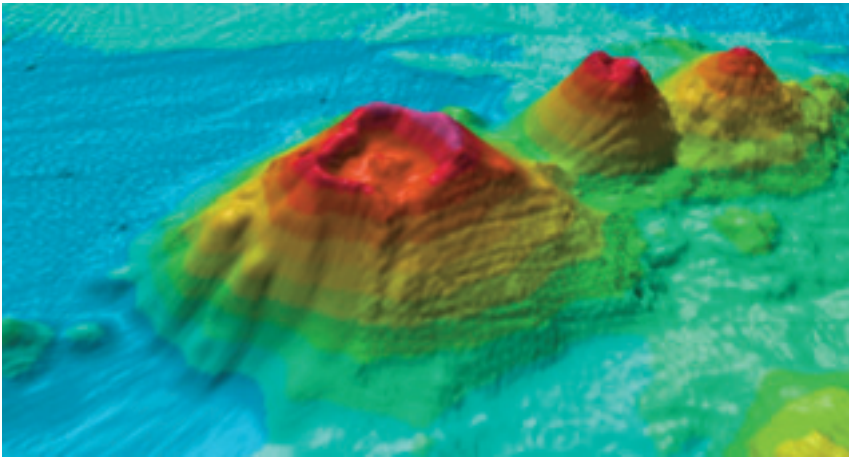
### Die Arbeitsgebiete

Die zwei im Rahmen der Expedition untersuchten Felder sind, trotz ihrer Lage in sehr ähnlichen Wassertiefen von 1500 bzw. 1600 m, stark unterschiedlich. Hatoma Knoll ist ein Vulkan mit einer Caldera, wie sie jedem Lehrbuch über Vulkanismus Ehre machen würde. Im Inneren der Caldera sind mehrere aktive Hydrothermalschlote, von denen einige neben heißen Lösungen auch flüssiges CO<sub>2</sub> absondern. Die nur wenigen sedimentbedeckten Gebiete weisen hingegen keine Aktivität auf. Die steilen Flanken der Caldera schließen die CO<sub>2</sub>-angereicherten Lösungen hierbei ein, ein Ausfluss erfolgt im Wesentlichen im Süden. Solche halbabgeschlossenen Systeme sind ideal für quantitative Untersuchungen. Yonaguni Knoll IV, in einer Art Schlucht gelegen, weist hingegen neben den aktiven Schloten auch Sedimente auf, die von CO<sub>2</sub>-haltigen Lösungen durchtränkt werden. Nur hier



Übersicht mariner Deponierungsstrategien nach IPCC 2005 (l.) und neu diskutierte Methoden der Einlagerung in den Sedimenten (r.) (Abb. 3)  
Quelle: Links, IPCC, 2005; Rechts, Matthias Häckel, IFM-GEOMAR





Ästhetik am Meeresboden: Die 3D-Struktur des Arbeitsgebietes Hatoma Knoll. Die Struktur ragt etwa 500 m aus dem Meeresboden heraus, der höchste Punkt liegt bei etwa 1450 m Wassertiefe (Abb. 4). Quelle: Jens Schneider von Deimling, IOW

können wir Fragen zur Wechselwirkung von CO<sub>2</sub> und Sediment klären.

## Beobachtungen

Die wohl auffälligste Beobachtung an den CO<sub>2</sub>-Austrittsstellen sind die dicht auftretenden biologischen Lebensgemeinschaften der Tiefsee, die wir von anderen Systemen kennen: Schlotkrabben, in Symbiose mit Schwefelbakterien lebende Muscheln und Krabben, vereinzelt auftretende Seespinnen, die eher als sekundär auftretende Fauna zu sehen sind und sich von den Muscheln ernähren. Diese Lebensformen deuten schon an, was die Analysen an Bord zeigen. Das austretende CO<sub>2</sub> enthält Beimischungen von Methan und Schwefelwasserstoff. Diese energiereichen Verbindungen sind es auch, die diese Oasen der Tiefsee am Leben halten. Dennoch ungewöhnlich ist die Toleranz der Großlebewesen gegenüber den hohen CO<sub>2</sub>-Drücken und dem niedrigen pH-Wert. Ein ganz anderes Bild zeigt sich bei den Sedimentbeobachtungen. Trotz der auch hier auftretenden erhöhten Methan- und Schwefelwasserstoffgehalte zeichnen sich die betroffenen Gebiete durch das fast vollständige Fehlen der Großlebewesen und sogar eine ungewöhnlich niedrige mikrobiologische Aktivität aus. Anscheinend entfaltet sich die Wirkung des CO<sub>2</sub>s im Porenraum in einer Weise, die auch die sonst sehr robusten spezialisierten Extremophilen an ihre Grenzen stoßen lässt.

Nicht nur für den Chemiker faszinierend sind die Phasenumwandlungen von flüssigem CO<sub>2</sub> und Wasser zu Hydrat, das sich an Überhängen ablagert, zu sty-

roporartigen Netzwerken zusammensintert oder von flüssigem CO<sub>2</sub> durchströmte Gänge bildet. Ein ideales Gebiet, um die selektive Anreicherung der einzelnen Gase in den unterschiedlichen Phasen zu untersuchen.

Erste Analysen der Zusammensetzung des Porenwassers stützen die Theorien. Erhöhte Gehalte an Kieselsäure und Alkalinität, einem Parameter zur Einschätzung des Kohlendäuresystems, scheinen die beschleunigte Verwitterung der Sedimente anzuzeigen –



Vergesellschaftungen von klassischen Bewohnern von Fluidaustritten der Tiefsee, die hier den hohen CO<sub>2</sub>-Austritten trotzen; hier gruppiert um einen Bereich, an dem flüssiges CO<sub>2</sub> austritt und in Kontakt mit Wasser Röhren, styporartige Ansammlungen und Röhren aus CO<sub>2</sub>-Hydrat formt (Abb. 5). Quelle: MARUM Bremen

und damit eine teilweise Neutralisierung der aus dem flüssigen CO<sub>2</sub> gebildeten Kohlensäure. Doch auch eine Änderung des Eisengehaltes an den durch das CO<sub>2</sub> beeinflussten Sedimenten lässt sich augenscheinlich ableiten. Die Mobilisation von Metallen – die praktisch immer eine starke Abhängigkeit von pH-Wert aufweist – ist eines der möglichen Kernprobleme bei der Einlagerung von CO<sub>2</sub> in Sedimente und Gesteinsformationen.

## Resümee – und ein Kommentar zur Sache

Die Untersuchung der natürlichen CO<sub>2</sub>-Austritte hat sich als wertvolle Möglichkeit der Abschätzung der Konsequenzen einer möglichen CO<sub>2</sub>-Deponierung erwiesen. Gerade langzeitige Auswirkungen auf Sediment und biologisches Umfeld sind hervorragend zu untersuchen. Allerdings muss beachtet werden, dass die Beimischungen anderer Gaskomponenten im vorgefundenen Maße sowie der gleichzeitige Wärmetransport im Szenario der gewollten Einlagerung von CO<sub>2</sub> in das Sediment nicht auftreten würden.

Übergeordnet bleibt die Frage, ob Abscheidung und Deponierung von CO<sub>2</sub> überhaupt in das Portfolio der

## Der Autor



## Prof. Dr. Gregor Rehder

Studium der Chemie an der Universität Bayreuth; Promotion über den Marinen Methankreislauf am Forschungszentrum GEOMAR in Kiel (Dissertation 1996); PostDoc; 2000 bis 2001 Tätigkeit am Monterey Bay Aquarium Research Institute in Kalifornien; 2002 Rückkehr als Akademischer Rat an das Zentrum für Meereswissenschaften IFM-GEOMAR in Kiel; seit 2006 Professor für Meereschemie am Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), lehrt an der Universität Rostock; sein Interesse gilt den marinen biogeochemischen Stoffkreisläufen, insbesondere der Spurengaschemie

## Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Sektion Meereschemie  
Seestr. 15  
18119 Rostock-Warnemünde  
Tel.: 0381/5197-301  
E-Mail: gregor.rehder@io-warnemuende.de  
Internet: www.io-warnemuende.de

Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung aufgenommen werden sollte – und das fern von der Frage der ökologischen Auswirkung, wie sie in diesem Projekt behandelt wird. Denn anders als praktisch alle anderen Maßnahmen der CO<sub>2</sub>-Minderung ist CCS mit einer Einbuße von etwa 30 % der Energieeffizienz verbunden, die im Wesentlichen durch die Abscheidung des CO<sub>2</sub>s bedingt ist. Es gilt also, zwei heilige Kühe moderner Umweltpolitik gegeneinander abzuwägen – Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission gegen effizienten Umgang mit den Ressourcen fossiler Energieträger.

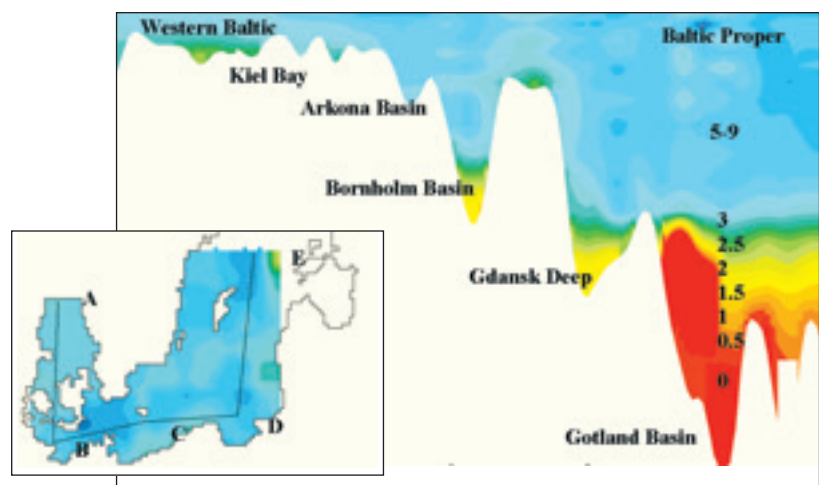
## Literatur:

- IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. IPCC 2005.
- IPCC Forth Assessment Report „Climate Change 2007“. IPCC 2007. ■

# Mikrobielles Leben in den lebensfeindlichen Tiefen der Ostsee

## Mikroorganismen als Katalysatoren wichtiger Stoffkreisläufe

Klaus Jürgens



West-Ost-Schnitt durch die Ostsee: Mittlere O<sub>2</sub>-Konzentrationen 1987-1990 (in ml/L) (Abb. 1).  
Quelle: Baltic Environmental Data Base (BED, Stockholm Univ.)

Die Tiefen der zentralen Ostsee werden in den Medien oft als sogenannte „Todeszonen“ bezeichnet, in denen jegliches Leben fehlt. Damit ist allerdings höheres Leben (Metazoen) gemeint, was dort aufgrund des Fehlens von Sauerstoff und der hohen Konzentrationen von Schwefelwasserstoff (Sulfid) tatsächlich weitgehend fehlt. Stattdessen wimmelt es von Mikroorganismen: Bakterien, Archebakterien und Einzeller (Protisten) bevölkern in hohen Konzentrationen diese Zonen. Insbesondere dort, wo sauerstoffhaltiges auf sauerstofffreies und sulfidisches Wasser trifft („Chemokline“), herrscht hohe mikrobielle Aktivität und die hier von Bakterien geleisteten Stoffumsetzungen spielen eine wichtige Rolle für die biogeochemischen Stoffkreisläufe der gesamten Ostsee. Dies ist ein aktuelles Forschungsgebiet der Arbeitsgruppe für Molekulare und Mikrobielle Ökologie am Leibniz-Institut für Ostseeforschung (IOW).

In der Ostsee schiebt sich das leichtere, aus den Zuflüssen kommende Wasser über das salzhaltigere, schwerere Wasser, das aus der Nordsee stammt. Eine Dichtesprungschicht, die Halokline, trennt beide Wassermassen voneinander und verhindert in den tieferen Becken eine effiziente Vermischung (z. B. durch Stürme). Da am Boden der Ostsee der Abbau von abgesunkenem organischen Material Sauerstoff verbraucht, die Nachlieferung von oben aber viel zu langsam verläuft, kommt es zur Aufzehrung von Sauerstoff (Anoxie) in den zentralen tiefen Bereichen, wie z. B. dem Gotlandbecken (ca. 250 m Tiefe) (Abb. 1). Der mikrobielle Abbau geht auch ohne Sauerstoff weiter, aber in diesem Fall wird Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) als Oxidationsmittel benutzt, und dabei entsteht der für die meisten höheren Organismen giftige Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S). Nur in unregelmäßigen Abständen (im Schnitt alle 10 Jahre) kommt es zu einer „Belüftung“

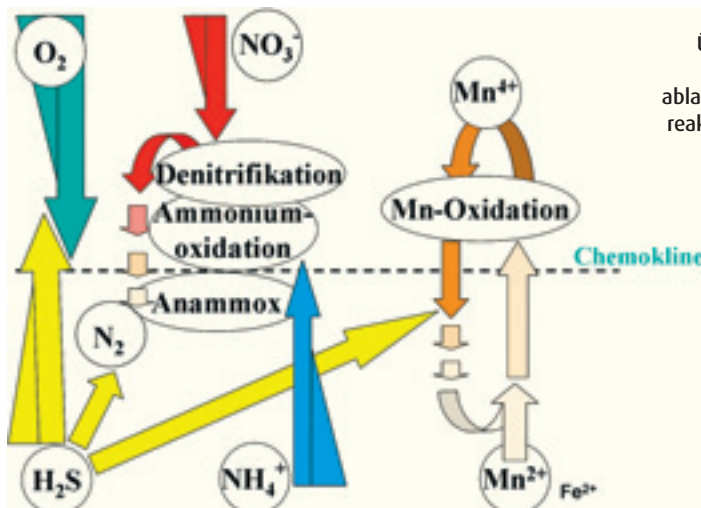
der zentralen Ostsee durch den Einstrom von sauerstoffhaltigem Nordseewasser. Anhand von Sedimentkernen lässt sich zeigen, dass der Wechsel von sauerstoffhaltigen und anoxischen Bedingungen schon immer in der Ostsee vorkam, also auch vor der Zeit der durch den Menschen verursachten Eutrophierung.

Die aus dem Stoffabbau am Meeresboden resultierenden reduzierten Substanzen, wie Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), aber auch Spurenmetalle ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), werden durch turbulente Diffusion nach oben transportiert und treffen dabei irgendwann auf sauerstoffhaltiges Wasser. In Tiefen zwischen etwa 100 und 150 m bildet sich daher eine Zone, wo oxidierte und reduzierte Substanzen starke chemische Gradienten bilden (Chemokline). Für angepasste Mikroorganismen bedeutet dies vielfältige Möglichkeiten der Energiegewinnung durch Redoxreaktionen (Abb. 2). Die dabei stattfindenden Stoffumsetzungen spielen für die Nährstoffkreisläufe der gesamten Ostsee eine wichtige Rolle. Zum Beispiel wird bei der Denitrifikation und der anaeroben Ammoniumoxidation („Anammox“) Luftstickstoff ( $\text{N}_2$ ) erzeugt, der aus dem System entweichen kann. Ähnlich wie bei den Hydrothermalquellen der Tiefsee kann die Oxidation von z. B. Schwefelwasserstoff von Bakterien für neue, chemoautotrophe Produktion ohne Licht und ohne direkten Abbau von organischem Material genutzt werden. Wie bei den grünen Pflanzen wird dabei die Energie zur  $\text{CO}_2$ -Fixierung benutzt. Dies war in der Frühzeit der Entwicklung mariner Ökosysteme der dominierende Prozess im Ozean.

Aktuelle Forschungen zielen darauf ab, die Struktur und Funktionsweise der

mikrobiellen Gemeinschaften in den verschiedenen Tiefenzonen der Ostsee aufzuklären. Im Fokus stehen derzeit die Prozesse um die Chemokline und die daran beteiligten Organismen. Aus der Sicht der mikrobiell-ökologischen Grundlagenforschung verspricht dies spannende Einblicke in eine bisher wenig bekannte Mikrobengemeinschaft mit potenziell neuen Stoffwechselwegen. Aufgrund der hier ablaufenden Stoffumsetzungen hat dies jedoch auch eine wichtige Bedeutung für Biogeochemie und Ökologie der zentralen Ostsee. Kenntnisse der dominierenden Organismen und ihrer Funktionen ermöglichen eine bessere Abschätzung der ökosystemaren Folgen von suboxischen und anoxischen Bedingungen in der Wassersäule. Die Ostsee fungiert hier auch als ein Modellsystem für derartige Bedingungen, welche aufgrund von Klimaerwärmung und Eutrophierung in Rand- und Küstemeeren weltweit zunehmen.

Mittlerweile steht ein großes Spektrum an molekularen Techniken zur Verfügung, um die Identität und Funktion auch von nichtkultivierbaren Mikroorganismen aufzuklären. Von besonderem Interesse sind die an der chemoautotrophen Produktion beteiligten Arten, welche derzeit in einem von der DFG geförderten Projekt (Leitung: Dr. Matthias Labrenz) untersucht werden. Es zeigte sich dabei, dass ein Großteil der Bakterien im Bereich der oxisch-anoxischen Grenzschicht chemoautotroph sind, das heißt ihren Kohlenstoff durch die  $\text{CO}_2$ -Fixierung gewinnen (Jost et al. 2008: Limnol. Oceanogr. 53: 14-22). Diese Produktion dient wiederum verschiedenen Einzellern (Flagellaten, Ciliaten) als Nahrung, welche daran angepasst sind, mit wenig oder ganz ohne Sauerstoff zu



Schematischer Überblick der an der Chemokline ablaufenden Redoxreaktionen (Abb. 2)

Quelle: F. Pollehne, modifiziert

### Burkina Faso

## Kampf gegen die Folgen des Klimawandels

Burkina Faso kämpft gegen zunehmende Trockenheit. Oft reicht der Regen nicht mehr, um das Land zu bewässern. Die Kinder sterben leise. Viele sind mangelernährt. Unser Projektpartner, das kirchliche Entwicklungsbüro ODE, hilft! Es baut Brunnen, sichert die Ernährung, kümmert sich um Gesundheitsvorsorge und fördert eine nachhaltige, Ertrag sichernde Landwirtschaft.

Mit Ihrer Unterstützung können Sie dazu beitragen, auch den Ärmsten das tägliche Brot zu sichern.

**Brot für die Welt**  
www.brot-fuer-die-welt.de

Postbank Köln  
Konto 500 500 500  
BLZ 370 100 50  
Kennwort:  
Gerechtigkeit

Deutsches Rotes Kreuz



HELFT WESTAFRIKA

Spendenkonto:

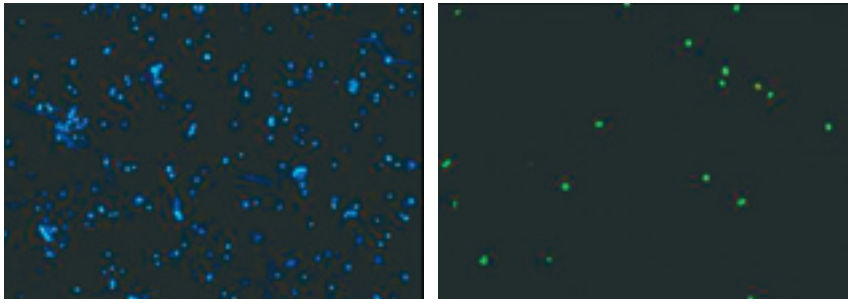
41 41 41

Bank für Sozialwirtschaft

BLZ: 370 205 00

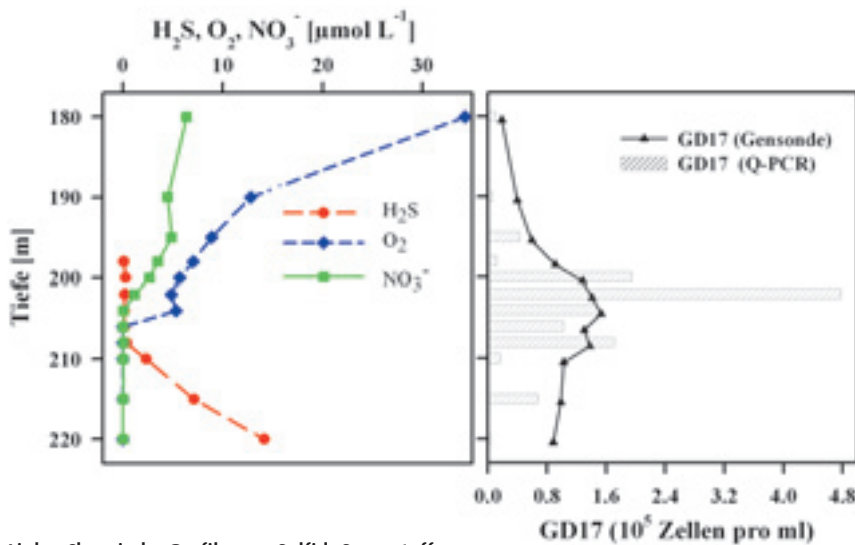
Kennwort: Westafrika

Infos: www.DRK.de



Links: Anfärbung aller Bakterien mittels eines DNA-Farbstoffs (DAPI); Rechts: Anfärbung von GD17 mittels fluoreszenzgekoppelter Gensonde (Abb. 3).

Foto: Jana Grote



Links: Chemische Profile von Sulfid, Sauerstoff und Nitrat über die Chemokline. Rechts: Tiefenverteilung von Sulfurimonas sp. GD17, erfasst mit zwei unterschiedlichen Methoden (Gensonden und quantitativer PCR) (Abb. 4).

Quelle: Modifiziert aus Grote et al. (2007), Appl. Environ. Microbiol. 73: 7155-7161

leben. Auch bei diesen Organismengruppen haben molekulare Techniken die DNA-Sequenzen vieler neuer Arten erbracht, welche bisher noch niemand zu Gesicht bekommen hat. Die Proben aus diesem Gebiet und die dazugehörigen Experimente sind Gegenstand regelmäßiger Forschungsfahrten des IOW in die zentrale Ostsee.

Durch die Kombination von RNA- und DNA-Fingerprints, Klonierung phylogenetischer Markergene (16S rRNA) und die Entwicklung spezifischer Gensonden (siehe Abb. 3) konnte bereits ein Bakterium identifiziert werden (*Sulfurimonas* sp. GD17, Epsilonproteobakterien), welches man zu Recht als „key player“ in der oxisch-anoxischen Grenzschicht bezeichnen kann. Dieses Bakterium ist u. a. für die chemoautotrophe Denitrifikation an der Chemokline verantwortlich, bei der die Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen mit der Reduktion von Nitrat gekoppelt ist. Die mittels Gensonden erfasste Tiefenverteilung zeigt ein deutliches Maximum

dieses Organismus an der Chemokline, wo GD17 bis zu 15 % der gesamten Bakterien ausmacht (Abb. 4).

Auch wenn unsere bisherigen Arbeiten bereits viele neue Einsichten in die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaften in den Tiefen der zentralen Ostsee erbracht haben, so bleiben wichtige offene Fragen, z. B. hinsichtlich der Mechanismen der Energiegewinnung. Eine Verbindung von Struktur und Funktion wird durch die Kombination molekularer Methoden mit Mikroautoradiographie (Grote et al. in press) oder „Stable Isotope Probing“ (Glaubitz et al. in press) erreicht. Vermehrt werden auch Methoden aus der Genomforschung eingesetzt, die derzeit in neuen Projekten am IOW etabliert werden. Aus der vollständigen Genomsequenzierung unseres isolierten Schlüsselorganismus GD17 (finanziert von der Gordon & Betty Moore Foundation, USA) erhoffen wir uns weitere Informationen über bisher unbekannte Wege der Energiegewinnung dieses Bakteriums, welches offensichtlich auch in

Der Autor



Prof. Dr. Klaus Jürgens

geboren 1960; Studium der Biologie in Konstanz; 1994 Promotion am MPI für Limnologie (Plön); 1994–1995 PostDoc Universität Kopenhagen und DMU Silkeborg; 1995–2002 Wissenschaftler am MPI für Limnologie; 2000 Habilitation; seit 1.1.2003 Professor für Biologische Meereskunde an der Universität Rostock und Sektionsleiter Biologie am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Sektion Biologische Meereskunde  
Seestr. 15  
18119 Rostock-Warnemünde  
Tel.: 0381/5197-250  
E-Mail: klaus.juergens@io-warnemuende.de  
Internet: www.io-warnemuende.de

sauerstoff- und nitratfreien Zonen hochaktiv ist. Die Analysen der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur an der Chemokline werden in Zukunft weiterentwickelt in Richtung Analyse der exprimierten Gene (Transkriptomik) und synthetisierter Proteine (Proteomik). Dies wird ermöglicht durch von der Leibniz-Gesellschaft (Projekt „REAL“) und dem BMBF (Projekt „MIMAS“) finanzierte Großprojekte, und in Kooperation mit Kollegen von der Universität Greifswald, dem MPI für Marine Mikrobiologie (Bremen), dem IFM-GEOMAR (Kiel) sowie dem IGB (Neuglobsow). In Zukunft sollte es damit möglich werden, spezifische mikrobiell gesteuerte Funktionen in diesen Wassertiefen zeitnah zu erfassen, was auch ein sehr viel genaueres Monitoring relevanter Ökosystemfunktionen ermöglichen würde.

An diesem Forschungsthema arbeiten am IOW derzeit die Wissenschaftler Dr. Matthias Labrenz und Dr. Günter Jost sowie die Doktorandinnen Jana Grote, Sabine Glaubitz und Janie Feike. ■

Die Schwierigkeiten bei der Abgrenzung eng verwandter Arten werden an zwei Beispielen dargestellt. Beim ersten Beispiel, der Armleuchteralge *Chara canescens*, liegt das Problem darin, dass ein Teil der Population zur Parthenogenese übergegangen ist. Das zweite Beispiel beschäftigt sich mit einem 3-Artenkomplex, der nur über eine seltene Marginalpopulation miteinander verbunden ist. In der Einführung wird neben einer Darstellung der horizontalen Artkonzepte auf die Bedeutung der Klassifizierung eingegangen.

### Von der Schwierigkeit des Ordens

Der Artbegriff ist ein fundamentales Element in den gesamten Biowissenschaften. Um die Fülle dessen, was wir unter „Leben“ verstehen, handhabbar zu machen, ist eine Klassifizierung notwendig. Dabei verwenden alle Naturwissenschaften „Artbegriffe“ – aus Sicht der Mathematik „Äquivalenzklassen“.

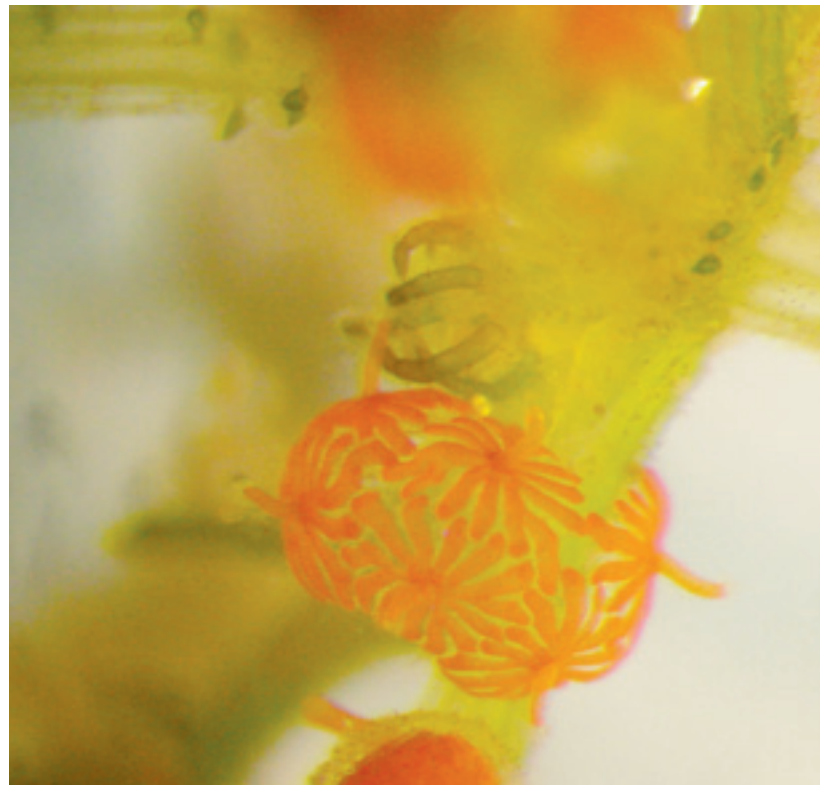
Äquivalenzklassen sind „Teilmengen einer Gesamtheit, deren Angehörige als gleichwertig gelten, die aber nicht vollkommen gleich sind“ (Mollenhauer 2007). Und hier liegt das Problem: Bei der Grenzziehung zwischen „noch gleich genug“ und „zu verschieden“, um in dieselbe Klasse eingeordnet zu werden.

In der Biologie ist eine nachvollziehbare Klassifizierung im Sinne einer Artdefinition in allen Teilbereichen, nicht nur in Systematik und Taxonomie, unumgänglich. Auch Physiologie, Molekularbiologie und selbst Biophysik benötigen eine eindeutige Zuordnung der Erkenntnisse zu einem bestimmten Objekt. Wobei dieses Objekt („Individuum“ Heiner oder Helga) als Teil einer größeren Einheit, für die es als Repräsentant ausgewählt wurde („Art“ Hund, Tomate oder Tabakmosaikvirus), identifiziert werden muss. Der wohl jedem aus der Schulzeit noch vage bekannte „biologische Artbegriff“, der als Hauptmerkmal die Fähigkeit zur Hervorbringung fortpflanzungsfähigen Nachwuchses in den Mittelpunkt stellt, ist dabei nur einer von mehreren „horizontalen“ Artkonzepten. Er versagt z. B. schon bei Löwe und Tiger, die durchaus fortpflanzungsfähigen Nachwuchs hervorbringen. In der Praxis wird dieses Konzept daher nur in Verbindung mit dem ökologischen Artbegriff, der die von der jeweiligen Art besetzte Nische als Hauptmerkmal beinhaltet, angewandt.

# Strohwitwen und vergessene Verwandte

## Der Artbegriff bei Protisten

Hendrik Schubert



Geöffnetes Antheridium (männliches Sporangium) einer österreichischen *Chara canescens* Foto: Hendrik Schubert

Der „Dritte im Bunde“ der horizontalen Artkonzepte ist das phenetische Konzept, das auf der Ähnlichkeit morphologischer Eigenschaften beruht. Beim diesem, die Botanik völlig dominierenden Konzept liegt die Schwierigkeit in der Beantwortung der Frage: Welche Merkmale sind „relevant“?

Also gibt es keine Lösung? Wohl keine, die das reine Dogma des einen oder des anderen Lagers zufriedenstellt. Aber Gould and Lewontin (1979) haben

die Ursache für Kompromissbereitschaft sehr schön beschrieben: „In natural history, all possible things happen sometimes; you generally do not support your favored phenomenon by declaring rivals impossible in theory. Rather, you acknowledge the rival but circumscribe its domain of action so narrowly that it cannot have any importance in the affairs of nature. Then, you often congratulate yourself for being such an undogmatic and ecumenical chap.“

Hier ist der Kompromiss das „pluralistische Artkonzept“. Dieses Konzept akzeptiert, dass jedes der eingangs erwähnten Konzepte irgendwo versagt; je nach Lage der Dinge kommt bei ihm mal das eine, mal das andere Konzept, dazu noch in wechselnden Kombinationen der verwendeten Merkmale, zur Anwendung. Inwieweit die dabei vorgenommenen „Anpassungen“ dann tatsächlich noch Kategorien im Sinne der einzelnen Artkonzepte widerspiegeln, war ein Problem, das am Lehrstuhl Ökologie untersucht wurde.

### Characeen – Bindeglied zwischen Algen und höheren Pflanzen

Armeleuchteralgen (Characeen) sind die nächsten Verwandten der heutigen Landpflanzen. Neben dem akademischen Interesse, das vor allem ihrer hochkomplexen Morphologie und einzigartigen Physiologie entgegengebracht wird (Braun et al. 2007), sind es vor allem die zahlreichen angewandten Aspekte, die diese Randgruppe immer wieder in den Mittelpunkt des Förderinteresses stellte.

Characeen spielen eine wichtige Rolle bei der Gewässergütebestimmung, bei

der Stabilisierung und Sanierung von Seen, bei der Detektion Erdöl-höffiger Schichten, ja selbst Bioremediationsanlagen zur Behandlung von Bergbauwässern bedienen sich dieser Organismen (siehe Abbildung 1). In all diesen Anwendungsgebieten ist eine sichere Ansprache der Art notwendig, nicht jede Characee ist z. B. ein Bioindikator, der „sauberes Wasser“ oder ein „gesundes Ökosystem“ anzeigt – selbst in den hypertrophen Bereichen der Darß-Zingster Boddenkette oder dem Rostocker Wallgraben sind Characeen zu finden. Zwei der dort vorkommenden Arten standen im Mittelpunkt dreier DFG-Projekte: Der „graue Armeleuchter“ *Chara canescens* sowie der „Ostseearmeleuchter“ *Chara baltica*.

### Chara canescens – Stroh-witwen am Ostseestrand

*Chara canescens* ist eine an der Ostseeküste recht häufig anzutreffende Pflanze, die, im Gegensatz zu den meisten anderen Characeen auch von Nicht-Spezialisten gut identifizierbar ist. Eigenartig an dieser Pflanze ist, dass in ganz Nordeuropa nur weibliche Exemplare zu finden sind. Trotzdem gibt es durchaus Männchen dieser Art, das wurde bei

der Sichtung von Herbarmaterial und alter Literatursteller schnell klar. Allerdings haben sich die Männchen offenbar nicht so weit nordwärts verbreitet, das gegenwärtig einzige Vorkommen von Männchen liegt in Südösterreich, nahe der ungarischen Grenze.

Natürlich stellt sich nun sofort die Frage nach dem Vermehrungsmodus und dies umso mehr, als vor Nordamerika Exemplare dieser Art auftauchten, die Zwitter darstellten. Die Untersuchungen ergaben, dass die weiblichen Populationen des Ostseeraumes sich parthenogenetisch fortpflanzen können, d. h. in der Lage sind, auch ohne Befruchtung entwicklungsfähige Sporen zu bilden. Die Nachkommenschaft besteht hier stets zu 100 Prozent aus Weibchen. Wo kommen nun die Männchen in Österreich her?

Die Untersuchungen vor Ort ergaben ein überraschendes Ergebnis: Die Population in Südösterreich besteht offenbar aus zwei eng miteinander verknüpften Teilpopulationen, aus einer Gruppe, die sich sexuell fortpflanzt und aus Weibchen und Männchen besteht, sowie einer zweiten Gruppe, welche die parthenogenetische Fortpflanzung beherrscht. Eine Analyse der Verwandtschaftsbeziehungen ergab, dass diese beiden Gruppen noch unmittelbar miteinander verknüpft sind, d. h. ein rezenter Übergang von sexueller zu parthenogenetischer Fortpflanzung beobachtbar ist.

Die weiteren Untersuchungen sollen nun zwei Richtungen verfolgen: Zum einen gilt es jetzt, die Mechanismen der Sexdifferenzierung aufzuklären, d. h. die Frage zu untersuchen, wie die Entwicklung der Antheridien und Oogonien (siehe Abbildung 2) gesteuert wird. Zum anderen soll diese einmalige Chance eines sympatrischen Vorkommens beider Reproduktionsmodi genutzt werden, um die populationsökologischen Konsequenzen des Übergangs von sexueller zu parthenogenetischer Fortpflanzung, über die gerade gegenwärtig viel diskutiert und gerätselt wird, an einem konkreten Beispiel zweier direkt vergleichbarer Populationen zu quantifizieren.

### Chara baltica – Frankreich gegen Schweden: Unentschieden

Wie der Name *Chara baltica* vermuten lässt, handelt es sich hier um eine Art, die vor allem in Schweden, Finnland

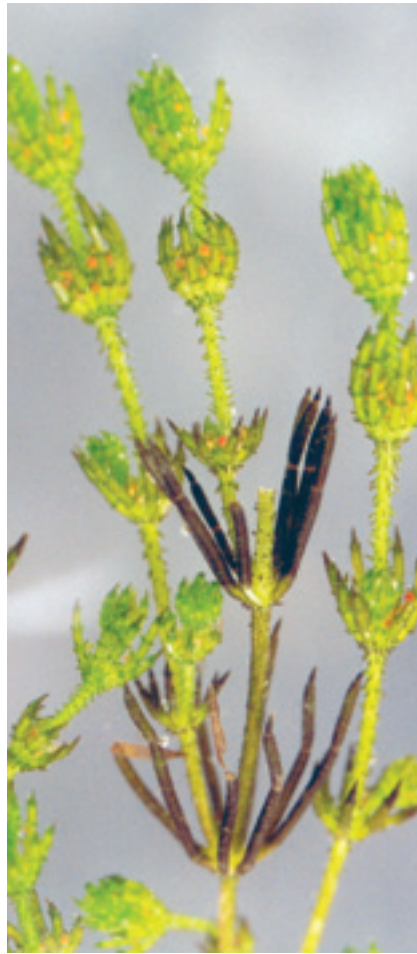


Bioremediationsanlage zur Behandlung schwach radioaktiver Bergbauabwässer. Hinter einem Belüftungsbecken (Vordergrund) und zwei Absetzbecken zur Abscheidung von Feststoffen (links Mitte und links oben) befinden sich mit Characeen bepflanzte Remediationsbecken (oben Mitte und rechts), in denen eine drastische Reduktion v. a. des Arsen- und Schwermetallgehaltes erfolgt (Abb. 1). Foto: Hendrik Schubert

sowie an der deutschen und dänischen Ostseeküste zu finden ist (Schubert & Blindow 2004). Auf internationalen Treffen kam es daher immer wieder zu Frotzeleien, wenn französische Kollegen behaupteten, diese Art ebenfalls angetroffen zu haben.

Bei einem Treffen 2001 auf neutralem Boden in den Alpen kam es dann erstmals zur Gegenüberstellung der Verdächtigen. Es stellte sich heraus, dass man zwar anhand des berühmten „Habitus“, also des äußeren Erscheinungsbildes, sofort unterscheiden konnte, welches Exemplar nun Franzose bzw. Schwede war – nur objektiv beschreibbar, in Zahlen oder Verhältnissen, war das nicht. Die „Franzosen“ waren einfach „irgendwie gröber, größer und kräftiger gebaut“ – kein anwendbares Merkmal bei Organismen, die ohnehin als millimetergroße *Prochara* beginnen und dann, je nach Wuchsort, zwischen zwei Zentimeter oder zwei Meter groß werden können. Auch das Studium der Erstbeschreibungen half hier nicht weiter. Eher im Gegenteil, das Problem uferte regelrecht aus – ein weiterer Kandidat, *Chara intermedia*, erschien auf der Bildfläche. Diese Art ließ sich morphologisch von *Chara baltica*, egal ob schwedisch oder französisch, einfach nicht abgrenzen. Dieses Problem fiel bloß bislang nie auf, weil in den Bestimmungsschlüsseln schon ganz früh nach dem Fundort gefragt wurde (salzhaltig oder Süßwasser) und Süßwasser war dann eben *C. intermedia*; bei Salzwasser landete man bei *C. baltica*. Damit könnte man notfalls leben, jedoch stammt die Erstbeschreibung von *C. intermedia* von einer Binnensalzstelle, wäre also nach heutigem Stand eine *C. baltica* – ein sehr verwirrender Familienstammbaum.

Hochspezialisierte Wissenschaftler sind es meist derart gewöhnt, immer recht zu haben, dass sie nur schwer zu Kompromissen bereit sind. Hier führte die Diskussion „meine/Deine/unser aller“ *C. baltica/C. intermedia/C. horrida* dazu, dass ein gemeinsames Forschungsprojekt beantragt wurde, in dem die Universitäten Montpellier, Greifswald und München gemeinsam mit Rostock der Frage nachgingen, inwieweit die Mittelmeer- und Ostsee-*C. baltica* miteinander bzw. mit *C. intermedia* verwandt sind. Das klingt noch fassbar, aber das eigentliche Hauptproblem war dabei: Verwandt nach welchen Kriterien?



„Dramatis personae“: *Chara baltica* (links) und *Chara canescens* (rechts) (Abb 2)

Fotos: Hendrik Schubert



In den Untersuchungen kam daher alles zur Anwendung: Greifswald befasste sich vor allem mit Kreuzungs- und Nachzuchtexperimenten, die dem biologischen Artkonzept zuzuordnen sind. Rostock war mit der Bestimmung physiologischer Leistungsparameter entsprechend des ökologischen Artkonzeptes beschäftigt, und in München fanden die Erfassungen morphometrischer Daten zum phenetischen Artkonzept statt.

Eine ganze Serie von Freilanduntersuchungen in Schweden, Frankreich und auf Hiddensee sowie die Analyse der Verwandtschaftsbeziehungen mittels molekulargenetischer Methoden vereinte die gesamte Forschergruppe. Nach zwei Jahren kam es erstmals zur „Zusammenschau“ der Daten. Man war begeistert, die morphologischen Daten ließen keinen Zweifel mehr daran, dass das phenetische Konzept hier nicht anwendbar war. Die Kreuzungsexperimente liefen zu dem Zeitpunkt noch. Es handelt sich bei allen drei Arten um Zwitter, sodass man stets

damit beschäftigt war, die zur Mutterschaft auserwählten Individuen der etwa 500 Experimentalpflanzen durch Kastration mit Lupe und Mikroschere im Zustand reinster Weiblichkeit zu erhalten. Und von diesen Weibchen war bereits erster Nachwuchs vorhanden – der Nachweis, dass keine prinzipielle Kreuzungsschranke vorhanden ist, war damit erbracht.

Unangenehm war nur, dass nicht jede Kombination Männchen/Weibchen fertil zu sein schien – damit blieb die Frage nach eine/zwei/drei Arten entsprechend biologischem Konzept doch vorerst noch offen. Die physiologischen Daten, die sehr gut mit den populationsgenetischen Daten übereinstimmten, ergaben drei gut getrennte Gruppen: Ostsee, Mittelmeer, Süßwasser. Damit wäre der nächste Schritt gewesen, eine Artbeschreibung für die französischen Verwandten von *C. baltica* zu verfassen und damit seinen Namen auf ewig in die Annalen der Phykologie einzutragen. Doch hatte

bayrische Sturheit vereint mit preußischer Gründlichkeit die Gruppe dazu gebracht, auch zahlreiche Material an Binnensalzstellen zu sammeln und zu bearbeiten – *C. intermedia* wurde ja zuerst von einer solchen Binnensalzstelle beschrieben. Und wird dieses Material in die Analyse mit einbezogen, ergibt sich ein überraschendes neues Bild (Abbildung 3) – jetzt sind die vorher getrennten Gruppen zu einem Kontinuum verbunden.

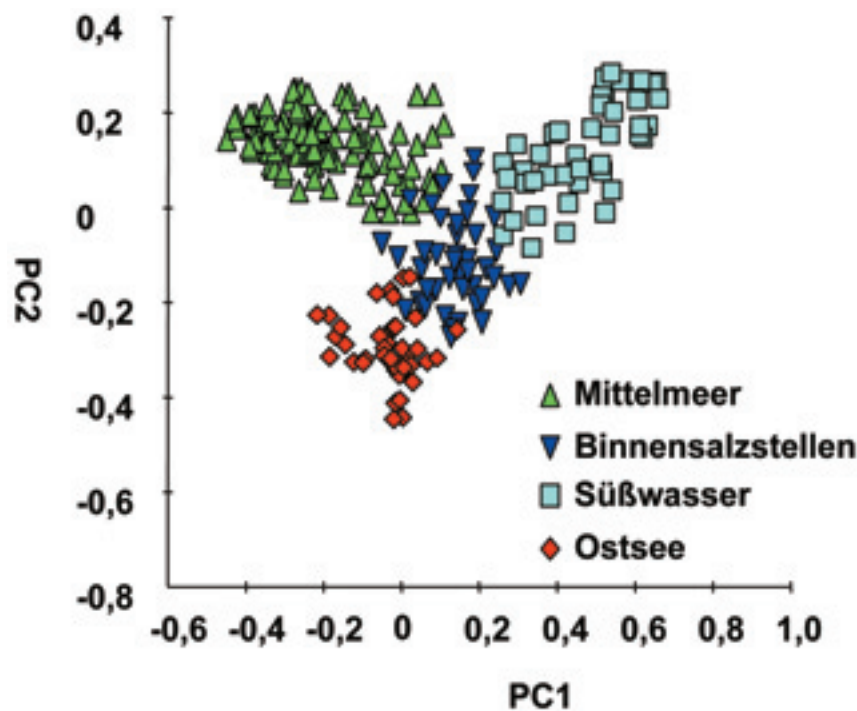
**Wie weiter?**

Nachdem dieses Muster gefunden wurde, war schnell ein Erklärungsansatz gefunden, der jetzt zur Überprüfung ansteht. Diese Hypothese nimmt an, dass der Artkomplex seinen Ursprung im Zechsteinmeer hatte, einem ausgedehnten epikontinentalem Gewässer, dessen Salzzusammensetzung weitgehend den heutigen Binnensalzstellen Mitteleuropas entspricht. Damit sind die Süßwasserpopulationen, genau wie die Mittelmeer- oder die Ostsee-Brackwasserpopulation, als Nachkommen dieser Ausgangspopulation anzusehen, deren Anpassungsvektoren jedoch in unterschiedliche Richtungen verlaufen.

Ohne das zentrale Bindeglied der Ausgangspopulation überschätzt man damit den evolutiven Abstand zwischen den Verwandten. Da Binnensalzstellen seltene Habitate darstellen, war die Chance, ein solches Marginalhabitat in die Analyse einzubeziehen, gering – letztlich war es nur dem traditionell intensiven Informationsaustausch innerhalb der botanischen Vereine zu verdanken, dass die Reste der *C. intermedia* Population des „locus classicus“, also des Erstbeschreibungsstandortes, überhaupt aufgefunden wurden.

Jetzt gilt es, diese Hypothese zur Abstammung durch Beprobung weiterer Binnensalzstellen zu überprüfen und den Kreis der in die Analyse einbezogenen Arten zu erweitern. Das Ziel ist dabei, Informationen zur diagnostischen Aussagekraft der gegenwärtig verwendeten (morphologischen) Bestimmungsmerkmale zu erhalten.

Ein zweitägiger weltweiter Spezialistenworkshop, der im Anhang an den 2008 in Rostock stattfindenden Weltkongress der Chara-Phykologen stattfindet, ist diesem Problemkreis gewidmet und soll die Entwicklung von Artbegriffskonzepten bei den Protoctista vorantreiben.



Multidimensional scaling (MDS) – Plot der physiologischen Parameter französischer (Mittelmeer) und baltischer (Ostsee) *Chara baltica* sowie *Chara intermedia* von Süßwasserstandorten („Süßwasser“) und Binnensalzstellen („Binnensalzstellen“). Je ähnlicher die Anpassungsleistung an Licht- und Salinitätsveränderungen ausfiel, desto dichter benachbart sind die Punkte in der obigen Darstellung. Die Proben der Binnensalzstellen verbinden die drei Cluster zu einem Kontinuum (Abb. 3).

**Der Autor**



**Prof. Hendrik Schubert**

1960 geboren; von 1982 bis 1987 Studium Marine Ökologie, nach Abitur an den Franckeschen Stiftungen zu Halle und Militärdienst; 1990 Promotion, danach Anstellung als wissenschaftlicher Assistent am FB Biologie Rostock und „post-Doktorat“ an der Universität van Amsterdam; 1996 Habilitation und *venia legendi* für Ökologie und Pflanzenphysiologie; die Erstberufung erfolgte 1998 auf die Professur für Pflanzenökologie in Greifswald; seit 2002 Inhaber des Lehrstuhles für Ökologie an der Universität Rostock; 2005 bis 2006 Präsident des German long-term ecological research network (LTER-D); seit 2007 Präsident der „Baltic Marine Biologists“ (BMB)

**Universität Rostock**

Institut für Biowissenschaften,  
Lehrstuhl Ökologie  
Albert-Einstein-Straße 3  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-6071  
E-Mail: hendrik.schubert@uni-rostock.de  
Internet: www.biologie.uni-rostock.de/oekologie/home.html

**Literatur:**

- Braun M., Foissner I., Lühring H., Schubert H. and Thiel G. (2007): Characean green algae: still a valid model system to examine fundamental principles in plants. *Progress in Botany* 68: 193-220.
- Gould S. J. and Lewontin R. C. (1979): The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. *Proceedings of the Royal Society of London B*, Vol. 205 (1161): 581-598.
- Mollenhauer D. (2007): Die Vielfalt: die Formen der Lebewesen – Morphologie und Systematik und ihre Geschichte. In: Höxtermann E. & Hilger H. (Hrsg.): *Lebenswissen. Natur & Text*, Rangsdorf, pp. 274-308.
- Schubert H. and Blindow I. (2004): *Charophytes of the Baltic Sea*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 325 pp.



Robben sind geschickte Jäger verschiedenster Beutfische. Doch welche Sinnesleistungen ermöglichen es diesem Meeressäuger, die schnellen Fische wahrzunehmen, über etliche Meter zu verfolgen und dann zielsicher zu fangen? Mit dieser Fragestellung begann die Arbeitsgruppe für sensorische und kognitive Ökologie unter der Leitung von Guido Dehnhardt vor einigen Jahren mit umfangreichen Untersuchungen zu den sensorischen Leistungen von Seehunden. Diese werden heute im Marine-Science-Center an der Universität Rostock (Hohe Düne) fortgesetzt.

Bei der Jagd der speziell trainierten Tiere auf ein ferngesteuertes Fischmodell stellte sich bald heraus, dass die Robben selbst unter Ausschluss ihres Hör-, Seh- und Riechvermögens problemlos die Beute wahrnehmen und verfolgen können. Erst bei einem erzwungenen Anlegen der Barthaare (Vibrissen, siehe Abbildung 1) bleibt die Jagd erfolglos. Die nachfolgenden Versuche zeigten dann eindeutig: Es ist die auf die Barthaare auftreffende Wirbelspur eines Beutfisches im Wasser, die es der Robbe ermöglicht, eine Verfolgung aufzunehmen (Abbildung 2). Nun sind die Barthaare der untersuchten Robbenart eine Besonderheit unter den Vibrissen. Nicht nur ist ihr Querschnitt oval, wie etwa auch bei einem Seelöwenbarthaar, sondern es zeigt sich auch eine Welligkeit in Längsrichtung, die dem Barthaar eine einmalige, ausgeprägte dreidimensionale Form gibt (Abbildung 3).

### Die Barthaare als Messsystem?

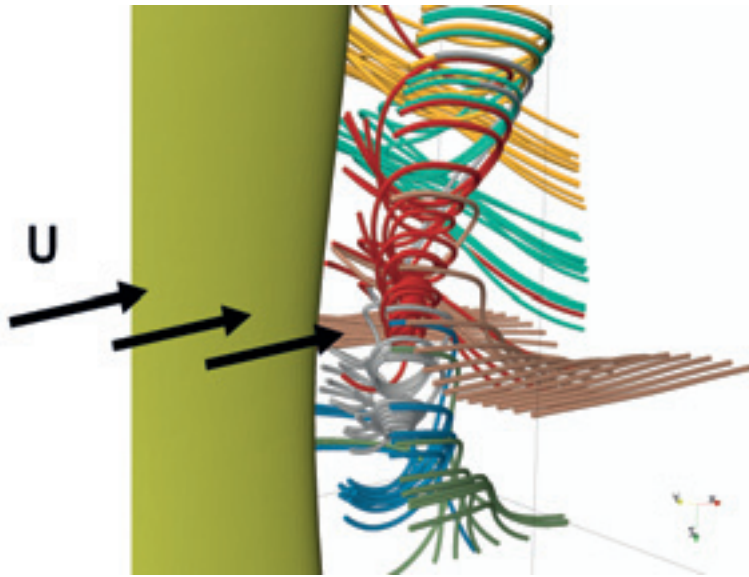
Doch wie gelingt es einer Robbe, die vergleichsweise schwache Wirbelstruktur trotz unzähliger Strömungen zu erkennen? Die Eigenbewegung der Robbe führt z. B. bei der Umströmung von zylindrischen Strukturen (wie denen eines Barthaares) selbst fortlaufend zur Generierung von Wirbeln. Die Antwort auf diese Frage liegt in der welligen Struktur der Haare begründet. Bedingt durch die dreidimensionale Form der Haare kommt es zu einer Unterdrückung der selbst erzeugten Wirbelstraße am Barthaar. Das Barthaar wird deshalb nur noch von den externen Wirbeln, beispielsweise denen aus dem Nachlauf des Beutfisches, ange-regt und ist so als Messsystem für externe Wirbel optimal ausgelegt.

# Die Barthaare der Robben vom biologischen zum technischen System

Martin Brede, Guido Dehnhardt, Alfred Leder, Lars Miersch und Matthias Witte



Die Barthaare (Vibrissen) sind das wichtigste Sinnesorgan der Robbe für den Beutefang (Abb. 1). Foto: G. Dehnhardt

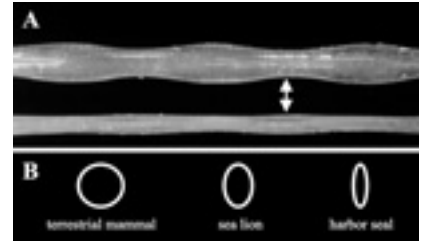


Die Strömung hinter einem vorbeischwimmenden Fisch zeigt eine komplizierte Wirbelstruktur (blau), die mehrere Minuten bestehen bleibt (Abb. 2).

Die experimentellen und numerischen Strömungsanalysen an den Barthaaren erfolgen im Strömungstechniklabor der Universität Rostock im Rahmen eines gemeinsamen DFG-Projekts im Schwerpunktprogramm 1207 „Strömungsbeeinflussung in Natur und Technik“. Hier steht mit der speziell konzipierten Stereo- $\mu$ PIV (particle image velocimetry) Anlage eine berührungsfreie optische Messtechnik zur Ermittlung mikroskopischer Geschwindigkeitsfelder zur Verfügung (Abbildung 4). Ein Alleinstellungsmerkmal dieses Aufbaus ist die Möglichkeit, alle drei Kom-

ponenten des Geschwindigkeitsvektors als Vektorfeld mit mehr als 1.000 Messpunkten auf einer Fläche bis hinunter zu einem Quadratmillimeter präzise zu messen.

Ziel ist es, nicht nur die Strömungsvorgänge an einer Robbenvibrisse zu analysieren, sondern auch, den Wirkungsmechanismus der Wirbelunterdrückung auf strömungsmechanische Anwendungen zu übertragen. Immerhin gelingt es der Robbenvibrisse nach langem evolutionärem Optimierungsprozess, die störenden dynamischen Kräfte einer selbst erzeugten Wirbelstraße

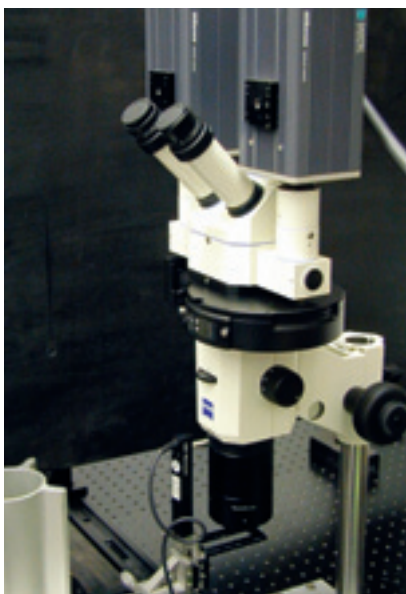


Das Barthaar des Seehundes aus der Familie der Hundсроbбen hat eine wellige Längsstruktur (A) und einen ovalen Querschnitt, im Gegensatz zum Barthaar von Landsäuгern oder Seelöwen (B) (Abb 3).  
Foto: G. Dehnhardt

wirkungsvoll zu eliminieren. Damit wird die dreidimensionale Vibrissenstruktur hochinteressant für maritime Anwendungen, bei denen dynamische Lasten aus der Umströmung ein entscheidender Konstruktionsparameter sind.

Erste Ergebnisse aus einer Kraftmessung an einer umströmten Robbenvibrisse, die am Marine-Science-Center durchgeführt wurden, zeigen grundsätzlich die Wirksamkeit der dreidimensionalen Struktur der Vibrisse. Im Vergleich mit unstrukturierten Barthaaren von Seelöwen oder Landsäugetieren sind die dynamischen Kräfte aus der selbst erzeugten Wirbelstraße an der Vibrisse im Schleppversuch erheblich reduziert.

Mithilfe der Stereo- $\mu$ PIV Messung im Strömungsmechaniklabor können nun das Geschwindigkeitsfeld und die Turbulenzeigenschaften des Nachlaufgebiets hinter einer Robbenvibrisse experimentell bestimmt werden. Da mit dem PIV-



Das Stereo- $\mu$ PIV System des Lehrstuhls Strömungsmechanik zur Untersuchung dreidimensionaler Mikroströmungen (Abb. 4)

Die Autoren



Dr. rer. nat. Martin Brede

geboren 1966 in Münster; Physikstudium an der Universität Göttingen, Promotion am Max-Planck Institut für Strömungsforschung in Göttingen; seit 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Strömungsmechanik an der Universität Rostock

Universität Rostock  
E-Mail: martin.brede@uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Guido Dehnhardt

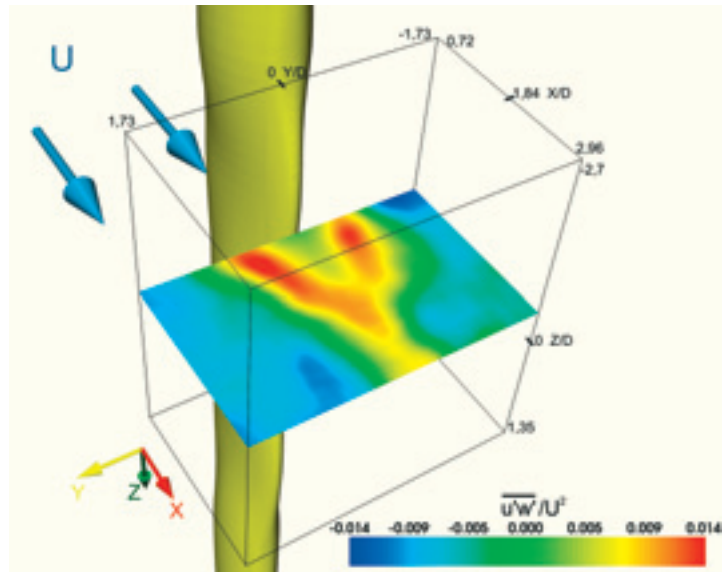
geboren 1960 in Rheine; Studium der Biologie in Münster und Hawaii, Promotion an der Universität Münster; Habilitation an der Universität Bonn; seit 2007 Professor am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock; Leiter der Arbeitsgruppe „Sensorische und kognitive Ökologie“

Universität Rostock  
E-Mail: dehnhardt@marine-science-center.de

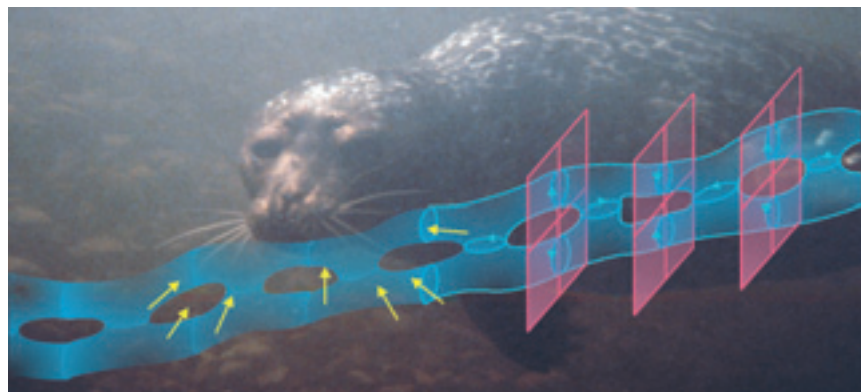
System eine große Zahl momentaner Geschwindigkeitsfelder ermittelt wird, ist es möglich, auch Aussagen über die turbulenten Schwankungsgrößen abzuleiten.

So ist beispielsweise die in Abbildung 5 gezeigte Verteilung von Reynoldsspannungen im Nachlauf, die im Vergleich zu den unstrukturierten Zylindern ein deutliches Muster ergibt, ein erster Nachweis einer dreidimensionalen Strukturierung des instationären Wirbelfeldes. Aus dem Zeitmittel der einzelnen PIV-Messfelder und der Messung über ein Ensemble aus verschiedenen Messebenen kann ein räumliches, quasistationäres Geschwindigkeitsfeld bestimmt werden, das einen Einblick in den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Querströmungskomponenten und der dreidimensionalen Konturierung der Vibrissenoberfläche erlaubt.

In den kommenden Messungen werden die Auswirkungen der Konturierung der Vibrissen ebenso untersucht wie die Einflüsse der Anordnung der Vibrissen als Sensorensemble. Dazu ist nicht nur die Konstruktion eines vollständigen Robbenkopfmodells geplant, sondern es werden auch eine Reihe Messungen mit den seit Mai 2008 in Hohe Düne lebenden Robben durchgeführt, die inzwischen in der Lage sind, den Beutefang auch unter Mitführung von Videomesstechnik durchzuführen. Auf diese Weise können die Bewegungen der Vibrissen während der Spurverfolgung „live“ beobachtet werden. ■



Reynoldsspannung im Nachlauf einer Robbenvibrisse ( $D = 0,75 \text{ mm}$ ) als Maß für die Erzeugung dreidimensionaler turbulenter Strömung (Abb. 5)



Mit dem Stereo- $\mu$ PIV-System experimentell ermittelte, dreidimensionale Wirbelstrukturen im Nachlauf der Robbenvibrisse, hier dargestellt als Stromlinien (Abb. 6) Foto: G. Dehnhardt



**Prof. Dr.-Ing. Alfred Leder**

geboren 1949 in Salzgitter; Physikstudium an der TU Braunschweig; Promotion und Habilitation an der Universität Siegen im Fach Strömungsmechanik; seit 1994 Professor für Strömungsmechanik an der Universität Rostock; 2004 bis 2008 Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

**Universität Rostock**  
E-Mail: alfred.leder@uni-rostock.de



**Dipl. Phys. Lars Miersch**

geboren 1972 in Berlin; 1999 Diplom in Physik an der FU Berlin; Doktorand in der Arbeitsgruppe „Sensorische und kognitive Ökologie“ an der Universität Rostock im DFG-SPP 1207

**Universität Rostock**  
E-Mail: miersch@marine-science-center.de



**Dipl.-Ing. Matthias Witte**

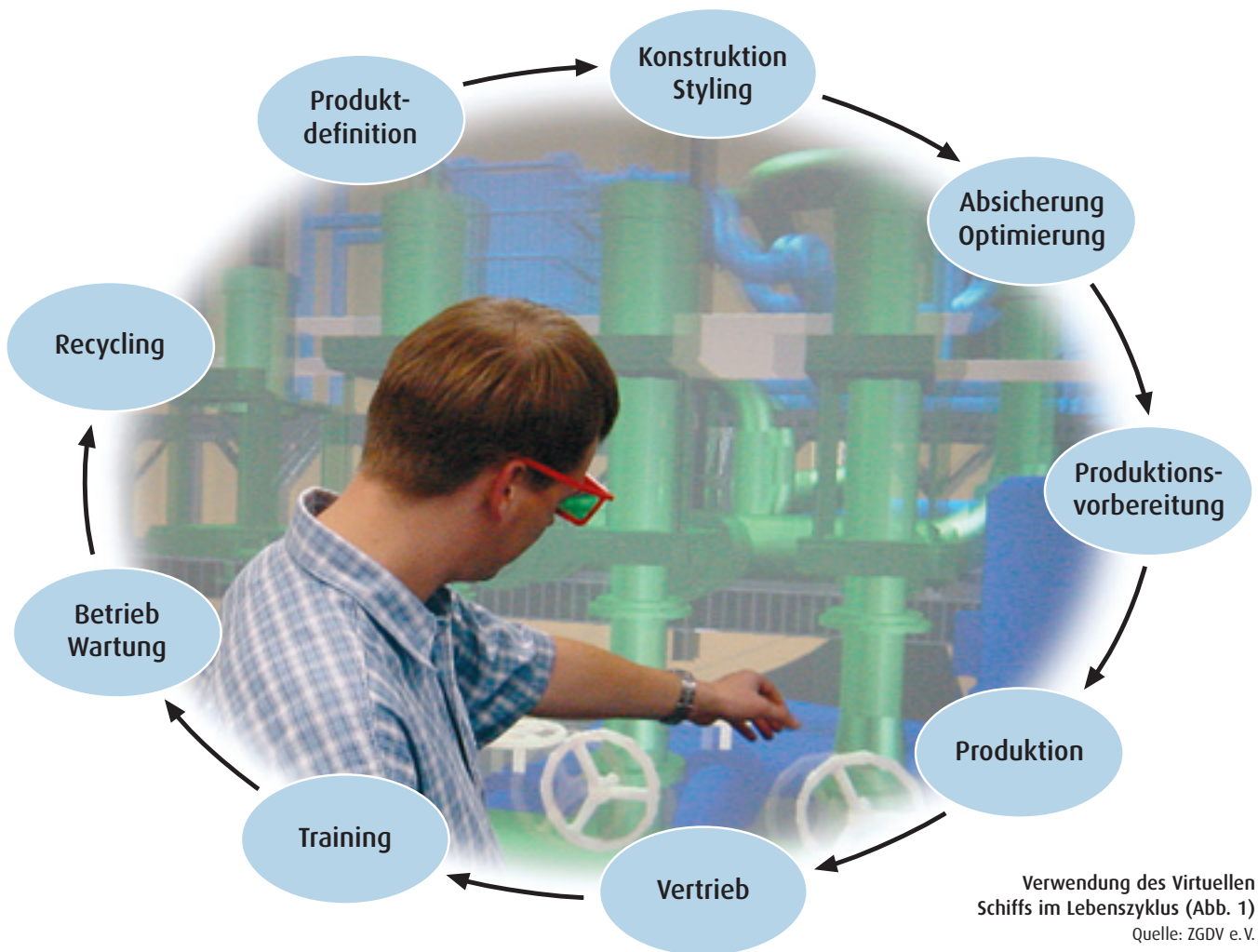
geboren 1980 in Greifswald; Ingenieurstudium an der Universität Rostock; seit 2007 Doktorand am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität Rostock im DFG-SPP 1207

**Universität Rostock**  
E-Mail: matthias.witte2@uni-rostock.de

# Virtuelle und Erweiterte Realität in der maritimen Industrie

## Computergraphik an der Schwelle von der Forschung in die Anwendung

Uwe von Lukas



Computer haben in Werften und Ingenieurbüros längst die Zeichenbretter verdrängt und sich zum unverzichtbaren Werkzeug einer innovativen Branche entwickelt. Das dabei in der Entwurfsphase entstehende Virtuelle Schiff besitzt aber Potenziale, die weit über die Erstellung von Fertigungsunterlagen hinausreichen. Der Beitrag benennt die besonderen Randbedingungen der im europäischen Schiffbau

vorherrschenden Kleinstserien und stellt konkrete Einsatzszenarien für den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität in der maritimen Industrie vor.

Effiziente Prozesse sowie innovative Produkte und Dienstleistungen sind wesentliche Erfolgsfaktoren im international hart umkämpften Markt der maritimen Industrie. Dies gilt insbesondere für Schiffe, die speziell nach den Wünschen des Kunden konstruiert und

gefertigt werden. Derartige Kleinstserien oder Unikate erfordern im gesamten Wertschöpfungsprozess eine besondere Flexibilität und eine optimale Abstimmung aller beteiligten Partner. Muster oder Prototypen, wie sie beispielsweise auch im Automobilbereich im Laufe der Produktentwicklung erstellt werden, sind, von wenigen Ausnahmen wie im Yachtbau abgesehen, aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich.

Investitionen in neue Technologien, die in Branchen mit Serienfertigung auf sehr viele Endprodukte umgelegt werden können, müssen sich im Schiffbau oft schon bei einem Neubauprojekt amortisieren, um vom Management genehmigt zu werden. Zusätzlich zu den fehlenden Serieneffekten setzt die maritime Industrie für ihre typischen Produkte sowie deren Einsatzort noch weitere Randbedingungen, die den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität stark beeinflussen:

1. Die Größe aktueller Fähren, Kreuzfahrtschiffe, Tanker und Containerschiffe sowie deren umfangreiche Ausrüstung führen zu enormen Datenmengen beim virtuellen Produkt. Zudem müssen mobile IT-Lösungen beim Bau des Schiffes oder auch beim Betrieb einen sehr großen Raum abdecken.
2. Die im Schiffbau vorherrschenden Hallen sowie die das Schiff umgebende Stahlhaut schirmen das Innere wirkungsvoll gegen Satelliten oder Funksignale ab. Dies schafft Probleme bei der drahtlosen Kommunikation sowie bei der genauen Positionsbestimmung.
3. Eine Havarie birgt hohe ökologische und ökonomische Risiken und schafft damit Assistenzsysteme, welche die Besatzung in einer derartigen Ausnahme-situation unterstützen können und hier einen besonderen Mehrwert bieten.
4. Beim Einsatz auf hoher See sind Experten, beispielsweise technisches Personal des Herstellers, i. d. R. nicht vor Ort verfügbar.

Die Verwendung digitaler Produktmodelle, im Folgenden auch als „Virtuelles Schiff“ bezeichnet, besitzt in diesem Kontext ein großes Anwendungspotenzial, das weit über die Entwurfsphase hinausgeht. Abbildung 1 zeigt den Lebenszyklus eines Schiffes, der von der ersten Konzeption und Vertriebsgesprächen



Design Review im VR-Labor des ZGDV (Abb. 2) Quelle: ZGDV e.V.

mit dem Kunden über Konstruktion und Fertigung bis zur Betriebsunterstützung reicht. In all diesen Phasen kann das Virtuelle Schiff helfen, die Effizienz der Prozesse zu steigern und die Grundlage für neuartige Dienstleistungen bilden.

In der folgenden Aufzählung sollen exemplarisch ausgewählte Einsatzmöglichkeiten beleuchtet werden, die vom Zentrum für Graphische Datenverarbeitung zusammen mit Forschungspartnern und Unternehmen der maritimen Industrie konzipiert bzw. umgesetzt wurden. Entscheidend ist dabei stets neben der technischen Machbarkeit auch die ökonomisch sinnvolle Auswahl der Szenarien.

### Verkaufsunterstützung

Das Virtuelle Schiff verdeutlicht das Leistungsspektrum der Werft und kom-

muniziert nicht nur die äußere Gestalt, sondern auch „innere Werte“, wie innovative Antriebskonzepte oder besonderes Manövrierverhalten. Schon vor Baubeginn kann der Reeder sein Schiff virtuell begehen und u. U. auch Einfluss auf die Gestaltung nehmen.

### Design Review

Bei der Konstruktion eines Schiffes gibt es eine Vielzahl räumlicher Abstimmungsaufgaben zu lösen. Besondere Anforderungen stellt der Maschinenraum mit seinen zahlreichen Aggregaten und komplexen Rohrsystemen. Virtuelle Realität hilft hier bei der Kommunikation der am Prozess beteiligten Partner durch eine intuitive und maßstabgerechte Darstellung in der Entwurfsphase.

### Interaktive Trainingswelten

Die hohen Investitions- und Betriebskosten eines Schiffes führen dazu, dass quasi ab dem Tag der Auslieferung der kommerzielle Betrieb aufgenommen werden muss. Damit sich die Crew bereits vorab mit den räumlichen Verhältnissen auf dem Schiff sowie mit dessen Bedienung vertraut machen kann, lassen sich Bedienungsabläufe und Havariesituation in virtuellen Umgebungen trainieren. Ohne Gefahr für Leib und Leben, aber mit einem Realitätsgrad, der

### Technologie im Überblick

Virtuelle Realität (VR) schafft ein Abbild der Wirklichkeit im Computer. Durch die räumliche Art der Darstellung sowie die besondere Form der Interaktion scheint der Benutzer förmlich in diese virtuelle Welt „einzutauchen“. Erweiterte Realität baut darauf auf, mischt die virtuelle Welt jedoch mit der realen Welt. Durch halbdurchlässige Datenbrillen oder auch durch die Mischung von aufgenommenen Videobildern mit virtuellen Objekten entstehen spannende neue Anwendungsmöglichkeiten – nicht nur in der maritimen Industrie, sondern auch in der Medizin, dem Tourismus oder der Unterhaltungsbranche.



Einsatz von Erweiterter Realität bei der Fehlerbehebung (Abb. 3) Quelle: ZGDV e.V.

die Situation erlebbar macht, kann Wissen vermittelt werden. Das ZGDV nutzt zudem Technologien aus der Spieleindustrie, um die Interaktion mit der virtuellen Welt zu optimieren und die Motivation der Lernenden zu steigern.

### Wartungsassistenz

Der hohe Komplexitätsgrad heutiger Schiffe und das sinkende Qualifizie-

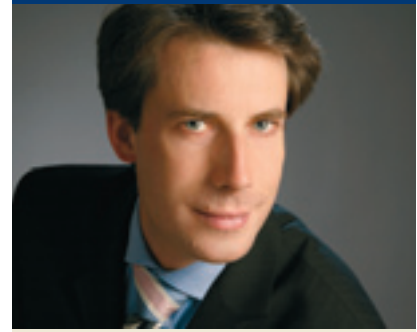
rungsniveau großer Teile der Besatzungen bilden eine Schere, die durch den Einsatz von Erweiterter Realität geschlossen werden kann. Dabei setzt der Techniker eine spezielle Brille auf, über die er Informationen zum Wartungs- oder Reparaturablauf lagegenau in sein Sichtfeld eingeblendet bekommt. Die Zerlegung in Einzelschritte („Schrauben hier lösen“, „Schlauch nach oben abziehen“ etc.) und die leicht verständliche Visualisierung versetzen auch ungelertes Personal in die Lage, derartige Aufgaben fachgerecht auszuführen.

### Planung von Umbauten

Die hohe Lebensdauer macht es erforderlich, das Schiff gelegentlich an neue Anforderungen anzupassen bzw. Teilsysteme zu modernisieren. Ein Beispiel hierfür ist die Modernisierung von Rettungsmitteln an Bord. Vorhandene Rettungsboote und Aussetzanlagen lassen sich mittels Erweiterter Realität ausblenden und durch Anlagen neuen Typs überlagern. Auf diese Weise kann der Reeder eine Bewertung der geplanten Modernisierung vornehmen und ggf. auch verschiedene Umsetzungsvarianten miteinander vergleichen.

Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass das Einsatzspektrum von Virtueller und Erweiterter Realität in der maritimen Industrie sehr groß ist. Auf dem Weg zu praxistauglichen Lösungen

### Der Autor



#### Dr.-Ing. Uwe von Lukas

geboren 1967; Studium der Informatik mit Schwerpunkt Computergraphik an der TU Darmstadt; 1994 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der angewandten Forschung; seit 1999 in leitender Funktion in der Geschäftsstelle Rostock des Zentrums für Graphische Datenverarbeitung e.V. (ZGDV); 2002 an der Universität Rostock promoviert; seit Sommersemester 2005 Lehrbeauftragter für das Thema Virtuelle Produktentwicklung an der Universität Rostock; 2007 Ernennung zum Geschäftsführer des ZGDV e.V.

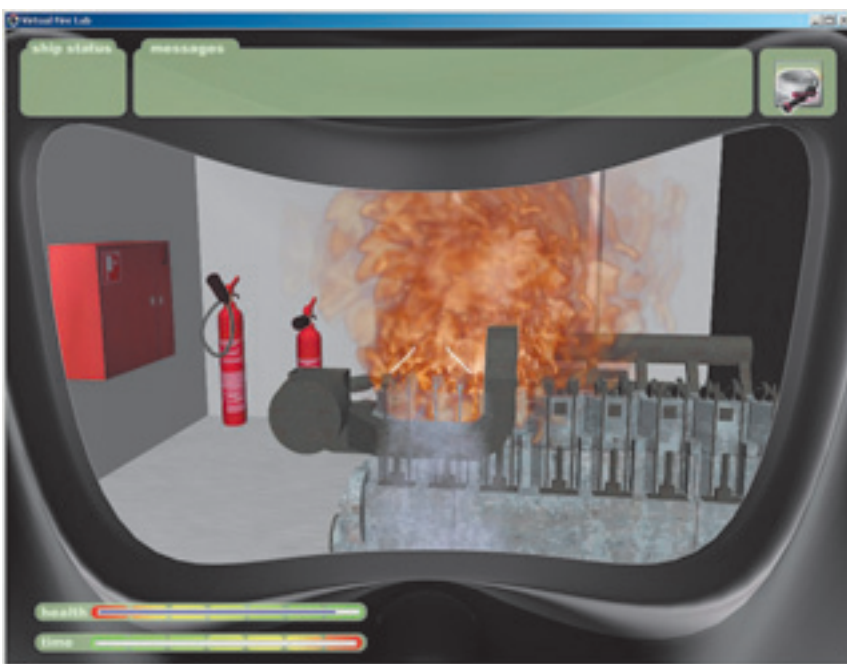
#### Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e.V.

Joachim-Jungius-Str. 11  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/4024150  
E-Mail: uwe.von.lukas@rostock.zgdv.de

sind jedoch noch konkrete Forschungsthemen für den Einsatz nötig.

Eine weitere typische Aufgabenstellung, an der das ZGDV arbeitet, ist die Effizienzsteigerung bei der Umsetzung spezifischer Szenarien. Bislang erfordert die Erstellung einer VR-Lösung für eine besondere Aufgabenstellung (z. B. Ein- und Ausbauplanung großer Aggregate) einen hohen Aufwand zur Datenaufbereitung und zur Programmierung der Systemfunktion. Diese Expertenarbeit soll perspektivisch durch einfache Konfigurationsmöglichkeiten für den Endanwender ersetzt werden.

Für eine erfolgreiche Umsetzung ist dabei nicht nur die Beherrschung der Basistechnologien der Computergraphik erforderlich. Zwingend notwendig ist neben der technologischen Kompetenz auch das Wissen über die Prozesse der Branche sowie die Qualifikation des Bedienpersonals, um eine optimale Einbindung in das betriebliche Umfeld leisten zu können. Das Department für Maritime Systeme der Universität Rostock bietet hier ein ideales Umfeld für interdisziplinäre Forschung.

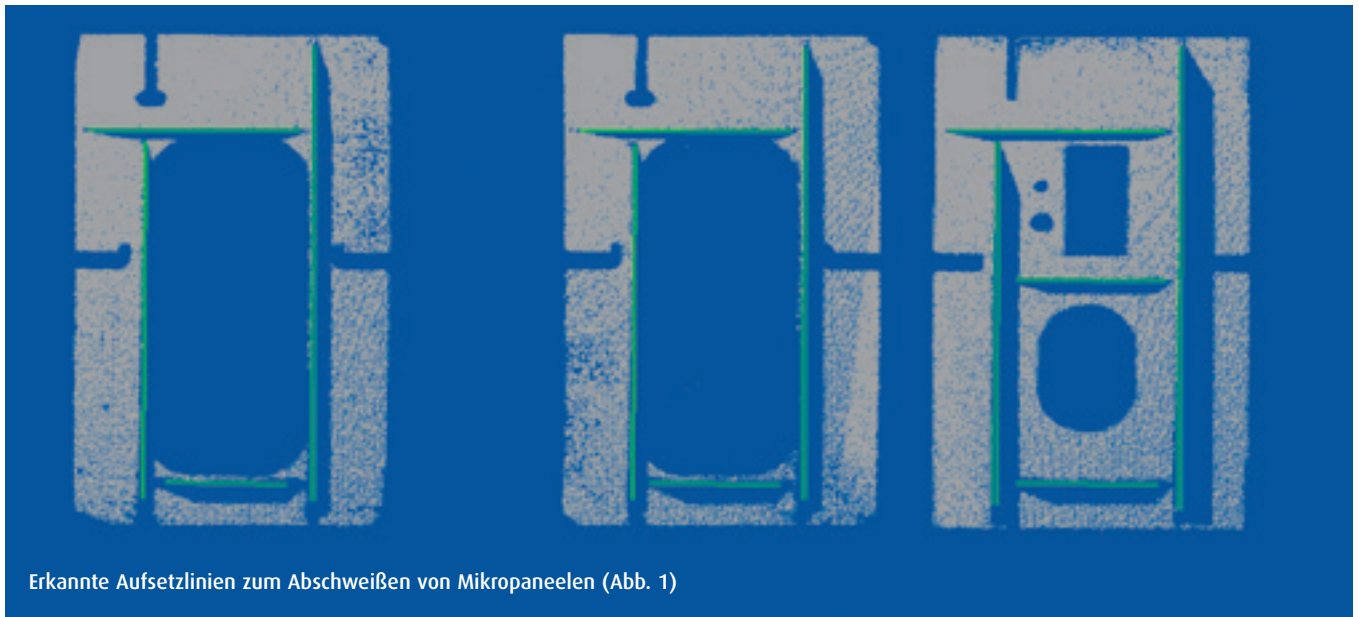


Virtual Firefighting – Lernspiel zur Brandbekämpfung an Bord (Abb. 4) Quelle: ZGDV e.V.

# Der Roboter schweißt das, was er sieht

## Hohe Produktivität im Schiffbau durch die Anwendung modernster Technologien

Martin-Christoph Wanner



Erkannte Aufsetzlinien zum Abschweißen von Mikropaneelen (Abb. 1)

**W**arum ist die Robotik im Schiffbau noch wenig verbreitet? Die Programmierung der Roboter ist viel zu aufwendig, berücksichtigt man die kleinen Stückzahlen. Sehende Roboter könnten hier die lang gesuchte Lösung sein. Der Beitrag soll zeigen, ob dies möglich ist.

Wir sind derzeit Zeuge des Beginns einer neuen industriellen Revolution, welche die vollständige Automatisierung der Fertigungsprozesse ankündigt. Auffallend sind dabei die Ähnlichkeiten zwischen Dampfmaschine und Roboter. Beide reduzieren die physischen Anstrengungen der Arbeiter und erhöhen die Produktivität. Erste Schritte, die aufzeigen, wohin sich im Schiffbau die Robotik entwickelt, werden derzeit in Rostock realisiert.

Die Programmierung von Schweißrobotern in der schiffbaulichen Vorfertigung erfolgte bisher unabhängig vom

realen Werkstück durch aufwendige Analyse der CAD-Daten und Simulation der Bewegungsabläufe. Speziell im Schiffbau, gekennzeichnet durch kleine Losgrößen, hohe Teilevielfalt, große Werkstücke und mittlere geometrische Genauigkeiten, wird das Verhältnis zwischen Programmierzeit und Lichtbogenbrennzeit derartig ungünstig, dass in Europa kaum ein Roboter wirtschaftlich betrieben werden kann. Von einem Mechanisierungsgrad wie in der Fahrzeugindustrie ist man im Schiffbau noch weit entfernt.

Ziel der Rostocker Entwicklungsarbeiten war es, auf der Basis von vor Ort erfassten 3D-Sensordaten des aktuellen Werkstückes vollautomatische Roboterprogramme zum Verschweißen bereits gehefteter Großstrukturen zu erzeugen.

Begonnen hat diese Entwicklung im Jahr 2001 im Rahmen eines Verbundprojektes. Das Fraunhofer-Anwendungs-

zentrum hat sich zuerst auf ein relativ einfach aufgebautes Teil, das Mikropaneel, konzentriert. Dieses besteht aus einer ebenen Schiffbauplatte mit in beliebiger Richtung, vorwiegend senkrecht aufgesetzten Profilen und Schlingen. Bevor diese Profile durch Roboter auf der Grundplatte verschweißt werden, hat man diese auf einer vorgelagerten Arbeitsstation bereits manuell geheftet. Die Geometrie dieses Mikropaneels wird nun unmittelbar vor dem Abschweißen durch einen 3D-Scanner erfasst und eine sogenannte Punktwolke erzeugt, die man so auswertet, dass die Lage der Aufsetzlinien der Profile auf der Schiffbauplatte zu erkennen sind (siehe Abbildung 1). Anschließend werden die Daten nach einer Sichtkontrolle und eventuellen manuell durchgeführten Änderungen in ein anlagenspezifisches Format konvertiert und der Robotersteuerung zum Abschweißen



Feldversuch auf der Warnow-Werft (Abb. 2) Foto: Fh AGP



Versuchsportal des Fraunhofer-AGP (Abb. 3) Foto: Fh AGP

Der Autor



**Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner**

1948 in Stuttgart geboren, Studium Maschinenbau in Stuttgart und Promotion 1988 bei Prof. H.-J. Warnecke zur Auslegung der Mechanik von Industrierobotern; bis 1993 in leitender Stellung am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung tätig, anschließend Technischer Leiter des Sektors Robotik und Handhabungssysteme bei der Putzmeister AG in Aichtal; 1998 Berufung zur Professur Fertigungstechnik an der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik; in Personalunion Leiter eines Fraunhofer-Anwendungszentrums in Rostock

**Fraunhofer-Anwendungszentrum**

Großstrukturen in der Produktionstechnik  
Joachim-Jungius-Straße 9  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/4059720  
E-Mail: wanner@hro.ipa.fraunhofer.de

übergeben. Handelt es sich um ein sehr großes Mikropaneel, so müssen mehrere Positionen angefahren und die Einzelaufnahmen zu einem Gesamtbild zusammengefasst werden.

In einem dreimonatigen Feldversuch auf der Warnow-Werft wurde 2007 die Machbarkeit dieses Ansatzes nachgewiesen (siehe Abbildung 2). Darauf aufbauend erteilte die Warnow-Werft dem Fraunhofer-Anwendungszentrum den Auftrag für eine Pilotanlage, die im Sommer 2008 in Betrieb genommen wurde. Zu dem Gesamtsystem ist eine Patentanmeldung erfolgt.

Zielstellung in der Zukunft wird es sein, gemeinsam mit einem Anlagenbauer Mikropaneellinien weiter zu verbessern und in den nächsten Jahren an dem Versuchsportal des Fraunhofer Anwendungszentrums (siehe Abbildung 3) weitere, ähnliche Applikationen schrittweise zu entwickeln. ■





oben: Gegenläufiger Druckpropeller-Azipod  
der Scandlines-Fähre „Schleswig-Holstein“ (Abb. 1)

Foto: Archiv Scandlines Deutschland GmbH

rechts: Backbord Steuerstand auf dem Schadstoff- und Unfallbekämpfungsschiff  
„Arkona“, ausgerüstet mit zwei achteren PODs und einem Bug-Jet (Abb. 2)

Foto: H. Korte



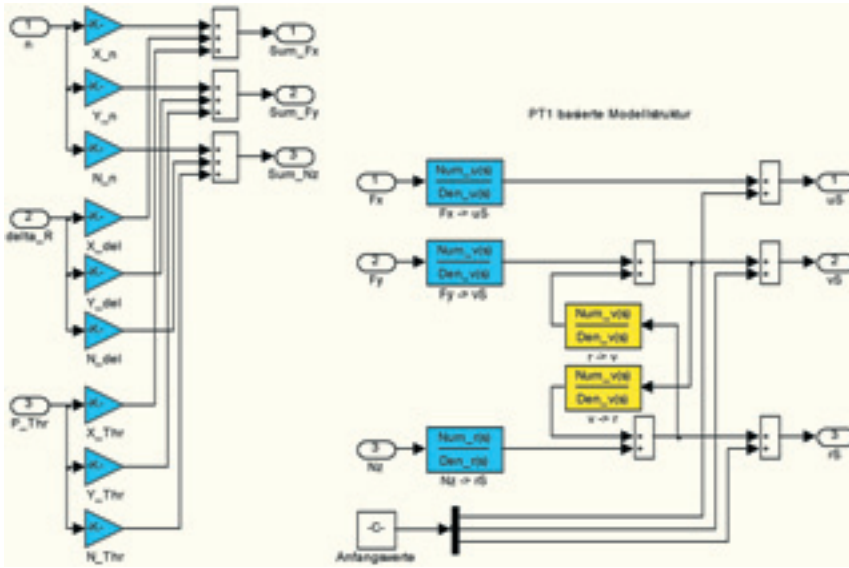
# AdaNav – Schiffsführung morgen?

Holger Korte, Martin Kurowski, Matthias Wulff, Cathleen Korte und Bernhard Lampe

Die Autoren entwickelten am Center for Marine Information Systems im BMWi-Verbundprojekt AdaNav – „Adaptives Navigationssystem für Schiffe“ – gemeinsam mit der SAM Electronics Hamburg GmbH, der Rheinmetall Defence Electronics Bremen GmbH und der Hochschule Wismar, Fachbereich Seefahrt, neue Konzepte zur automatischen Bahnführung von Schiffen.

Entsprechend ihren besonderen Aufgaben werden Spezialschiffe zunehmend mit modernen Antrieben und Steuerorganen, wie PODs oder Strahlrudern, ausgestattet. Solche Steuerkonzepte ermöglichen eine gute Manövrierfähigkeit, erfordern aber von den Nutzern eine detaillierte Kenntnis der wirkenden physikalischen Zusammenhänge. Oftmals lassen sich diese Fahrzeuge nicht ohne Automatisierungen

steuern, weil ein Überangebot an möglichen Stellgrößen existiert. Aber auch die industrielle Serienfertigung automatischer Steuereinrichtungen steht infolge des breiten Spektrums von Art und Anbringung der Steuerorgane am Schiffsrumpf mit geläufigen Regelungskonzepten vor einem Hindernis, weil die jeweiligen Systemanpassungen entsprechenden Einzelentwicklungen nahekommen. Im Rahmen des BMWi-Ver-



MATLAB/Simulink Block-Darstellung einer PT1-basierten Dynamikstruktur der Geschwindigkeitsstrecke eines konventionellen Schiffes (Abb. 3)

bundvorhabens „Adaptives Navigationssystem für Schiffe“ wurde daher auch an der Entwicklung des Prototyps einer neuen Steuereinrichtung für solche Schiffsantriebe gearbeitet. Durch CeMarIS wurden sogenannte MIMO-Regelungskonzepte entwickelt, die bei hoher struktureller Variabilität der Antriebe eine möglichst optimale Manövrierfähigkeit der Schiffe während der Regelungen erzielt.

**Motivation**

Schiffe sind heute zunehmend mit Spezialantrieben ausgestattet. Wogegen noch vor wenigen Jahren die zusätzlichen Steuerorgane lediglich zum An- und Ablegen genutzt wurden, stehen mit Einführung der Azimut-Propeller und PODs solche hochwertigen Steuerungen auch während der normalen Fahrt zur Verfügung. Das erfordert von den Herstellern automatischer Steueranlagen eine größere Flexibilität der Regelungskonzepte. Gleichfalls sind Schaltungen bestimmter Modi für die Nutzung der Aggregate in ihren Spezialanwendungen

serienfeindlich. Abbildung 1 zeigt einen Azipod-Antrieb der Scandlines-Fähre „Schleswig-Holstein“.

Aus dieser Flexibilität entsteht infolge der nicht standardisierten sprachlichen Kommandoschnittstelle als weiterer nachteiliger Effekt in der Praxis eine Gewöhnungszeit neuer Crew-Mitglieder und auch der Lotsen an die jeweiligen Bordspezifika. In den weiteren Ausführungen soll ein neues Konzept für automatische Steueranlagen vorgestellt werden, dass im Rahmen des BMWi-Verbundvorhabens AdaNav (Adaptives Navigationssystem für Schiffe) seitens der Universität Rostock unter der Projektführerschaft der SAM Electronics GmbH Hamburg erarbeitet wurde.

**Modellbildung**

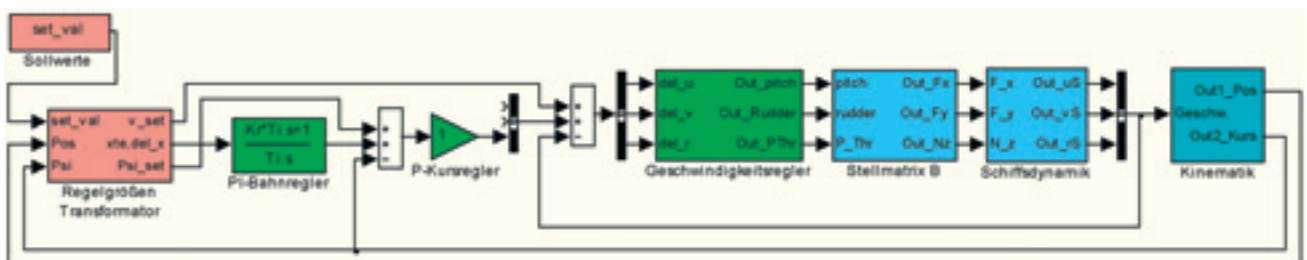
Allgemein bewegen sich starre Körper mit sechs Freiheitsgraden, je drei rotatorischen und translatorischen. Für die Bewegung eines Körpers im Wasser gelten die Kirchhoff'schen Bewegungsgleichungen, vergleiche [3] und [4]. Unter

der Annahme einer Bewegung des Schiffes auf der nahezu ungestörten Wasseroberfläche entfallen die Freiheitsgrade für Tauch-, Stampf- und Rollbewegung, sodass schließlich für die Reglerauslegungen nur drei Freiheitsgrade untersucht werden müssen. Diese ergeben sich durch die Schiffslängsgeschwindigkeit  $u$ , die Querbewegung  $v$  sowie die Drehung um die Hochachse, welche mit  $r$  bezeichnet wird. Mit der Annahme einer alleinigen Steuerbarkeit in den verbleibenden Freiheitsgraden und der Auffassung, dass die Regler nur kleine Abweichungen von stationären Vorgabewerten auszuregulieren brauchen, können lineare Ansätze für die Beschreibung der hydrodynamischen Kräfte und Momente Verwendung finden. Infolge der linearen Betrachtung können die resultierenden Geschwindigkeiten  $u$ ,  $v$  und  $r$  auch als Summe ihrer von den Eingangsgrößen abhängigen Komponenten aufgefasst werden, woraus sich die Dynamik-Modellstruktur, für ein Schiff mit Festpropeller, Blattruder und Bugstrahlrunder nach Abbildung 3 ableiten lässt [5].

**MIMO-Regelungskonzept**

Mit der Möglichkeit, durch eine Vielzahl von Stelloperationen eine gezielte Manipulation der verschiedenen Bewegungsgrößen zu erreichen, wird die Einführung einer sogenannten MIMO (Multiple Input Multiple Output) Regelungsstruktur notwendig. Für eine überschaubare Schnittstelle zum Anwender werden die Stelleingänge zusammengefasst und durch kraft- und momentadäquate Sammelstellgrößen ersetzt, siehe [2]. Die Verteilung der Vorgabewerte auf die einzelnen Aggregate erfolgt nach arbeitspunktabhängigen Steuerkriterien. Ein kaskadiertes Bahnregelungskonzept für Schiffe ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die innere Rückführung bedient den MIMO-Geschwindigkeitsregler. Die Differenzgrößen der drei Komponenten  $u$ ,  $v$  und  $r$  werden auf separate PID-Reg-



Dreifach kaskadiertes Bahnregelungskonzept mit unterlagerter MIMO-Geschwindigkeitsregelschleife an einem Schiff mit Bugstrahlrunder (Abb. 4)

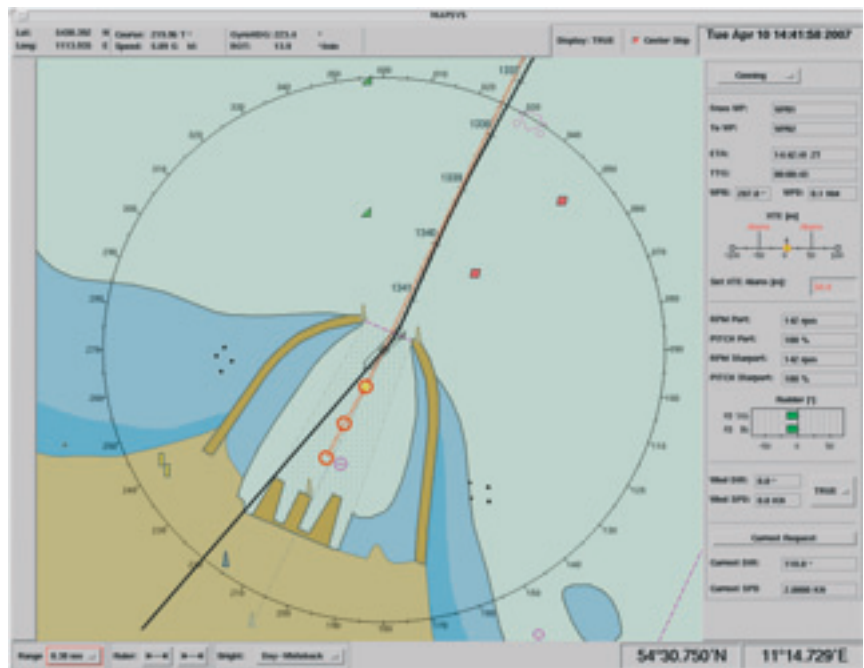
ler geschaltet, die die erforderlichen Kräfte und Momente zur Realisierung der Sollgrößen bestimmen. Durch eine Splitting nach dem Vorbild der Sammelsteuerung erfolgt dann eine Aufteilung auf die einzelnen Aggregate, je nach ihrer Wirksamkeit bei der entsprechenden Fahrtgeschwindigkeit.

Aufbauend auf die untere Geschwindigkeitsregelschleife können nun verschiedene Kurs- und Bahnregelungskonzepte nachgeschaltet werden. Bild 4 zeigt die Bahnführungsstrategie gegenwärtiger Systeme mit dem Vorteil der unterlagerten Geschwindigkeitsregelung. Der daraus resultierende Effekt soll nachfolgend gezeigt werden.

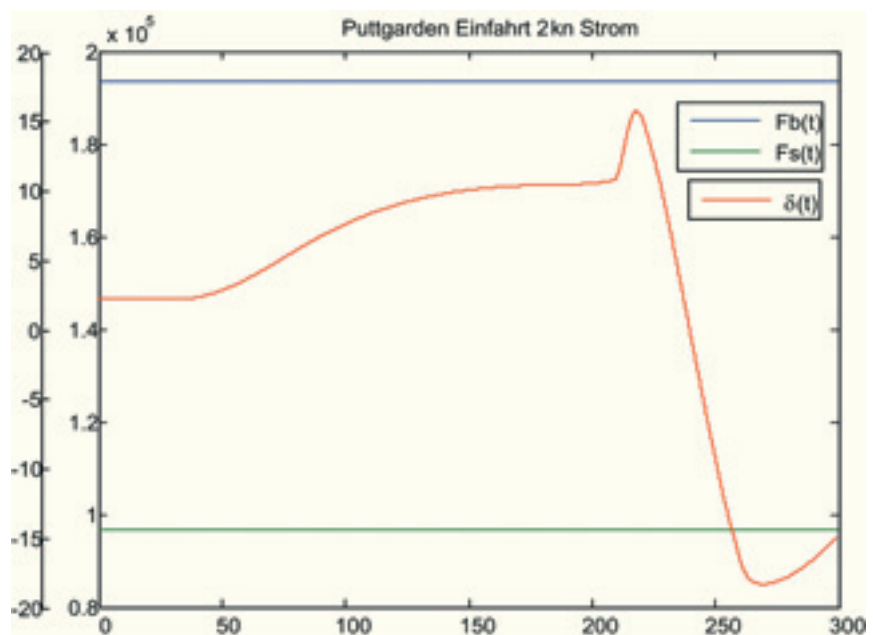
### Laborerprobung

Nautisch interessant sind Reviere, bei denen die relativen Manöverfreiheiten, d. h. das Fahrwasserabmessung-Schiffsgrößen-Verhältnis, in ungünstiger Relation zu unbekanntem Störungen steht. Ein klassisches Beispiel in deutschen Gewässern, das auch Gegenstand früherer Untersuchungen war, besteht in der Hafeneinfahrt Puttgarden am Fehmarnbelt. Extreme Querströmung steht einer Hafeneinfahrt von 80 m Durchfahrtsbreite bei Schiffen mit einer Länge von  $L_{üA} = 142$  m und Breite von  $B_{Sp} = 25$  m gegenüber. Aus einem Vorläuferprojekt ist bekannt, dass mit herkömmlichen kaskadierten Regelungskonzepten eine einlaufende Passage der Hafeneinfahrt Puttgarden bereits bei 2 kn Querströmung und 6 kn Fahrtgeschwindigkeit versagt, sodass hier ausschließlich manuell und mit erheblich höherer Fahrtgeschwindigkeit gefahren wird.

Als Versuchsschiff wurden von einem Cybership mit zwei Bug- und einem Heckstrahlruder sowie zwei Festpropellern und Blattrudern die neuen Bewegungsmodellparameter bestimmt. Im Unterschied zu den im vorgestellten Revier verkehrenden Schiffen, die mit jeweils 4 PODs beste Manövriereigenschaften besitzen, soll nun das neue Regelungskonzept an dem schlechter ausgerüsteten Cybership demonstriert werden. Infolge der Wirksamkeit der Strahlruder wurde die Fahrtgeschwindigkeit bereits vor der Einfahrt auf  $u_S = 5$  kn reduziert, womit sich auch das mögliche Schadenspotenzial drastisch reduziert. Die Auswirkungen des Stromes auf die Schiffsbewegung wurden ausführlich in [6] beschrieben und finden hier analog Verwendung.



Einlaufen bei 5 kn Fahrt und 2 kn Strom (Abb. 5)



Stellverläufe des Manövers nach Abb. 5 (Abb. 6)

In den Bildern 5 und 6 sind der Bahnverlauf und die gefahrenen Stellgrößen abgebildet. Die Strömung an der Messstelle beträgt  $v_{str} = 2$  kn in Richtung  $\Phi = 118^\circ$  und nimmt, ähnlich der Wirkung an einer Düse, vor der Einfahrt zu. Allein können die Strahlruder die wirksame Querströmung nicht kompensieren. Dadurch arbeiten sie in der Endlage. Auch das Ruder wirkt zur Kompensation mit, weshalb seine Anfangsstellung bei ca.  $\delta R = 3^\circ$  liegt. Mithilfe eines Kursvorhaltes von

$\Delta\Psi = 6^\circ$  gelingt es dem Bahnregler, die verbleibende Drift zu kompensieren. Als der Strömungsgradient das Schiff zunächst nach Backbord und bei der Molendurchfahrt nach Steuerbord dreht, wirkt das Ruder angemessen entgegen. Die kritische Passage wurde gemeistert.

### Schlussfolgerungen/Ausblick

Eine der herkömmlichen Bahnregelung unterlagerte MIMO-Geschwindigkeits-

regelung ermöglichte die Einbeziehung moderner Stellaggregate und dadurch eine Erhöhung der Manövrierfähigkeit gegenüber früheren Konzepten. Am Beispiel der Bedingungen an der Einfahrt des Fährhafens Puttgarden wurde das neue Regelungskonzept erfolgreich mit einem Schiff geprüft, welches schlechtere Manöviereigenschaften besitzt als die dort verkehrenden Schiffe. Mit dem entwickelten Steuerungskonzept könnten die automatischen Bahnführungsanlagen bei der derzeitigen Variabilität von Antriebskonfigurationen Serienreife erlangen. Zur Vereinheitlichung der Kommandos und der Erhöhung der Entscheidungssicherheit des Schiffsführers sind neue Standards durch internationale Schifffahrtsgremien zu beschließen und Inhalte vorgeschriebener Informationsquellen auf der Brücke in die Seefahrtspraxis einzubeziehen, die auch zur Auslegung der automatischen Steuerungen traversierfähiger Schiffe benötigt werden.

**Literatur**

- [1] Majohr, J.: Mathematisches Modellkonzept für Kurs- und Bahnregelstrecken von Schiffen, Schiffbauforschung, Jahrgang 24, Heft 2, S. 75-89, 1985.
- [2] Simrad Kongsberg: Compact joystick control system cJoy. Produktbeschreibung, 178330b-low-res.pdf, Kongsberg Maritime AS, Kongsberg, Norwegen, gesehen am 06.03.2006, www.kongsberg.com.
- [3] Scharnow, U. u. a.: Schiff und Manöver. Seemannschaft Bd. 3, Transpress Verlag, Berlin, 3. Aufl., 1987.
- [4] Fossen, T. I.: Guidance and Control of Ocean Vehicles. Verlag John Wiley & Sons, Chichester/ New York, 1994.
- [5] Korte, H., Adaptives Navigationssystem: Bahnregelungskonzept traversierfähiger Schiffe, in Schiff & Hafen – International Publication for Shipping and Marine Technology Ausgabe 04/2007, S. 14-19, Seehafen-Verlag.
- [6] Korte, H., Majohr, J., Korte, C., Ladisch, J., Wulff, M., Lampe, B. P.: Prediction of Current Influence on Ship Motions – Linear Approach. Proc. 13th International Ship Control Systems Symposium (SCSS), Orlando (USA), 07.-09.04. 2003, Paper No. 132. ■

**Die Autoren**



**Aktuelle und ehemalige Mitglieder der maritimen Forschungsgruppe am Institut für Automatisierungstechnik, Mitglieder des interdisziplinären Forschungszentrums CeMarIS der Universität Rostock: oben (v. l.): Dipl.-Ing. Martin Kurowski, Visiting Prof. Dr. Tsutomu Takagi, Prof. Dr.-Ing. Holger Korte, Dipl.-Ing. Matthias Wulff, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Bernhard Lampe, unten (v. l.): Dipl.-Ing. Cathleen Korte, M.Sc. Srikanth Akkiraju, Dr.-Ing. Jens Ladisch**

**Holger Korte**

1987–1992 Studium Verkehrsingenieurwesen/Schiffsführung; 2000 Promotion an der Universität Rostock auf dem Gebiet der Regelungstechnik; 2004 Post-doc Studium, Kinki University Osaka/Nara Japan; 1995–2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Themenleiter an der Universität Rostock; seit 2008 Professor für Gefährliche Ladung, Ladungstechnik und Verwaltung/Umweltschutz an der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Fachbereich Seefahrt Elsfleth

**Martin Kurowski**

2001–2007 Studium der Elektrotechnik/Studienrichtung Automatisierungstechnik an der Universität Rostock; seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik, Universität Rostock

**Matthias Wulff**

1973–1977 Studium Informationstechnik an der Hochschule Wismar, Fachrichtung analoge und digitale Schaltungstechnik; 1977–1994 Konstruktions- und Entwicklungsingenieur für Schiffsführungsanlagen sowie Baugruppenentwicklung; 1994–1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Seefahrt der Hochschule Wismar; seit 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock

**Cathleen Korte**

1985–1990 Studium der Schiffselektronik/Nachrichtendienst in Warnemünde; von 1993–2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock; seit April 2008 Ingenieur für Simulationstechnik am Fachbereich Seefahrt der Hochschule Wismar

**Bernhard Lampe**

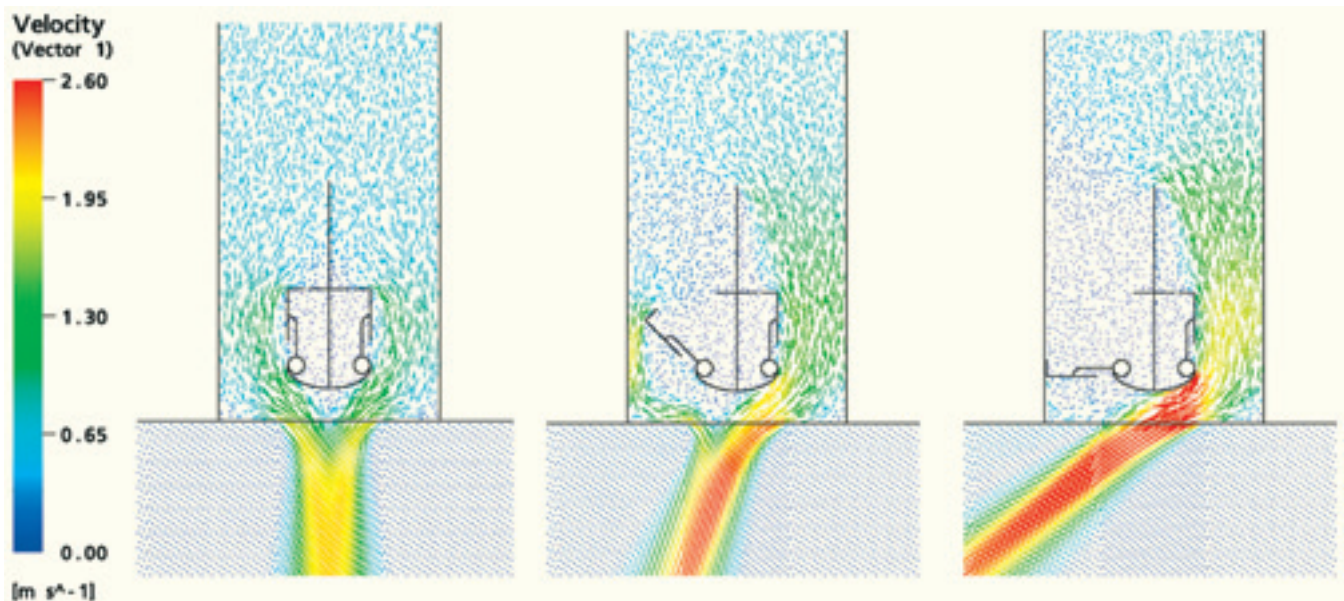
1965–1970 Studium der Mathematik an der Universität Rostock; 1973 Promotion an der Universität Rostock; 1984 Habilitation an der Universität Rostock auf dem Gebiet der Regelungstechnik; seit 1992 Professor für Regelungstechnik, Universität Rostock, FB ET/IT; 1992–1998 Sprecher des FB Elektrotechnik und Informationstechnik; seit 2007 Prorektor für Forschung und Forschungsausbildung; Mitarbeit in verschiedenen Gremien der Universität Rostock; Mitarbeit in Programmkomitees für internationale Konferenzen; Gutachter für Bücher, Zeitschriftenartikel, Konferenzbeiträge, Forschungsanträge, Dissertationen etc.; Autor und Koautor von über 200 Publikationen, darunter 5 Bücher

**Universität Rostock**

Center for Marine Information Systems  
18051 Rostock  
Internet: www.cemaris.de  
E-Mail: bernhard.lampe@uni-rostock.de

# Über Luftströmungen in Räumen

Mathias Paschen und Henning Knuths



Berechneter Austrittsstrahl bei den Winkelstellungen von 0°, 45° und 90° des linken Leitbleches (Abb. 1) Grafik: Henning Knuths

Sicherlich hat schon jeder einmal als Reisender in einem Zugabteil, als Passagier auf einem Schiff oder im Flugzeug weniger gute Erfahrungen mit dem Raumklima sammeln können. Entweder lag es an der zu hohen oder zu niedrigen Raumtemperatur, es zog im Nacken oder die Fenster waren beschlagen, sodass einem der erhoffte Ausblick auf die im Reiseführer gepriesene Umgebung versagt blieb.

## Motivation

Möglicherweise kann der stille Groll gegenüber dem Entwickler oder Betreiber des jeweiligen Verkehrsmittels als Folge dieser misslichen Situation berechtigt sein. Aus wissenschaftlicher Sicht stellt die zuverlässige Voraussage von Luftströmungen und deren Verteilung in Räumen häufig eine erhebliche Herausforderung dar. Schließlich ist der Stand der Theorie über die Wechselwirkungen zwischen der Raumgestaltung

einschließlich seiner aerodynamischen Versperrungen durch das Interieur und der Luftströmung noch mit zum Teil erheblichen Unsicherheiten behaftet.

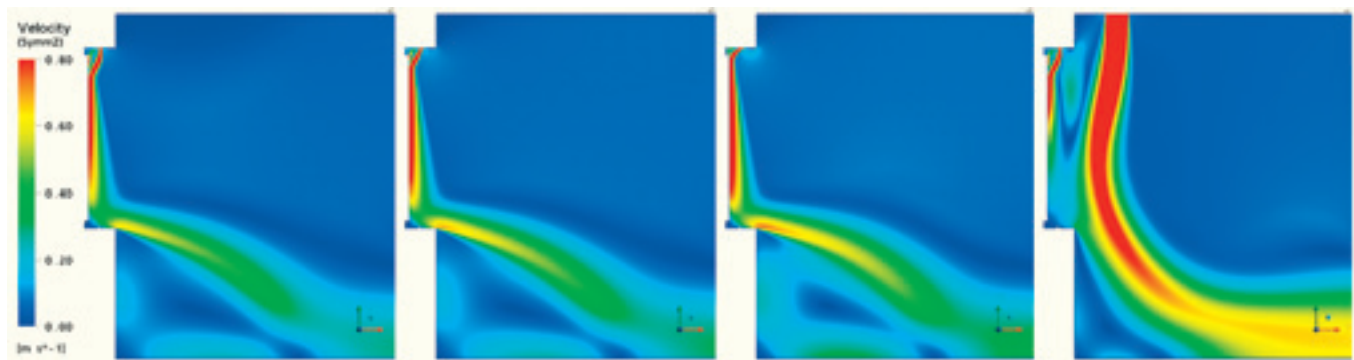
Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die zuverlässige Voraussage von Raumluftrömungen auf Schiffen dar. Eng beieinander angeordnete Schiffsräume mit zum Teil sehr differenzierten funktionellen Aufgaben können sehr unterschiedliche Klimatisierungskonzepte erfordern. Stellvertretend für viele Bereiche mag der Verweis auf Passagier- und Maschinenräume sowie klimatisierte Laderäume und Fahrzeugdecks auf Fähren genügen. Örtlich oder auch jahreszeitlich bedingte meteorologische Schwankungen können weitere signifikante Randbedingungen darstellen.

Die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung an der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik finanzierte Forschergruppe zur Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Methoden,

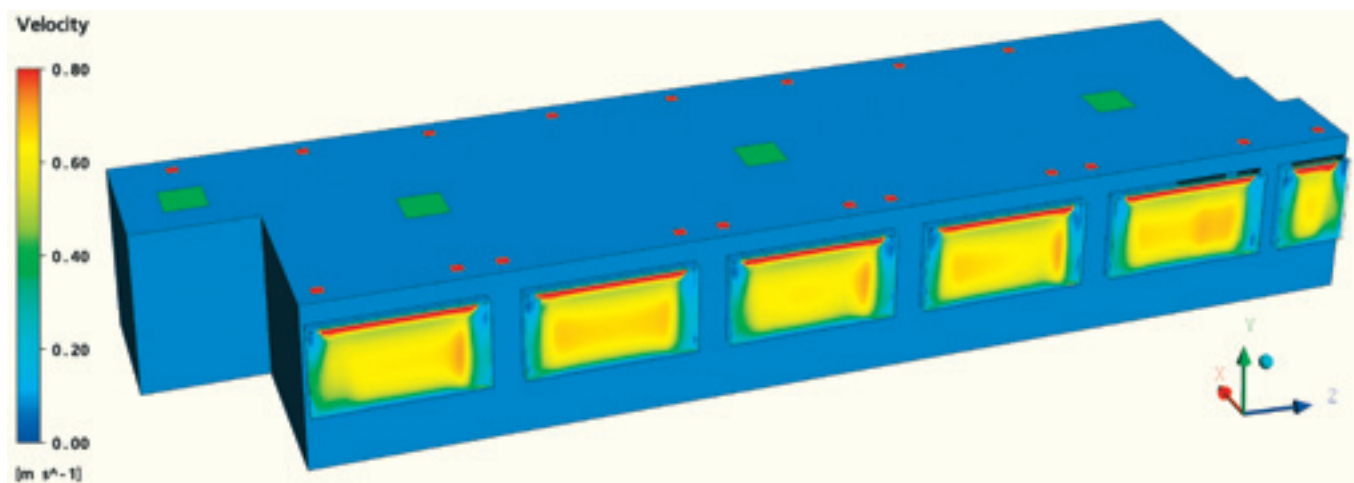
insbesondere für die regionale Werft- und Zulieferindustrie, ist im Rahmen des Verbundvorhabens „MAPRO – Maritime Profile: Unterstützung und Entwicklung maritimer Systeme“ auch mit der Theorieentwicklung, der numerischen Simulation und der experimentellen Analyse zur Voraussage von Raumluftrömungen beschäftigt (weitere Informationen unter [www.unternehmen-region.de/de/1891.php](http://www.unternehmen-region.de/de/1891.php)).

## Methodisches Vorgehen und erste Ergebnisse

Im Folgenden soll exemplarisch ein ausgewähltes Szenario für eine numerische Simulation vorgestellt werden. Bei dem betrachteten Beispiel möge es sich um den Aufenthaltsbereich für Passagiere einer Fähre handeln. Die Lounge soll eine lange Fensterfront besitzen. Prognostiziert man ein hohes Aufkommen an ständig wechselnden Passagieren, die einen hohen Eintrag an feuchter



Simulationsergebnisse zum Luftvorhang im Fensterkasten bei verschiedenen Winkelstellungen des Luftleitbleches (von links: 0°, 45°, 90° sowie 0° mit zusätzlicher Zuluft von der Decke) (Abb. 2). Grafik: Henning Knuths



Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe in einer Schnittebene, etwa fünf Zentimeter von der Fensterfront entfernt. Die roten Flächen an der Decke zeigen die Positionen der zusätzlichen Zuluftseinheiten, die grünen repräsentieren die Ablufteinheiten (Abb. 3). Grafik: Henning Knuths

Luft verursachen, so kann das zu einer verstärkten Kondensatentwicklung an den Fensterscheiben dieses Aufenthaltsraumes führen.

Um Derartiges zu verhindern, werden häufig spezielle Lufteinlässe über den Fenstern angeordnet. Sie erzeugen einen Luftvorhang, der sich in unmittelbarer Nähe der Scheibe befindet bzw. sich an diese anlegt. Damit kann ein Beschlagen der Scheiben verhindert werden.

Solche Räume weisen jedoch nicht nur Lufteinlässe im Fensterbereich, sondern auch in anderen Bereichen des Raumes auf, um ein angenehmes Reiseklima in der Lounge zu erreichen. Das kann zu einem unerwünschten Interagieren der unterschiedlichen Lufteinlässe führen – mit dem Ergebnis, dass das beabsichtigte Ziel der Fensterbelüftung keinesfalls erreicht wird.

Ohne auf die zahlreichen und zum Teil sehr zeitaufwendigen Aufgaben und Detailuntersuchungen zur numme-

rischen Abbildung (Stichwort: Generierung der Netzgitter bei stets zu geringer Speicherkapazität) der maßgeblichen geometrischen, kinematischen, thermischen und weiterer Randbedingungen einzugehen, wollen wir die Vorstellung ausgewählter Ergebnisse in den Fokus der Betrachtungen stellen.

In Abbildung 1 wird die Wirkung der Luftzuführung über dem Fenster bei veränderter Anstellung der vorgesehenen Luftleitbleche deutlich. Bei dieser zweidimensionalen Betrachtung ist gut zu erkennen, dass bereits geringe Veränderungen an der Stellung eines Leitbleches in dem Austrittskanal zur erheblichen Beeinflussung des Luftstrahls hinsichtlich Strömungsverteilung und Hauptströmungsrichtung führen (die Farbgebung weist auf die jeweilige örtliche Geschwindigkeit gemäß nebenstehender Farbskala hin).

Bei Kenntnis dieser Austrittsprofile sind dann Strömungssimulationen für den gesamten Raum möglich. Ergebnis-

se von Vorhersagen mittels eines ebenen Modellansatzes sind Abbildung 2 zu entnehmen. Die drei links im Bild dargestellten Szenarien geben einen guten quantitativen Überblick über die Auswirkungen der oben beschriebenen Leitblecheinstellungen auf die Geschwindigkeitsverläufe entlang des Fensters und in den Raum hinein. Der kundige Betrachter erkennt, dass bei diesen Simulationen die Luftzuführung einzig durch die Fensterbelüftung erfolgt. Im Gegensatz dazu weist die rechte Darstellung in Abbildung 2 eine völlig veränderte Raumströmung auf. Sie entsteht, wenn zusätzlich Luft von der Decke aus in den Raum geblasen wird. Von besonderer Bedeutung ist, dass dieser zusätzliche Luftstrom nicht nur erwartungsgemäß die gesamte Raumströmung beeinflusst, er beeinträchtigt auch die gewünschte Strömung entlang des Fensters signifikant.

Um nun eine umfassende Aussage über die sich einstellende dreidimen-

sionale Strömung im Aufenthaltsbereich der Passagiere treffen zu können, müssen sämtliche Zu- und Ablufteinheiten des Raumes in eine sogenannte Gesamtsimulation integriert werden. Die Ergebnisse einer derartigen Simulation zeigen im konkreten Fall, dass der Luftvorhang entlang der Fensterscheiben nur marginal an den Rändern gestört wird, wenn der Luftaustrittsstrahl auf die Scheibe gerichtet und die in der Decke angebrachten zusätzlichen Zuluftseinheiten gemäß Abbildung 3 angeordnet sind.

## Wertung und Validation der Ergebnisse

Erste Erfahrungen lehren, dass Detailaufgaben bei Raumluftproblemen mithilfe von CFD-Simulationen abgeklärt werden können. Es muss jedoch auch betont

werden, dass es sich um numerische Berechnungen handelt. Die zugrunde liegenden Differenzialgleichungen werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen zwar richtig gelöst, jedoch handelt es sich immer um Lösungen eines vereinfachten mathematischen Modells einer realen Welt. Insofern ist immer mit Abweichungen zwischen der Theorie und der Realität zu rechnen. Ergänzende Laborexperimente zur Validation der Theorie sind im Bereich der Fluid-Struktur-Analyse deshalb ein unbedingtes Muss.

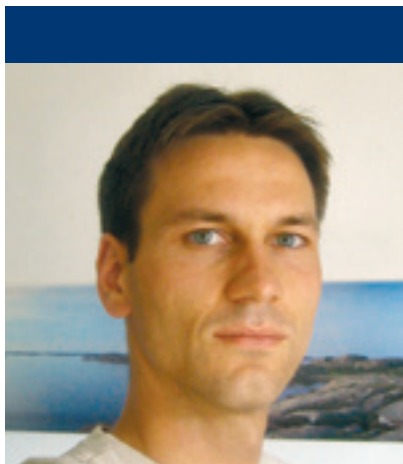
Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes konnte durch zusätzlich bereitgestellte Mittel ein an der Universität Rostock neuartiger Versuchsstand zur Durchführung experimenteller Analysen errichtet werden. Dieser ist u. a. mit moderner Laser- messtechnik ausgerüstet. ■

### Die Autoren



**Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen**  
geboren 1953 in Rostock; Studium der Schiffs- und Fischereitechnik; 1982 Promotion; 1990 Habilitation auf dem Gebiet der Meerestechnik an der Universität Rostock; von 1985 bis 1988 Industrietätigkeit; 1991 PostDoc-Stipendiat am Marine Research Institute Bergen, Norwegen; seit Wintersemester 1992/1993 Professor für Meerestechnik an der Universität Rostock; Vorstandsmitglied der German Association for Marine Technology, deutscher Vertreter im International Council for the Exploration of the Sea (ICES); Hauptforschungsgebiet: Fluid-Struktur-Wechselwirkungen an meeres-technischen Strukturen

**Universität Rostock**  
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik  
Lehrstuhl für Meerestechnik  
Albert-Einstein-Str. 2  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-9230  
E-Mail: mathias.paschen@uni-rostock.de



**Dipl.-Technomathematiker  
Henning Knuths**

geboren 1977 in Rostock; Studium und Abschluss 2004 mit Diplomarbeit am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung in Rostock; seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Meerestechnik; Projektbearbeitungen und Promotion mit der Zielrichtung, eine genauere Vorhersage von Raumluftströmungen zu ermöglichen; experimentelle Forschung mithilfe lasergestützter Messsysteme (PIV) und numerische Untersuchungen mittels CFD

**Universität Rostock**  
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik  
Lehrstuhl für Meerestechnik  
Albert-Einstein-Str. 2  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-9234  
E-Mail: henning.knuths@uni-rostock.de  
Internet: www.fms.uni-rostock.de/lmt

**WWF** for a living planet

**3 Euro retten seine Welt.**  
Helfen Sie dem WWF am Amazonas:  
**wwf.de**

Sende per SMS:  
**Amazonas**  
an die Rufnummer  
**81190**

Mit 3 Euro im Monat schützen Sie Lebensraum und Artenvielfalt am Amazonas. Mehr Infos unter: wwf.de. Einmalig spenden an den WWF: Konto 2000, Bank für Sozialwirtschaft Mainz, BLZ 550 205 00, Stichwort: Amazonas. Oder einfach per SMS\*.

\*Eine SMS kostet 2,99 €, davon gehen 2,82 € direkt an den WWF. Kein Abo, zzgl. Kosten für eine SMS.

### Südafrika

## „Lebensretter“

Fünfeinhalb Millionen Menschen in Südafrika sind mit dem HI-Virus infiziert. Doch nur ein Fünftel erhält lebensrettende Medikamente. Zackie Achmat, selbst HIV-positiv, gründete deshalb die Treatment Action Campaign (TAC). Er verweigerte sogar die eigene Aids-Therapie, bis die Regierung einen Aids-Plan verabschiedete. Die „Brot für die Welt“-Partnerorganisation TAC klärt heute mit mehr als 14.000 Freiwilligen in ganz Südafrika über Aids -Prävention und -Behandlung auf.

**Mit „Brot für die Welt“ stehen auch Sie auf gegen Ungerechtigkeit. Danke für Ihre Spende.**

**Brot für die Welt**  
www.brot-fuer-die-welt.de

Postbank Köln  
Konto 500 500 500  
BLZ 370 100 50  
Kennwort:  
Gerechtigkeit

# Offshore-Windparks in der Ostsee

## Strömungstechnische Auswirkungen auf das Ökosystem

Peter Menzel, Alfred Leder und Hans Burchard

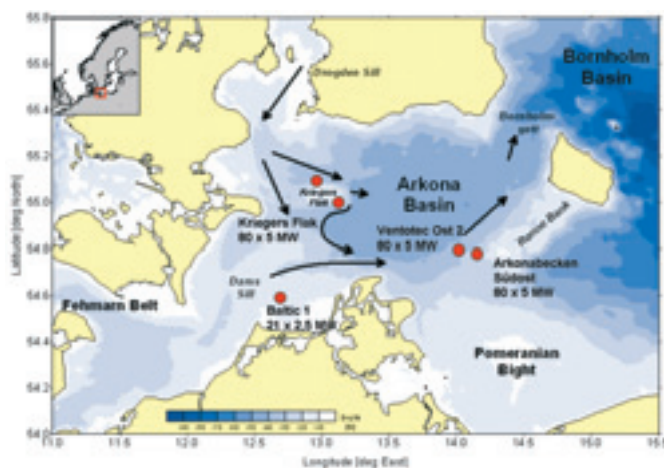


Foto: Peter Menzel

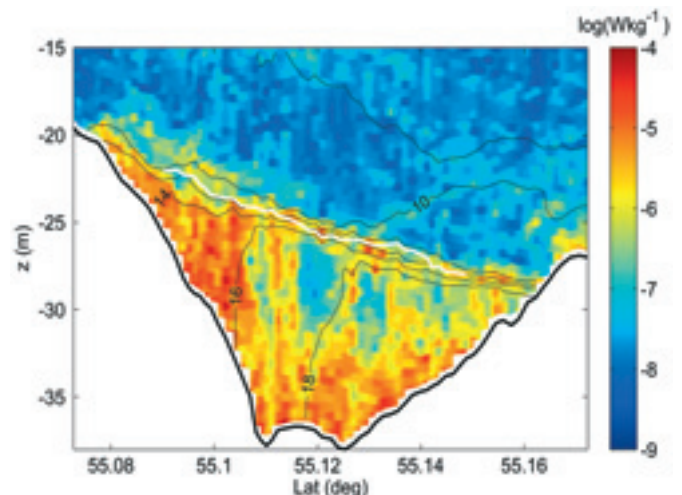
Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Erde. Sie ist über die Darßer Schwelle und die Drogden-Schwelle bei Kopenhagen (siehe Abbildung 1) sowie das Kattegatt mit den Weltozeanen verbunden. Nur durch diese sehr engen und flachen Gebiete kann sie mit Sauerstoff und Salz aus der Nordsee versorgt und somit das bestehende Ökosystem aufrechterhalten werden. Der Einstrom von Nordseewasser in die Ostsee tritt unregelmäßig und nur bei bestimmten Wetterlagen auf (etwa alle sechs bis acht Wochen).

Im Februar 2001 gelangen am Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde (IOW) erstmals detaillierte Messungen während eines mittelstarken Salzwassereintruchs in die Ostsee. Die Messdaten im Bereich der Arkonasee verdeutlichen, wie das salz- und sauerstoffhaltigere Nordseewasser am Boden der Ostsee entlangströmt. Neben der Geschwindigkeit und dem Salzgehalt wurden auch turbulente Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt (siehe Abbildung 2).

Mithilfe dieser Messungen sowie numerischer Modelle konnte die natürliche turbulente Einmischung salzärmeren Oberflächenwassers in das dichte Bodenwasser quantifiziert werden. Einströme in die Ostsee können über das Bornholm-Becken bis hinab in die tiefe Gotlandsee propagieren, wo sie von Sauerstoffzehrung beeinträchtigt Tiefenwasser erneuern und somit die Freisetzung von hohen Phosphatmengen aus dem Sediment zwischenzeitlich stoppen. Je stärker die Verdünnung des einströmenden Wassers mit Oberflächenwasser ist, desto weniger weit und tief können die Einströme in die



Die Ostsee ist über die Darßer Schwelle und die Drogden-Schwelle bei Kopenhagen sowie das Kattegatt mit den Weltozeanen verbunden (Abb. 1).



Dissipationsrate der turbulenten kinetischen Energie, gemessen in einem Schnitt nördlich von Kragerø Flak (Abb. 2)





Kanal für geschichtete Strömungen am Lehrstuhl Strömungsmechanik mit laseroptischer Messtechnik (Abb. 3)

Foto: Lehrstuhl Strömungsmechanik, Universität Rostock

Ostsee vordringen. Die turbulente Vermischung im Einstrombereich ist daher für die Ökologie der tiefen Becken von großer Bedeutung.

Mithilfe des numerischen Ostseemodells GETM (General Estuarine Transport Model) des IOW gelingt es, diese Einstromereignisse numerisch zu simulieren. So sind auch detailliertere Untersuchungen zum Verlauf der Strömung möglich. Die von Forschungsschiffen aus gewonnenen Daten lassen sich zur Validierung des Modells verwenden.

### Gefahr für das Ökosystem?

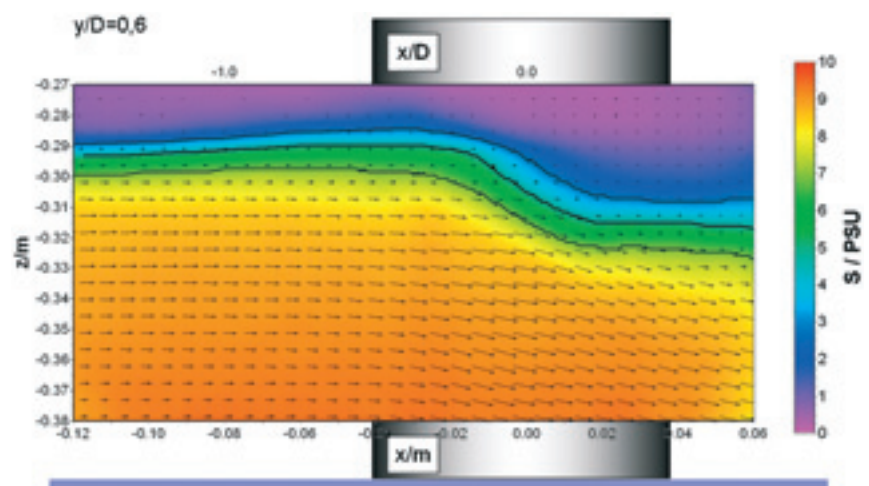
Doch diese für das Ökosystem Ostsee kritischen Vermischungsprozesse könnten unter Umständen durch bauliche Eingriffe verstärkt werden. Offshore-Windparks mit bis zu 200 Windenergieanlagen (WEA) und einer Gesamtleistung von einem Gigawatt sind im Bereich der Arkonasee geplant und zum Teil bereits genehmigt. Um den Einfluss der Fundamente solcher Offshore-WEA zu untersuchen und somit eine Grundlage für weitere Genehmigungsverfahren zu schaffen, wurde das Projekt QuantAS-Off formuliert (Quantification of Water Mass Transformations in the Arkona Sea: Impact of Offshore Wind Farms). Dieses Vorhaben wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Die Aufgaben des IOW umfassen neben der Durch-

führung weiterer Messungen in der Ostsee insbesondere die detaillierte Modellierung des Einstroms unter Einfluss von Offshore-Windparks.

Neben dem IOW ist der Lehrstuhl Strömungsmechanik der Universität Rostock an diesen Untersuchungen beteiligt. Die Strömungsmechaniker der Universität führen Laborexperimente durch. Auch die Ergebnisse der Laborexperimente sollen dazu beitragen, die numerischen Modellierungen zu verbessern. In einem Modellkanal (siehe Abbildung 3), der die realen Vorgänge im Maßstab 1:100 abbildet, wird der Ein-

strom salzreichen Wassers unterhalb einer ruhenden Frischwasserschicht, bei Einhaltung der densimetrischen Froudezahl, experimentell untersucht.

Hierbei werden mit laseroptischen Messtechniken die Strömungsvorgänge im Nachlauf eines Monopile-Fundamentes einer Offshore-WEA detektiert. Als optische Analysewerkzeuge werden unter anderem planar laser-induced fluorescence (PLIF) sowie particle image velocimetry (PIV) eingesetzt. Bei beiden Verfahren wird mit einem gepulsten Laser ein Lichtschnitt aufgespannt. Die dem Fluid beigemischten



Geschwindigkeitsfeld und Salinität neben dem Zylinder, gemessen mit PLIF/PIV im Kanal für geschichtete Strömungen. Deutlich ist der Einfluss des Fundamentmodells auf den Verlauf der Salzwasserströmung und der Mischungsschicht ersichtlich (Abb. 4).

Die Autoren



**Dipl.-Phys. Peter Menzel**

geboren 1980 in Kühlungsborn; Physikstudium an der Universität Rostock mit dem Schwerpunkt Atmosphärenphysik; seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Strömungsmechanik

**Universität Rostock**

Lehrstuhl Strömungsmechanik  
 Albert-Einstein-Str. 2  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-9314  
 E-Mail: peter.menzel@uni-rostock.de



**Prof. Dr.-Ing. Alfred Leder**

geboren 1949 in Salzgitter; Physikstudium an der TU Braunschweig; Promotion und Habilitation an der Universität Siegen im Fach Strömungsmechanik; seit 1994 Professor für Strömungsmechanik an der Universität Rostock, von 2004 bis 2008 Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

**Universität Rostock**

Lehrstuhl Strömungsmechanik  
 Albert-Einstein-Str. 2  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-9310  
 E-Mail: alfred.leder@uni-rostock.de



**Prof. Dr. rer. nat. Hans Burchard**

geboren 1959 in Hamburg; Lehramtsstudium in den Fächern Mathematik und Sport an der Universität Kiel; Promotion und Habilitation an der Universität Hamburg im Bereich Ozeanografie; seit 2002 Professor am Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde; unter anderem Leiter des Projektes QuantAS-Off

**Leibniz-Institut für Ostseeforschung**

Seestraße 15  
 18119 Rostock-Warnemünde  
 Tel.: 0381/5197-140  
 E-Mail: hans.burchard@io-warnemuende.de

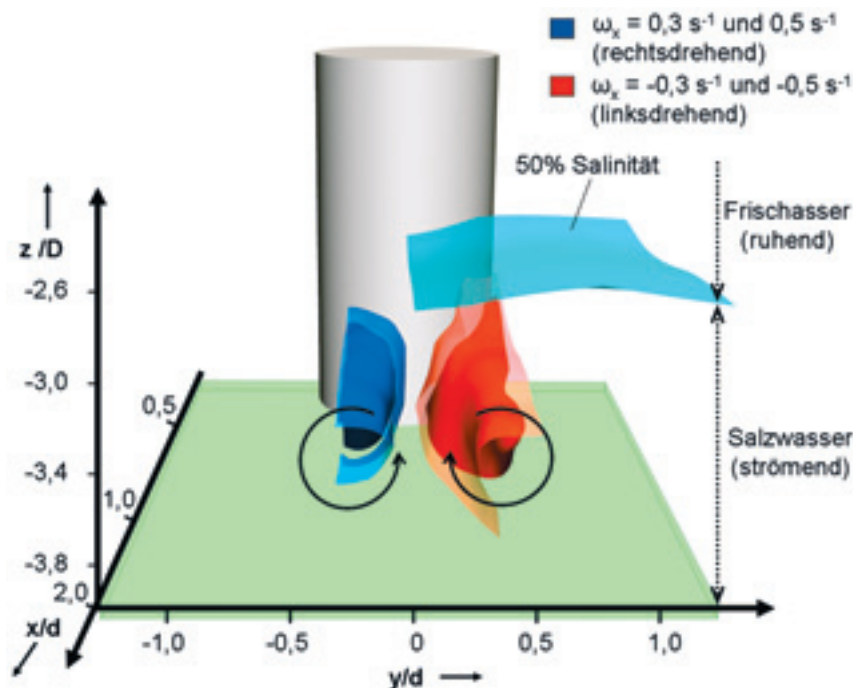
Schwebeteilchen werden mit speziellen CCD-Kameras detektiert. Aus zwei aufeinanderfolgenden Bildern kann dann eine Verschiebung des Partikelmusters und daraus die lokale Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden (siehe

Abbildung 4). Der dem Salzwasser beigefügte fluoreszierende Farbstoff gibt Aufschluss über die lokale Verteilung der Salzkonzentration. Diese Messungen liefern detaillierte Informationen zur Strömungsgeschwindigkeit, zum-

Salzgehalt sowie zu den turbulenten Schwankungen im Nachlauf des Fundamentmodells. So kann unter anderem auch die durch die Zylinderumströmung hervorgerufene turbulente Mischung quantifiziert werden.

Erste Ergebnisse der Laborexperimente ermöglichen eine Abschätzung des Einflusses von Offshore-WEA-Fundamenten unter den gewählten Bedingungen. Es ist festzustellen, dass Auswirkungen auf die Mischung der am Ostseegrund strömenden Salzwasserschicht nachweisbar sind (siehe Abbildung 4). Der Einfluss des Fundaments auf die Mischung ist lokal begrenzt und liegt in der Größenordnung der natürlich auftretenden Mischung. Wegen der Irreversibilität turbulenter Vermischung können diese lokalen Prozesse jedoch großskalige Auswirkungen haben. Die bei der Fundamentumströmung auftretenden großskaligen Wirbelstrukturen liegen innerhalb der Salzwasserschicht und durchdringen aufgrund der stabilen Schichtung nicht die Trennschicht zwischen Salz- und Brackwasser (siehe Abbildung 5).

Mithilfe von Computersimulationen wird zu zeigen sein, an welchen Standorten wie viele Windkraftanlagen tolerierbar sind, ohne das Ökosystem der Ostsee signifikant zu beeinflussen. ■



Mit dem Stereo-PIV-System ermittelte großskalige, dreidimensionale Wirbelstrukturen im Nachlauf des Zylinders (Abb. 5)

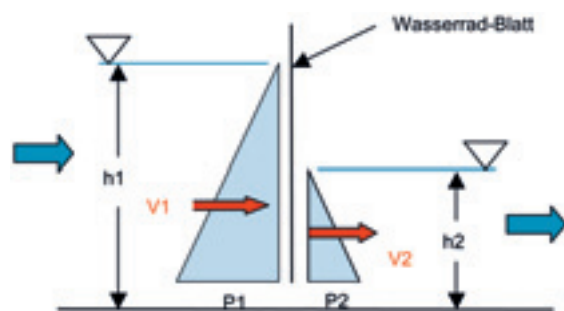
Die Universität Rostock ist an einem Forschungsvorhaben beteiligt, in dem Kleinwasserkraftanlagen zur Nutzung von geringen Fallhöhen entwickelt werden. Insgesamt arbeiten zehn Forschungseinrichtungen bzw. Unternehmen aus ganz Europa über einen Zeitraum von vier Jahren (2008 bis 2012) intensiv zusammen. Das Vorhaben trägt den Titel „Hydropower converters with very low head differences“ (HYLOW) und wird von der Europäischen Union im 7. Forschungsrahmenprogramm gefördert.

Fließgewässer, die für die Installation kleiner Wasserkraftwerke geeignet sind, stellen eine bedeutende Energieressource dar. Beispielsweise wird in Großbritannien das ungenutzte Potential auf 600 bis 1.000 Megawatt und in Deutschland auf mehr als 500 Megawatt geschätzt. Die derzeit vorhandenen Technologien zur Nutzung geringer Fallhöhen sind weder ökonomisch zu betreiben noch ökologisch vertretbar.

Ziel dieses Vorhabens ist es, Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis zu 1.000 Kilowatt zur Nutzung geringer Fallhöhen von bis zu 2,5 Metern zu entwickeln und zu optimieren. Diese Anlagen sollen ein deutlich besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis als vorhandene Anlagen aufweisen und mit heutigen Umweltschutzanforderungen sowie der EU-Wasserrahmenrichtlinie vereinbar sein.

In entwickelten Industrienationen stellt die Nutzung der Strömungsenergie schwach fließender Gewässer eine Ergänzung zu anderen regenerativen Energiequellen dar und eignet sich insbesondere für eine dezentrale Energieversorgung. Die entwickelten Kleinwasserkraftanlagen sollen in einem zweiten Schritt den Bedürfnissen von Entwicklungsländern angepasst werden (einfache, robuste, wartungsfreie und kostengünstige Bauart).

Die neuen, im Vorhaben zu entwickelnden Anlagen nutzen im Gegensatz



Funktionsprinzip der hydrostatischen Druckmaschine (Abb. 2)

# Wasserkraftanlagen zur Nutzung von geringen Fallhöhen

## Ein Forschungsvorhaben im 7. Forschungsprogramm der Europäischen Union

Klaus Brökel, Mathias Paschen und Peter Fröhle



Kleinmaßstäbliches Versuchsmodell (B ~0,45 m; L ~1,40 m) (Abb. 1)

Foto: Asc.-Prof. Dr. Gerald Müller, University of Southampton

zu bekannten Anlagen hydrostatische Druckdifferenzen zur Energieerzeugung. Theorien und Modelltests zeigen einen hohen Wirkungsgrad. Das grundsätzliche Funktionsprinzip ist in Abbildung 2 dargestellt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden drei verschiedene Funktionsprinzipien hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit

analysiert. Die Anwendungen konzentrieren sich auf:

- Flüsse mit geringen Fallhöhen von weniger als 2,5 Metern (Hydro-Power-Machine),
- Freistromumgebungen (Free Stream Energy Converter) und
- Wasserversorgungssysteme (Micro Turbine). Zur Entwicklung von Kleinwasserkraftanlagen für die

drei Anwendungsbereiche arbeiten jeweils mehrere Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Arbeitsgruppen zusammen (siehe Abbildung 3).

Die Lehrstühle Meerestechnik, Konstruktionstechnik/CAD und Küstenwasserbau schaffen die notwendigen Grundlagen für die Entwicklung eines „Free Stream Converter – FSEC“ unter Beachtung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Das finale Ziel des Vorhabens besteht im Bau und in der Langzeiterprobung eines Funktionsmusters.

Der FSEC ist eine schwimmende Wasserkraftanlage. Schwimmende Wasserkraftanlagen sind grundsätzlich keine neue Erfindung. Die erste überlieferte technische Beschreibung einer Wassermühle mit vertikalem Wasserrad stammt vom römischen Ingenieur Vitruv. Im Mittelalter wurden an nahezu allen Flüssen Europas Schiffsmühlen installiert, die

**Die Autoren**



**Dr.-Ing. Peter Fröhle**, Akademischer Rat  
 geboren 1962; Studium des Bauingenieurwesens an den Universitäten in Hannover und Bochum von 1983 bis 1991; 2000 Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Rostock; seit Januar 2005 Leiter der Arbeitsgruppe Küstenwasserbau im Institut für Umweltingenieurwesen an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock; Visiting Associate Professor at National Cheng Kung University Tainan, Taiwan (2007 und 2008)

**Universität Rostock**  
 Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
 Fachgebiet Küstenwasserbau  
 Justus-von-Liebig-Weg 6  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-3681  
 E-Mail: peter.froehle@uni-rostock.de



**Prof. Dr.-Ing. Klaus Brökel**  
 geboren 1951 in Magdeburg; Studium der Schiffstechnik – Festkörpermechanik an der Universität Rostock; 1980 Promotion zum Problem des instationär belasteten Kolbenbolzenlagers von Schiffsdieselmotoren; 1990 Habilitation zum Problem der Produktdatenmodellierung als Erweiterung der geometrischen 3D-Modellierung; seit 1993 Professor für Konstruktionstechnik und CAD an der Universität Rostock, Leiter des Lehrstuhles Konstruktionstechnik/CAD

**Universität Rostock**  
 Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik  
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD  
 Albert-Einstein-Str. 2  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-9170  
 E-Mail: klaus.broekel@uni-rostock.de



**Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen**  
 geboren 1953 in Rostock; Studium der Schiffs- und Fischereitechnik; 1982 Promotion; 1990 Habilitation auf dem Gebiet der Meerestechnik an der Universität Rostock; von 1985 bis 1988 Industrietätigkeit; 1991 PostDoc-Stipendiat am Marine Research Institute Bergen, Norwegen; seit Wintersemester 1992/1993 Professor für Meerestechnik an der Universität Rostock; Vorstandsmitglied der German Association for Marine Technology, deutscher Vertreter im International Council for the Exploration of the Sea (ICES); Hauptforschungsgebiet: Fluid-Struktur-Wechselwirkungen an meeres-technischen Strukturen

**Universität Rostock**  
 Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik  
 Lehrstuhl für Meerestechnik  
 Albert-Einstein-Str. 2  
 18059 Rostock  
 Tel.: 0381/498-9230  
 E-Mail: mathias.paschen@uni-rostock.de

teilweise bis heute betrieben werden. Der Wirkungsgrad einer Schiffsmühle ist jedoch gering. Der Wirkungsgrad der untersuchten Anlagen wird durch die Nutzung von hydrostatischen Druckunterschieden wesentlich erhöht. In ersten Modelluntersuchungen wurden Wirkungsgrade bis zu 60 Prozent (ohne Stromwandler) erreicht. Ein weiterer Vorteil des FSEC ist der Erhalt der Durchgängigkeit des jeweiligen Fließgewässers für Lebewesen, Sedimente und Schiffe (kein Verbau des Fließquerschnitts).

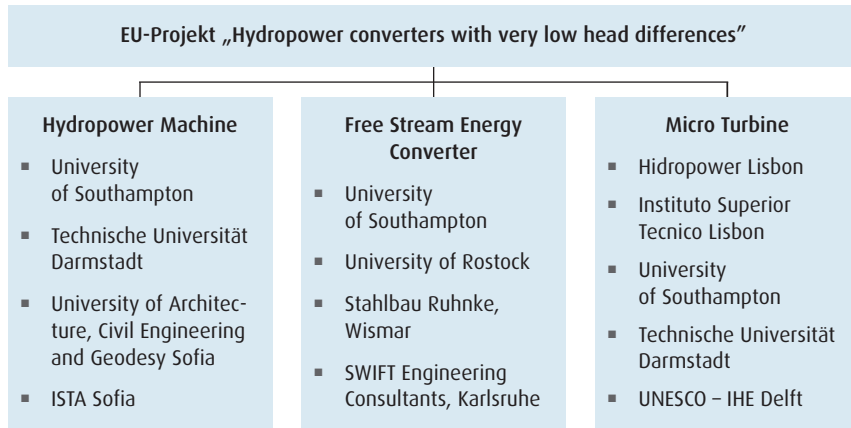
Abbildung 1 zeigt den FSEC als kleinmaßstäbliches Modell in einer ersten Konstruktionsvariante. Im Frühjahr 2010 werden an einem großmaßstäblichen Modell mit einer Länge von etwa sechs bis sieben Metern und einer Breite von etwa zwei Metern Untersuchungen in einem Fluss durchgeführt. Der erste Untersuchungsstandort wird in der Warnow sein. An einem zweiten Standort soll sich das großmaßstäbliche Modell zusätzlich noch unter Tideeinfluss und Schiffsverkehr beweisen.

Die Untersuchungen an großmaßstäblichen Modell in etwa zwei Jahren erfordern eine Reihe vorausgehender Arbeitsschritte, wie z. B.:

- Auswahl geeigneter Standorte und Genehmigungsverfahren zur Ausbringung des Modells
- Geometrieoptimierung des FSEC durch numerische Simulation und Laborexperimente sowie Umsetzung der Ergebnisse in einem entsprechenden Design für das großmaßstäbliche Modell
- Fertigung und Ausbringung des großmaßstäblichen Modells

Die Untersuchungsergebnisse unter natürlichen Umweltbedingungen sind Grundlage für die weitere Verbesserung und den Technologietransfer in die Praxis; sie werden zusammen mit den erstellten Konstruktionsunterlagen in einem Handbuch öffentlich verfügbar gemacht.

**Weitere Informationen unter:**  
[www.hylow.eu](http://www.hylow.eu)



Partner im EU-Projekt „Hydropower converters with very low head differences“ (Abb. 3)

# Neue Herausforderungen durch wachsenden Ostseeverkehr

Karl-Heinz Breitzmann



Foto: Matthias Timm

Die Ostsee ist eines der verkehrsreichsten Meere des Weltozeans, hier werden mehr als acht Prozent des Weltseehandels transportiert. Fährt man mit dem Schiff auf einer Route des Ostseelängsverkehrs, z. B. von Rostock nach Helsinki oder von Lübeck nach St. Petersburg, so sieht man ständig Mitläufer sowie entgegenkommende oder kreuzende Fähren, welche die Häfen des Süd- oder des Nordufers miteinander verbinden. Diese Verkehre ermöglichen und realisieren internationale Arbeitsteilung und erhebliche wirtschaftliche Effekte für die Küstenregionen. Sie werfen durch ihre rasche Zunahme aber auch eine Reihe von Zukunftsfragen auf.

## Hohe wirtschaftliche Dynamik im Ostseeraum

Die Wirtschaft im Ostseeraum wächst mit beachtlicher Dynamik. Weisen schon die nordischen Länder Steigerungsraten der wirtschaftlichen Leistung über dem EU-Durchschnitt auf, so erreichen die neuen Marktwirtschaften eindrucksvolle BIP-Zuwächse: Lettland 8,5 Prozent, Estland 8,3 Prozent, Litauen 7,2 Prozent, Russland 6,8 Prozent und Polen 4 Prozent (jeweils von 2000 bis 2007).

Der Außenhandel ist eine Triebkraft dieser Entwicklung. Beispielsweise er-

höhte sich der Außenhandel Deutschlands mit den Anrainerstaaten der Ostsee von 58,7 Milliarden Euro (1992) auf 209,3 Milliarden Euro (2007). Daran hatten die Ex- und Importe mit den Transformationsländern 1992 einen Anteil von 27,2 Prozent, im Jahre 2007 aber bereits von 59 Prozent.

Der Außenhandel wird durch den internationalen Transport physisch realisiert, seine Entwicklung ist damit auch die Grundlage für Struktur und Dynamik des Seetransports.

## Segmente des maritimen Ostseeverkehrs

Im Ostseeverkehr finden sich beinahe alle aus der Weltschifffahrt bekannten Seetransportsegmente und -technologien,

allerdings in einer recht spezifischen Ausprägung, die in der Tabelle unten verdeutlicht wird.

Die steigende Transportmenge auf der Ostsee überschreitet inzwischen 600 Millionen Tonnen Güter pro Jahr, die nächste Tabelle weist die dabei dominierenden Gütergruppen aus.

Mit 256 Millionen Tonnen (2006) machen Rohöl und Ölprodukte 44 Prozent des Gesamtumfanges aus. Diese Ölverschiffungen über die Ostsee wachsen erheblich an. Während die seewärtigen Ölimporte und -exporte der nordischen Länder auf hohem Niveau stagnieren, nehmen die Öllieferungen Russlands über Ostseehäfen stark zu. Russland betrachtet Öl als strategisches Gut, das über eigene Häfen zu leiten ist und baut dazu die Umschlagskapazität

Verkehrsrelation	Transporttechnologien/Einsatzarten		
	verarbeitete Produkte/Stückgüter	Rohstoffe/Massengüter/Massenstückgüter	Passagiere
Ostsee-externer Verkehr	Containerfeederdienste (Ro/Ro-Verkehr), Stückgutfrachter, Systemschiffe	mittelgroße Tanker, mittelgroße Bulkarrierer, Spezialschiffe	Kreuzschifffahrt
Ostsee-interner Verkehr	Fährverkehr, Ro/Ro-Frachtfähren, Stückgutfrachter	kleine und mittlere Tanker sowie Bulkarrierer, Spezialschiffe	Fährverkehr

Struktur des Ostseeverkehrs nach Verkehrsrelationen, Gutarten und Transporttechnologien

ten aus. So erreichte der Ende 2001 eröffnete Ölhafen Primorsk 2007 bereits eine Umschlagsmenge von 74 Millionen Tonnen. Insgesamt exportierte Russland im vorigen Jahr über eigene Häfen und im Transit über die baltischen Republiken etwa 150 Millionen Tonnen Öl im Vergleich zu 60 Millionen Tonnen im Jahre 2000.

Mengenmäßig an zweiter Stelle stehen Transporte von Schüttgütern, wie Kohle, Eisenerz, Getreide, Düngemittelrohstoffe und Düngemittel sowie Baustoffe. Ebenso wie beim Öl und bei Massenstückgütern (Holz, Metalle) dominieren bei diesen Gutarten ostsee-externe Transporte.

Ein spezifisches Transportschema charakterisiert den Containerverkehr mit dem Ostseeraum. Hier werden die Häfen nicht von den Großfrachtern der Überseelinien direkt angelaufen, sondern von Feederdiensten mit kleineren Containerschiffen (500 bis 1.000 20-Fuß-Einheitscontainer – TEU), welche die Container in den Hubports Hamburg, Bremerhaven und Rotterdam übernehmen. Der Containerumschlag in den Ostseehäfen ist von drei Millionen in 2000 auf 7,4 Millionen TEU in 2007 gestiegen, die durchschnittliche Zuwachsrate von 13,7 Prozent pro Jahr übertrifft damit noch die hohe Dynamik des Weltcontainerverkehrs. Zwischen den Häfen des Ostseeraumes werden die in Lkw geladenen hochwertigen Stückgüter vor allem durch Fähr- und Ro/Ro-Schiffe befördert. Auch diese Transporte nehmen stark zu, 2007 wurden bereits mehr als 3,5 Millionen Lkw/Trailer trajektiert.

Nicht zuletzt spielt auch der Passagierverkehr auf der Ostsee eine wichti-

ge Rolle. Fast 50 Millionen Passagiere mit acht Millionen Pkw nutzen jährlich internationale Fährverbindungen, und der Ostseeraum ist auch für die Kreuzschifffahrt eine immer beliebtere Destination.

Insgesamt ist das starke Transportwachstum auf der Ostsee mit einer deutlichen Strukturverschiebung hin zu den neuen Marktwirtschaften verbunden. Im Containerverkehr z. B. erreichen Russland, Polen und die drei baltischen Republiken heute einen Anteil von fast 50 Prozent am Gesamtumschlag gegenüber 24 Prozent im Jahre 2000.

### Einige zukünftige Herausforderungen

Die Transportentwicklung auf der Ostsee ist mit einer Reihe von zukünftigen Herausforderungen verbunden, von denen einige beispielhaft angesprochen werden sollen. So ist auch in den kommenden Jahren mit weiter wachsenden Seetransportmengen und steigendem Güterumschlag in den Ostseehäfen zu rechnen. Beispielsweise besagt eine Prognose für das Bundesministerium für Verkehr, dass der Güterumschlag der deutschen Seehäfen bis 2025 auf 143 Millionen Tonnen gegenüber 55 Millionen Tonnen im Jahre 2004 ansteigen könnte. Das erfordert in vielen Häfen des Ostseeraumes erhebliche Erweiterungen der Umschlagskapazitäten. Die notwendigen Zusatzflächen für Umschlag, Hafenlogistik und die Ansiedlung hafenverbundener Industrien führen oft zu Interessenkonflikten mit anderen potenziellen Nutzungen, sodass ein integriertes Küstenzonenmanagement dringlich ist.

#### Der Autor



**Prof. Dr. Karl-Heinz Breitzmann**

nach dem Studium der See- und Hafenvirtschaft 12-jährige Tätigkeit in einem Forschungsinstitut der Seeverkehrswirtschaft; seit 1976 an der Universität Rostock, 1982 bis 2006 Universitätsprofessor, Direktor des Instituts Verkehr und Logistik; seit 1995 Geschäftsführender Direktor des Ostseeinstituts für Marketing, Verkehr und Tourismus an der Universität Rostock, Forschungsfelder: maritime Logistik, Seeschifffahrt und Hafenvirtschaft im Ostseeraum, maritimer Tourismus, Transport und regionale Entwicklung

**Universität Rostock**  
Ostseeinstitut für Marketing,  
Verkehr und Tourismus  
Ulmenstr. 69  
18057 Rostock  
Tel.: 0381/498-4455  
E-Mail: karl-heinz.breitzmann@uni-rostock.de

Die besonders hohe Umweltsensibilität der Ostsee stellt wachsende Ansprüche an die Reduzierung der Emissionen der Schiffe auf See und in den Häfen. So soll der Schwefelgehalt im Schiffstreibstoff drastisch reduziert werden, was aber so erfolgen müsste, dass steigende Schiffskosten nicht zur Verlagerung von Seetransporten auf den Straßenverkehr führen. Um die Gefahren der Ölverschmutzung aufgrund der weiter anwachsenden Tankerbeförderungen zu minimieren, werden umfangreiche Maßnahmen zur Erhöhung der Schiffssicherheit und zur Bekämpfung möglicher Schäden fortgesetzt. Für die erforderliche internationale Koordination arbeiten alle Ostseeanrainer aktiv in der International Maritime Organisation und der HELCOM mit.

Gutart	Gesamttransport Anteil		Ostsee-externer Transport (Mio. t)	Ostsee-interner Transport (Mio. t)
	(Mio. t)	%		
Flüssige Güter	556,8	44,2	201,8	55,0
Schüttgüter	139,8	24,1	103,6	36,2
Containergüter	50,6*	8,7	46,2	4,4
Ro/Ro-Güter	69,7	12,0	13,5	56,2
sonstige Güter (Massenstückgüter)	63,7	11,0	48,0	15,7
Gesamt	580	100,0	413,1	167,1

**Struktur des maritimen Ostseetransports 2006 (Tabelle 2)**

\*inkl. Norwegen, Quelle: eigene Berechnungen nach Eurostat März 2008

Der maritime Tourismus hat sich – seitdem Herzog Friedrich Franz I. von Mecklenburg-Schwerin in Heiligendamm vor 215 Jahren das erste deutsche Seebad eröffnete – auch in unserer Region sehr dynamisch und vor allem facettenreich entwickelt. Neben dem klassischen Badeurlaub werden mittlerweile unterschiedlichste Formen des maritimen Tourismus angeboten. Eine wesentliche Spielart ist inzwischen – auch in Deutschland – der Kreuzfahrttourismus, der seit nunmehr drei Jahrzehnten überproportionale Wachstumsraten zeigt und im Jahr 2007 weltweit 16 Mio. Passagiere angelockt hat. An dieser Entwicklung partizipiert auch die Ostsee, deren Passagierzahl sich seit 1998 mehr als vervierfacht hat. Allein der Kreuzfahrthafen Rostock-Warnemünde konnte seine Passagierzahl von 53.000 bei 47 Anläufen im Jahr 2000 zu 150.000 Passagieren bei 103 Anläufen in 2008 erhöhen.

Eine Kreuzfahrt ist letztlich eine besondere, weil mit besonderen Qualitätsansprüchen behaftete Pauschalreise, bei der das Erlebnis der Reise auf offener See sowie der Anlauf unterschiedlichster Hafenstädte im Vordergrund stehen. Für Ostseekreuzfahrten sind beispielsweise neben den obligatorischen Seetagen mit den Services an Bord die Anläufe in den Hauptstädten der Ostseeanrainer und in Sankt Petersburg die besonderen Qualitätsmerkmale. Das Kreuzfahrtschiff fungiert dabei nicht nur als Transportmittel, sondern steht als eigenständige Urlaubsdestination für Erholungs-, Vergnügungs- und Erlebnismöglichkeiten an Bord. Aus Sicht des Touristen schließt die Pauschalreise „Kreuzfahrt“ in der Regel die Buchung der Reise, die An- und Rückreise, die Kreuzfahrt im engeren Sinne mit den Teilleistungen der Reise an Bord, mit den vielfältigen Dienstleistungsangeboten und die Reiseroute mit den jeweiligen Landausflügen sowie die Reiseleitung ein. In diesem Sinne stellt die Kreuzfahrt ein touristisches Dienstleistungsbündel aus einer Abfolge von Einzel- bzw. Teilleistungen dar, die häufig von verschiedensten Dienstleistungsanbietern erbracht werden. Die Qualität dieses Dienstleistungsbündels zu gestalten und dabei die Qualität der Teilleistungen auf hohem und höchstem Niveau zu koordinieren, ist eine besondere Herausforderung des Dienstleistungsmanagements.

# Qualität im maritimen Tourismus

## Analysen zur Qualitäts- wahrnehmung am Beispiel des Kreuzfahrttourismus

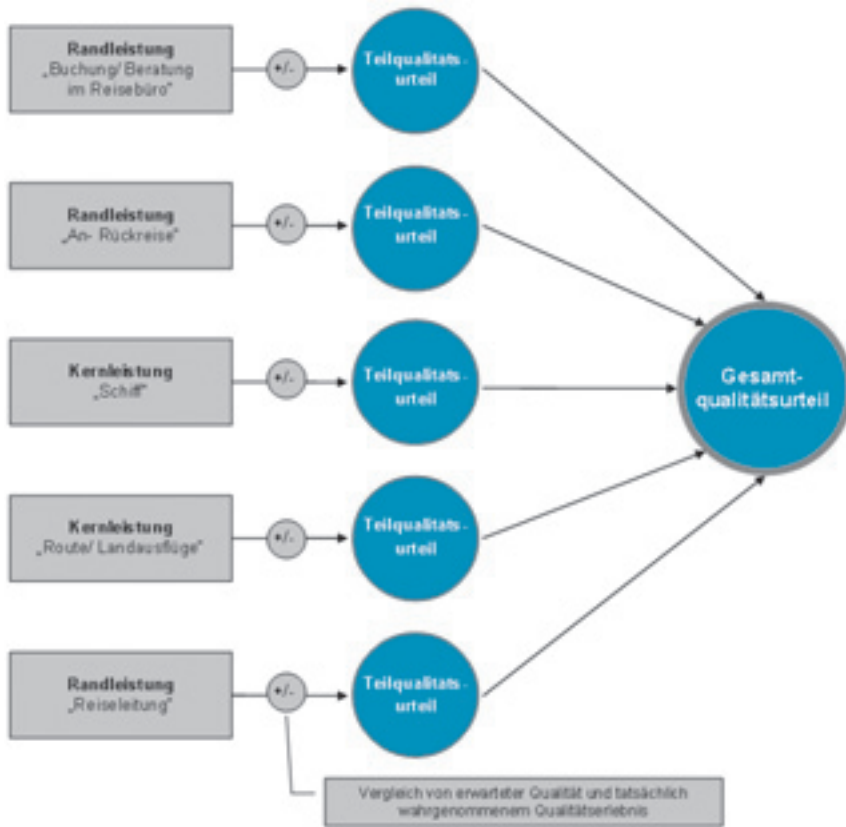
Martin Benkenstein und Bettina Holtz



Kreuzfahrthanlauf in Warnemünde Quelle: Rostock Port/Nordlicht

Mit der Messung der Qualitäts-wahrnehmung von derartig komplexen Dienstleistungsbündeln und der darauf aufbauenden Steuerung hat sich das Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung bereits seit langem beschäftigt. So wurden Qualitätswahrnehmungen von Dienstleistungen in der

5-Sterne-Hotellerie durch deren Gäste ebenso untersucht wie die Qualitätsbeurteilung in Universitätskliniken durch die Patienten. Vor diesem Hintergrund ist das Institut – nachdem der Kreuzfahrtboom in der Ostsee offensichtlich wurde – auch der Frage nachgegangen, wie die Qualität im komplexen Dienst-



Differenzierung von Teilleistungen in Kern- und Randleistungen am Beispiel der Kreuzfahrt (in Anlehnung an Zielke, K. (2004): Qualität komplexer Dienstleistungsbündel, a. a. O., S. 126) (Abb. 1)

leistungsbündel einer Kreuzfahrt von den Passagieren wahrgenommen wird und in welcher Form die Teilleistungen die Gesamtqualität dieses Dienstleistungsbündels beeinflussen. Das am Institut entworfene Qualitätsmodell von ZIELKE zur Operationalisierung und Steuerung der Qualität komplexer Dienstleistungsbündel im Kreuzfahrt-tourismus liefert hierzu wesentliche Forschungserkenntnisse.

Grundlage des Qualitätsmodells ist die konsequent kundenorientierte Interpretation der Qualitätsorientierung. Danach ergibt sich die Qualität nicht direkt aus der angebotenen Leistung, sondern wird durch die vom Kunden wahrgenommene Qualität konstituiert. Diese bestimmt sich aus dem Vergleich zwischen der Qualitätserwartung an eine Dienstleistung und dem tatsächlichen Qualitätserlebnis.

Vielfältige Untersuchungen – auch am Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung – belegen, dass die Beurteilung eines komplexen Dienstleistungsbündels wie das der Kreuzfahrt durch den Kunden nicht ganzheitlich erfolgt, sondern der Passagier auf der Ebene der Teilleistungen Qualitäts-

urteile fällt, die er dann zu einem Gesamtqualitätsurteil verdichtet. Unge- wiss – jedoch für das Qualitätsmanagement wesentlich – ist die Einflussstärke der einzelnen Teilleistung auf die Qualitätsbewertung der Kreuzfahrt insgesamt. Nach ZIELKE lässt sich diese anhand der wahrgenommenen Bedeutung der einzelnen Teilleistung für den Kunden messbar machen. Dies ermöglicht eine Differenzierung der Teilleistungen in Kernleistungen und Randleistungen. Kernleistungen sind solche Leistungen, denen der Passagier eine große Bedeutung beimisst und die damit einen Hauptnutzen für den Touristen liefert. Hingegen verkörpern die Randleistungen jene Leistungen, die weniger bedeutend sind und einen geringeren Nutzen stiften. Wesentliche Forschungsleistung war es, Indikatoren zu identifizieren, anhand derer die nicht direkt beobachtbare wahrgenommene Bedeutung gemessen werden konnte. Dadurch wurde es möglich, eine Zuordnung der verschiedenen Teilleistungen einer Kreuzfahrt zu den Kern- oder zu den Randleistungen vorzunehmen. Danach sind die Kernleistungen einer Kreuzfahrt die Seereise auf

dem Schiff mit den verschiedenen Dienstleistungsangeboten sowie die Reiseroute mit den unterschiedlichen Hafenanläufen. Randleistungen sind hingegen die Buchung, die An- und die Rückreise sowie die Dienstleistungsangebote der Reiseleitung.

Neben der Aufgliederung der Teilleistungen in Kern- und Randleistungen war zu hinterfragen, wie die einzelnen Leistungsangebote die Wahrnehmung der Gesamtqualität einer Kreuzfahrt beeinflussen. Hierzu wurden – unter Rückgriff auf das Kano-Modell der Qualitätsbeurteilung – dem Qualitätsmodell für den Kreuzfahrttourismus drei Anforderungsarten zugrunde gelegt, die sich hinsichtlich ihres Einflusses auf die durch die Passagiere wahrgenommene Dienstleistungsqualität unterscheiden: Basisanforderungen betreffen die minimalen Erwartungen des Konsumenten und werden vom Kunden vorausgesetzt. Werden diese nicht erfüllt, führt dies zu einem negativen Qualitätsurteil. Eine Erfüllung oder auch Übererfüllung dieser Anforderungen bewirkt jedoch keine höhere Qualitätsbewertung, es kann lediglich der Zustand der „Nicht-Unzufriedenheit“ herbeigeführt werden. Demnach hat die Nichterfüllung dieser Anforderungen einen größeren Einfluss auf die Gesamtqualität als ihre Erfüllung.

Leistungsanforderungen haben hingegen das Potenzial, die Qualitätswahrnehmung in positiver wie in negativer Art zu beeinflussen. Diese Anforderungen an die Qualität einer Kreuzfahrt werden vom Kunden zumeist ausdrücklich artikuliert. Sie führen bei Übererfüllung zu einer proportional höheren Qualitätswahrnehmung, bei Untererfüllung zu entsprechender Wahrnehmung von Qualitätsmängeln.

Die dritte Kategorie beschreibt Begeisterungsanforderungen, deren Erfüllung eine überproportionale Erhöhung der Qualitätswahrnehmung ermöglicht. Andererseits bleibt das Nichterfüllen ohne Wirkung, da für diese Anforderungen beim Kunden keine Erwartungshaltung besteht.

Das Zusammenwirken der drei Anforderungskategorien bei der Aggregation der einzelnen Qualitätsurteile zur Gesamtqualität der Kreuzfahrt erfolgt auf hierarchische Weise. So kann eine hohe Qualitätswahrnehmung erst dann entstehen, wenn die Basisanforderungen erfüllt sind, die Leistungsfaktoren positiv beurteilt und/oder Begeiste-



rungsfaktoren wahrgenommen werden. Nicht erfüllte Basisanforderungen können folglich nicht durch positive Qualitätsbewertungen anderer Teilleistungen kompensiert werden.

Empirische Analysen auf der Grundlage von Befragungen von Kreuzfahrtpassagieren durch das Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung konnten in weiten Teilen die beschriebenen Annahmen stützen. So konnten beispielsweise für die Kernleistung der Seereise auf dem Schiff mit den verschiedenen Dienstleistungsangeboten u. a. die Basisanforderungen „Beratung durch das Personal“ sowie „Bordshop“ und die Leistungsanforderungen „Ausstattung der Kabine“ und „Angebotsvielfalt der Speisen und Getränke“ identifiziert werden. Als Begeisterungsanforderungen gelten bei den Passagieren beispielsweise die Lage der Kabine oder – damals noch – die Einrichtung von Nichtraucherzonen. Für die Randleistung „An- und Rückreise“ stellen u. a. die „Freundlichkeit des Personals“ und das „Unterhaltungsprogramm“ die Basisanforderungen dar. Der „Service an Bord“ sowie der „Gepäcktransport“ werden als Leistungsanforderungen eingestuft. Begeisterungsanforderungen bestehen für diese Randleistung augenscheinlich nicht.

Die Untersuchung der Korrelation zwischen der Einzel- und Gesamtqualitätsbewertung der befragten Kreuzfahrtpassagiere zeigte den größeren Einfluss der Qualitätselemente der Kernleistungen auf das Gesamturteil gegenüber dem der Randleistungen. Auch

### Die Autoren



#### Prof. Dr. Martin Benkenstein

geboren 1957 in Holzwickede; Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität in Münster, 1986 Promotion, 1992 Habilitation; seit 1992 Professor und Direktor des Instituts für Marketing und Dienstleistungsforschung an der Universität Rostock; Hauptforschungsgebiete: Dienstleistungsqualität und Dienstleistungsinnovationen, insbesondere bei komplexen Dienstleistungen (Tourismus, Bankwesen), Methoden der Marktforschung im Bereich der Dienstleistungen

#### Universität Rostock

Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung  
Ulmenstraße 69  
18057 Rostock  
Tel.: 0381/498-4377  
E-Mail: martin.benkenstein@uni-rostock.de



#### Dipl.-Kffr. Bettina Holtz

geboren 1980 in Rostock; Ausbildung zur Bankkauffrau; Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Rostock; seit November 2006 bei Prof. Dr. Martin Benkenstein am Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig; Hauptforschungsgebiet: Implikationen der demografischen Entwicklung im Kaufverhalten

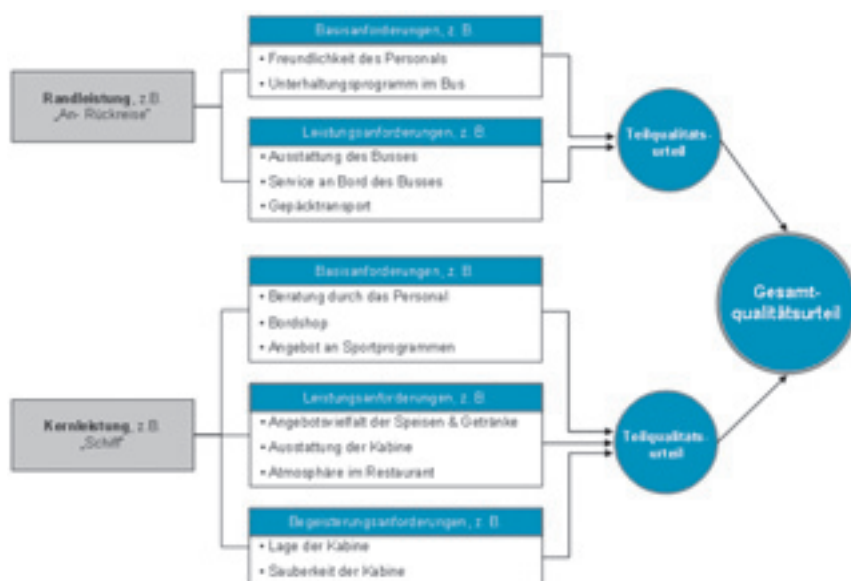
#### Universität Rostock

Institut für Marketing und Dienstleistungsforschung  
Ulmenstraße 69  
18057 Rostock  
Tel.: 0381/498-4377  
E-Mail: bettina.holtz@uni-rostock.de

die Untersuchung der Wirkungszusammenhänge bei der Verdichtung der Einzelurteile zu einem Gesamturteil ergab die wichtige Erkenntnis, dass eine positive Qualitätseinschätzung der Randleistung es nicht vermag, ein

negatives Einzelurteil einer Kernleistung zu kompensieren.

Für das Qualitätsmanagement touristischer Dienstleistungsanbieter ergeben sich daraus wertvolle Handlungsempfehlungen. So ist die Fokussierung auf die Dienstleistungsqualität der Kernleistungen von zentraler Bedeutung. Ebenso wichtig ist die Erkenntnis, die Randleistung unter Kostengesichtspunkten auf einem Mindestqualitätsniveau zu halten. Schließlich zeigt sich, dass sich negativ wahrgenommene Teilleistungsqualitäten – insbesondere bei den Kernleistungen – auf das Gesamtqualitätsurteil des Bündels qualitätsmindernd auswirken. Die qualitätsorientierte Kooperation und Koordination innerhalb der Dienstleistungskette ist daher ganz besonders relevant. Die Dienstleistungsanbieter, die gemeinsam das Dienstleistungsbündel erstellen, stehen daher vor der wesentlichen Aufgabe, ihr Qualitätspaket richtig zusammenzustellen. Die Festlegung teilleistungsübergreifender und damit auch anbieterübergreifender Qualitätsstandards und -normen ist somit für den Kreuzfahrttourismus unerlässlich. ■



Qualitätsanforderungen am Beispiel der Kreuzfahrt (in Anlehnung an Zielke, K. (2004): Qualität komplexer Dienstleistungsbündel, a. a. O., S. 134) (Abb. 2)

# Vom Acker in die Ostsee

## Landwirtschaftliche Stoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer

Bernd Lennartz, Petra Kahle und Bärbel Tiemeyer



Beeinflussung der Gewässerqualität durch Dränung (Abb. 1) Foto: Kahle



Messstation (Abb. 2) Foto: Lennartz

Zu hohe Nährstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer können katastrophale Folgen für die aquatischen Ökosysteme haben und zum Ab- und Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten führen. Maßnahmen zum Schutz der Gewässer setzen umfangreiche Kenntnisse über die Transportwege und Umsetzungsmechanismen von landwirtschaftlich ausgebrachten Nährstoffen voraus. Auf welchen Pfaden gelangen die Stoffe in die Ostsee, welche Rolle spielen die Böden der Landschaft und was können wir tun? Diese und ähnliche Fragestellungen werden vom Institut für Landnutzung der Rostocker Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät seit Jahren sehr intensiv untersucht.

### Hintergrund

Wer kennt es nicht: Man freut sich auf ein erfrischendes Bad im See oder auch im Meer, aber anstatt klaren Wassers erwartet man eine trübe, algendurchsetzte Brühe. Die dafür verantwortliche jährliche Algenblüte in unseren Gewässern ist durchaus ein natürlicher Prozess, der aber durch eine zu hohe Nährstoffzufuhr erheblich verstärkt wird. Die Nährstoffe stammen bevorzugt aus Kläranlagen und aus der Landwirtschaft.

Bedingt durch die Erneuerung vieler Kläranlagen in den zurückliegenden Jahren und durch moderne Klärtechniken rücken die Landwirtschaft und die flächenhaft ausgebrachten Düngemittel mehr und mehr als Verursacher der hohen Nährstoffbelastung der Gewässer in den Mittelpunkt.

### Experimentelle Untersuchungen

Seitens des Instituts für Landnutzung der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät werden umfangreiche Feldarbeiten zur Erfassung der Nährstoffflüsse in der Landschaft durchgeführt. Einen Schwerpunkt der Forschung bildet die Untersuchung künstlicher Entwässerungssysteme, die dafür sorgen, dass die Ackerflächen im Frühjahr rechtzeitig befahren und bearbeitet werden können.

Es stellte sich die Frage, welche Bedeutung diese Dränssysteme für die Abflussbildung und den Nährstoffaustrag haben. Ein hierarchischer Versuchsaufbau mit Messstationen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen,



Durchflussmessung am Dränsammler (Abb. 3) Foto: Kahle

z. B. an einzelnen Dränsträngen, aber auch an Gräben und am Flüsschen Zarnow, lieferte eindeutige Belege für die Dominanz der Dränssysteme für das Abflussgeschehen in unserer Landschaft. Während der Hauptabflussperiode im Winter reagieren die Drän-systeme sehr schnell, häufig innerhalb weniger Stunden, auf Niederschläge. Das anfallende Dränwasser wird unmittelbar in der Vorflut, die durch Gräben und Bäche gebildet wird, abfluss-wirksam.

Hinsichtlich der Nährstoffeinträge in die Gewässer konnte Erstaunliches beobachtet werden: Immer wenn im Winter Abflussspitzen auftreten, gibt es auch Konzentrationsspitzen des Haupt-nährelements Stickstoff in Form von Nitrat, und zwar an allen Messstationen. Intuitiv würde man erwarten, dass Niederschläge zur Verdünnung der Nährstoffgehalte im Bodenwasser führen und somit entsprechend geringere Konzentrationen bei hohen Abflüssen auftreten. Da aber das Gegenteil beobachtet werden konnte, ist zu vermuten, dass die Nährstoffvorräte in den landwirtschaftlichen Nutzböden sehr hoch, quasi unbegrenzt sind und es eine Frage der Abflussintensität ist, mit welcher Konzentration der Stoff ausgewaschen wird. Anhand von Modellrechnungen mit einem räumlich differenzierten hydrologischen Modell konnte bestätigt werden, dass gerade in Jahren mit über-durchschnittlichen Niederschlägen mit

noch höheren als den bisher gemessenen Stoffausträgen zu rechnen ist.

### Was bringt die Zukunft?

Zukünftige Entwicklungen werden maßgeblich durch die Verknappung fossiler Energieressourcen und den spürbaren Klimawandel gesteuert. Die politisch forcierte Gewinnung alternativer Energien, z. B. Biogas, führt bereits heute zu einer verschärften Konkurrenz um die Ressource Boden mit dem Ergebnis einer deutlichen Preiserhöhung für Agrarprodukte (z. B. Mais).

Insgesamt ist also eher mit einer mit erhöhtem Nährstoffeinsatz verbundenen Produktionssteigerung als mit einer Produktionsreduktion zugunsten öko-

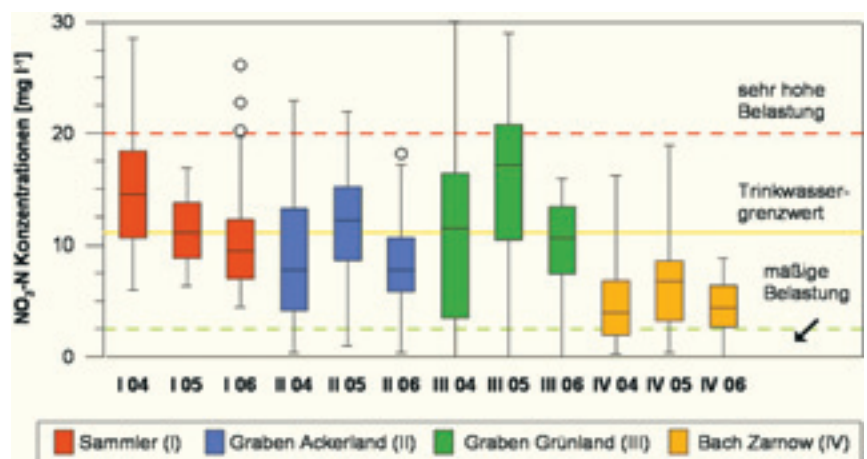


Automatische Probenahme und Datensicherung (Abb. 4) Foto: Lennartz

logischer Belange zu rechnen. Auch die zu erwartende Klimaentwicklung, die durch erhöhte Winterniederschläge im Baltischen Raum gekennzeichnet sein wird, trägt potenziell zu höheren Nährstoffeinträgen in die Gewässer bei.

### Was können wir tun?

Der hohe Produktionsdruck, der auf unseren Böden lastet, wird vermutlich dazu führen, dass die Nährstoffzufuhr zukünftig nicht erheblich gesenkt wird, obwohl aus Umweltsicht geringere Düngermengen wünschenswert wären. Wir können aber nicht nur auf der Input-Seite (Düngergaben), sondern auch auf der Output-Seite regulierend eingreifen.



Variation der Nitrat-Stickstoffkonzentration an verschiedenen Messstationen (Abb. 5)

Grafik: Tiemeyer

Die Autoren



**Dr. agr. Petra Kahle**

Studium der Pflanzenproduktion an der Universität Rostock; die Promotionsschrift befasste sich mit der Beeinflussung des Kationenhaushaltes von Böden durch Beregnung mit Salzwasser; derzeit wissenschaftliche Mitarbeiterin, Arbeit an Projekten zum Stoffaustausch aus Böden über Dränung sowie zu Fragen des Bodenschutzes in Stadtgebieten

**Universität Rostock**  
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-3183  
E-Mail: [petra.kahle@uni-rostock.de](mailto:petra.kahle@uni-rostock.de)

Das aus den Ackerflächen abströmende Wasser (insbesondere aus Dränflächen) könnte man behandeln bzw. einer Nutzung zuführen, bevor es in die Flüsse und schließlich ins Meer gelangt. Dabei gilt, das Wasser möglichst lange in der Landschaft zu halten, weil so mehr Zeit für Nährstoffumbau und -abbau zur Verfügung steht. So wäre z. B. die



**Dr.-Ing. Bärbel Tiemeyer**

Studium Landeskultur und Umweltschutz an der Universität Rostock und an der University of Newcastle upon Tyne (GB) Sustainable Management of the Water Environment; die Promotionsarbeit beschäftigte sich mit der Messung und Modellierung von Stoffaustausch aus künstlich entwässerten Einzugsgebieten; derzeitige Forschungsschwerpunkte sind der Wasser- und Stoffhaushalt von Mooren und Tieflandeinzugsgebieten sowie die hydrologische Modellierung

**Universität Rostock**  
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-3180  
E-Mail: [baerbel.tiemeyer@uni-rostock.de](mailto:baerbel.tiemeyer@uni-rostock.de)

Einrichtung von künstlichen Feuchtgebieten, in die das nährstoffbelastete Wasser eingeleitet wird, möglich. Eine Nutzungsoption für diese Feuchtgebiete ist die Produktion „neuer“ Energiepflanzen (z. B. Bambus oder besondere Schilfpflanzen), sodass den Landwirtschaftsbetrieben keine Flächen für die Produktion verloren gehen. ■



**Prof. Dr. Bernd Lennartz**

Studium der Agrarwissenschaften mit Schwerpunkt Bodenkunde und Wasserwirtschaft in Kiel; die Promotionsarbeit zum Transport von Pestiziden in Böden umfasste Laborexperimente in Kiel und Modellstudien an der Cornell University in New York; nach der Promotion Wissenschaftler in Montpellier, Frankreich, Forschung zur Pestizidverlagerung im Weinbau; Habilitation 1999 im Fach Wasserwirtschaft und Hydrologie an der Universität Kiel; 2000 auf die Professur Bodenphysik und Ressourcenschutz nach Rostock berufen; neben den laufenden Arbeiten zum Boden- und Gewässerschutz in Mecklenburg-Vorpommern konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten auf die Hydrologie von Reisböden im Südosten Chinas

**Universität Rostock**  
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock  
Tel.: 0381/498-3190  
E-Mail: [bernd.lennartz@uni-rostock.de](mailto:bernd.lennartz@uni-rostock.de)



Foto: RDRS

**Bangladesch**

**Zeichen des Klimawandels**

Bangladesch leidet. Der Anstieg des Meeresspiegels, mehrfache Überschwemmungen im Jahr und häufigere Wirbelstürme zerstören die Lebensgrundlage vieler Bewohner. ProdiPan, Projektpartner von „Brot für die Welt“ schützt Häuser gegen Überschwemmungen und baut Brunnen für sauberes Trinkwasser. Er fördert den Anbau salzresistenter Produkte, beispielsweise von Schilfrohr oder Gräsern, die sich weiterverarbeiten und auf dem Markt verkaufen lassen und sichert so die Existenz tausender Menschen.

**Mit „Brot für die Welt“ setzen Sie Zeichen gegen den Klimawandel. Danke für Ihre Spende.**

*Ich möchte mehr Infos über die Arbeit von „Brot für die Welt“*

- Senden Sie mir Unterlagen über Ihre Aktion, Ihre Partner und den Einsatz der Spendenmittel.
- Ich möchte über Ihre laufenden Aktivitäten per E-Mail-Newsletter informiert werden.

Name

Straße

PLZ/Ort

E-Mail

Postfach 10 11 42  
70010 Stuttgart  
Postbank Köln  
500 500 500



# Nachhaltige Nutzung der Meereszonen – geht das?

## Das Beispiel der Seefischerei

Detlef Czybulka

Quelle: [www.pixellio.de](http://www.pixellio.de), Foto: Jürgen Mittag

Der Forschungsplan für das Departement „Maritime Systeme“ weist als wichtigen Teilbereich die nachhaltige Entwicklung und das Management von Küsten- und Meereszonen aus. Entwicklung setzt aber einen gesicherten Grundbestand (englisch: stock) und dessen nachhaltige Nutzung voraus. Dass wir davon trotz rechtlicher und politischer Bemühungen im Bereich der Nutzung der lebenden Ressourcen noch weit entfernt sind, zeigt das klassische Beispiel der Seefischerei. Eine Lösung des Problems verlangt radikales Umdenken, Anpassung der Rechtsgrundlagen und eine neue Fischereipolitik, weltweit und in der EU.

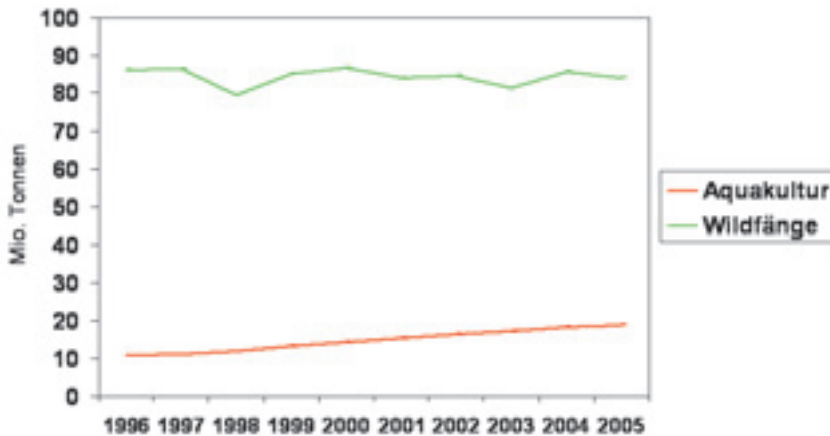
Dass die Nutzung durch den Menschen die Meere entscheidend beeinflussen kann, wurde früher für unmöglich gehalten. Dies hat Hugo Grotius in seinem Werk „Mare Liberum“, das im Jahre 1609 erschien, im Einzelnen dargestellt. Noch bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts erschienen die Weltmeer-

re als eine faktisch unendliche Ressource. Man hielt deren Aufnahmefähigkeit für Verschmutzungen und das Potenzial der wirtschaftlich nutzbaren Fischbestände für fast unbegrenzt. Spätestens der durch exzessive Überfischung verursachte Zusammenbruch der Kabeljaubestände vor Labrador in den 1980er Jahren hätte die Fachwelt und Politiker eines Besseren belehren sollen, handelte es sich doch um die weltgrößten Bestände an Kabeljau. Diese haben sich bis heute nicht erholt.

Es besteht also heute kein Zweifel mehr daran, dass die meisten menschlichen Nutzungen mit zum Teil schwerwiegenden Auswirkungen auf das marine Ökosystem und damit auch auf die marine Biodiversität verbunden sind. Das Meer ist mit seinen Ökosystemen, seinen hydrografischen und klimatischen Bedingungen und Leistungen eine überragend wichtige Voraussetzung für das Leben auf der Erde. Veränderungen seiner biologischen, chemischen oder

physikalischen Eigenschaften und seiner Ökosysteme können mit Effekten für das Überleben der Menschheit verbunden sein. Nicht ohne Grund wurde der spektakuläre Roman „Der Schwarm“ von Frank Schätzing ein Welterfolg. Dieser Beitrag greift aus dem großen Bereich der Gefährdung der marinen Ökosysteme das Beispiel Seefischerei heraus.

Auch andere Bereiche wären gut geeignet, die Probleme, wie man zu einer wirklich nachhaltigen Nutzung kommt, anschaulich zu machen. Dies wären etwa Themen wie die landseitige Verschmutzung der Meere durch diffuse Quellen, wie den Verkehr und die Landwirtschaft, die marine Öl- und Gasförderung, die marine Kies- und Sandentnahme oder der Tourismus als Mischnutzung mit vielfältigen Problemen vor allem im Küstenbereich. Wir werden analysieren, was gegenwärtig – auch in der Ostsee – passiert und daraus Rückschlüsse ziehen, wie ein nachhaltiges (also erhaltendes) Management



Marine Fischerei und Aquakultur weltweit (1996 bis 2005) (Abb. 1)

der Fischbestände möglich ist und mit welchen Ansätzen und rechtlichen Instrumenten dies umgesetzt werden könnte.

### Ausgangssituation

Die Ausgangssituation heute ist denkbar schlecht: Die Überfischung ist nach dem Klimawandel der bedeutendste Stressfaktor für die marinen Ökosysteme. Die technische Aufrüstung der Fangschiffe, sei es in der Schleppnetz-fischerei (sogenannte Trawler) oder in der Langleinensfischerei, mit modernsten Hilfsmitteln, wie Radar, Echolot („Fishfinder“) und GPS, führt zu einem immer höheren Fangdruck auf die Fischbestände. Außerdem verlangen die teuren Investitionen hohe „Erträge“. Dazu kommt, z. B. in der EU, eine mindestens 60-prozentige Überkapazität der Fischereiflotte.

Der Grad der Überfischung ist regional unterschiedlich: Noch findet die Fischerei zu etwa 90 Prozent küstennah auf dem Kontinentalschelf statt, dies entspricht nach der rechtlichen Zuordnung etwa der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) und bei der Jagd auf benthische Lebewesen dem Festlandsockel. Betrachtet man weltweit speziell die Seefischerei (marine Fischerei) und die Marikultur (marine Aquakultur), so stellt man fest, dass anders als bis in die früheren 1990er Jahre die Fischerlandungen trotz dieser deutlich verbesserten Fangtechnik (hier wurden „Produktionszuwächse“ von jährlich fünf Prozent und mehr festgestellt) und trotz deutlich gesteigerter Bevölkerungszahlen und Nachfrageerhöhungen nicht gestiegen sind, sondern leicht sinken.

Die Seefischerei ist also, ähnlich wie die Erdölförderung, an einem „Peak“ angelangt. Auch Aquakultur im Meer (Marikultur) kann dies nicht kompensieren. Hier gibt es zahlreiche ökologische und veterinärmedizinische Probleme in den traditionellen Aquakulturländern, wie Japan, China und Korea, aber auch in Vietnam, Indonesien und in Südamerika, wo die Mangroven-Wälder zur Bildung von Aquakulturanlagen gerodet werden. Nach Schätzung der FAO, der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen, sind fast 50 Prozent der kommerziellen Fischbestände bis an ihre Grenzen ausgeschöpft oder bereits überfischt. In den europäischen Meeren liegt die völlige Ausschöpfung bzw. Überfischung bei 90 Prozent, sodass nahezu alle in Europa genutzten Fischbestände überfischt sind und stark abgenommen haben. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) hat in seinem Sondergutachten „Meeresum-

weltschutz für Nord- und Ostsee“ (2004) alle wichtigen Daten für Nord- und Ostsee zusammengetragen.

Ein weiteres Absinken der Fangmengen konnte weltweit nur dadurch verhindert werden, dass neue Flotten mit besserer Technik in bislang wenig befischte Bereiche der tieferen See vorgedrungen sind. Dort werden Fische gefangen, die bisher nicht auf dem Speisezettel der Menschheit standen. Etliche Fischarten, z. B. Haie und Rochen, sowie fast alle Tiefseearten zeichnen sich durch ein langsames Wachstum und eine späte Geschlechtsreife aus. Diese Arten reagieren besonders sensibel auf die Auswirkungen der Fischerei, bis hin zum Aussterben der Art. Das ist auch die traurige Geschichte des Orange Roughy (*Hoplostethus atlanticus*). Der in größerer Tiefe lebende Fisch zählt zur Ordnung der Schleimkopfartigen. Das hört sich nicht gut an, deshalb wurde der Fisch lieber Kaiserbarsch genannt. Kaum war der appetitlich aussehende Fisch entdeckt und gezielt befischt worden, kam er an die Grenze der Ausrottung.

Insbesondere beim Einsatz von Langleinen kommt es zum Beifang (Bycatch), dieser betrifft aber nicht nur Meereslebewesen, sondern auch Vögel.

Jährlich verenden Albatrosse in sechsstelliger Zahl in den Netzen und Langleinen der Fischerei. Albatrosse können Flügelspannweiten von über 350 Zentimetern erreichen und gehören zu den besten Fliegern überhaupt. Weil sie einen außerordentlich langsamen Fortpflanzungszyklus haben, sind etliche Albatrossarten aufgrund des Beifanges inzwischen bestandsgefährdet. Im



Beifang von Vögeln (Abb. 2 a-c) Quelle: Greenpeace

Bereich von Nord- und Ostsee belegen Studien, z. B. an Eisenten (*Clangula hyemalis*), Ähnliches: In der Pommerschen Bucht fallen diese der dort betriebenen Stellnetzfischerei zum Opfer. Auch die in der Ostsee vom Aussterben bedrohten Schweinswale verfangen sich hier und ertrinken.

Schädlich auf das marine Ökosystem wirkt sich auch der Fang von unerwünschten Nichtzielarten aus. Der sogenannte Discard („Rückwurf“) überschreitet den Fang der Zielarten zum Teil bei Weitem. So kommen bei der Fischerei auf Seezungen (*Solea solea*), einer demersalen Art und zugleich einer der begehrtesten und teuersten Speisefische, in der Nordsee auf ein Kilogramm Seezunge bis zu neun Kilogramm Nichtzielarten, die wieder in das Meer zurückgeworfen werden und dort zu fast 100 Prozent verenden.

Der Stör und der Lachs sind schon vor Jahren fast vollständig aus der Nordsee verschwunden, der Dornhaibestand (von ihm stammen die „Schillerlocken“) gilt als akut bedroht. Inzwischen hat sich auch die Situation des europäischen Aales zunehmend verschlechtert.

Ein weiteres Problem in den Weltmeeren ist das sogenannte „Ghost-fishing“. Es entsteht durch verloren gegangene, gekappte oder weggeworfene Netze. Diese treiben noch Jahre durch das Meer und fangen weiter Fische, Meeressäuger und Vögel. Schließlich schädigen vor allem auch in Europa Grundschleppnetz- und Baumkurrenfischerei den Meeresboden und die dort ansässigen Lebensgemeinschaften. Insbesondere durch das Fischen auf Hartstrukturen (Riffe, Kaltwasserkorallen, Muschelbänke) ist die marine Biodiversität gefährdet. Aber auch auf Weichböden werden die Meeresorganismen massiv beeinträchtigt.

Die Fischereintensität in der Nordsee ist so groß, dass viele Gebiete dreibis fünfmal pro Jahr mit schweren Schleppgeschirren befishet werden, die das Sediment regelrecht durchpflügen. Dass es in diesen Gebieten zu erheblichen Schädigungen der Meeresfauna und -flora insgesamt kommt, liegt auf der Hand. Es ist von daher nicht zu verstehen, dass das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in einem „Umweltbericht“, einer sogenannten „strategischen Umweltprüfung“ (SUP) aus dem Jahre 2008, davon spricht, dass die



Beifang und Discard (Abb. 3 a-c) Quelle: Greenpeace; GRD

Fischerei allenfalls eine geringfügige Beeinträchtigung der Ökosysteme zur Folge habe, eine massive Verharmlosung der Situation.

### Rechtliche Instrumente

Auf globaler, regionaler und küstentaatlicher Ebene bestehen verschiedene rechtliche Instrumente zur Bewirtschaftung der Fischbestände und zum Schutz der marinen Ökosysteme (siehe Abbildung 5). Sie lassen sich in solche einteilen, die die Seefischerei direkt (und den Schutz der Biodiversität nur mittelbar) betreffen, und in solche, deren Ziel in erster Linie der Schutz der Ökosysteme ist und die lediglich indirekt auf die Fischerei einwirken.

In der AWZ haben die Küstenstaaten nach Art. 56 ff. des UN-Seerechtsüber-

einkommens (SRÜ), das auch als „Grundgesetz der Meere“ bezeichnet wird, das vorrangige Recht zur Ausbeutung (und zum Schutz) der lebenden und nicht lebenden Ressourcen und damit auch zur Bewirtschaftung der Fischbestände. Ausgangspunkt ist nach Art. 61 SRÜ das System der Festsetzung des insgesamt erlaubten Fangs (Total Allowable Catch – TAC) durch die Küstenstaaten. Es hat sich für den Schutz der Fischbestände als nur eingeschränkt tauglich erwiesen und bietet kaum Möglichkeiten, die Auswirkungen der Fischerei auf andere, vergesellschaftete oder – in der demersalen Fischerei – sonstwie betroffene Arten und deren Habitate zu steuern. Ergänzende völkerrechtliche Bestimmungen, wie das Straddling Fish Stocks Agreement (SFSA), gelten entweder nicht für die AWZ oder lei-

Bewirtschaftung der Fischbestände – Instrumente	
<b>Global</b> Art. 61 ff. SRÜ (TAC, MSY) Straddling Fish Stocks Agreement (UN) Verhaltenscodices (FAO, EU)	<b>Europa</b> North-East-Atlantic-Fisheries-Commission International Baltic Sea Fishery Commission (aufgelöst) International Council for the Exploration of the Sea (ICES) OSPAR (soweit ihre Ziele betroffen sind), HELCOM Gemeinsame Fischereipolitik der EU
<b>Regional</b> Regional Fisheries Managements Organisations (RFMOs)	

Bewirtschaftung der Fischbestände – Instrumente (Abb. 5) Quelle: Czybulka

den an mangelnder rechtlicher Verbindlichkeit, wie der Verhaltenscodex (Code of Conduct) für verantwortungsvolle Fischerei der FAO.

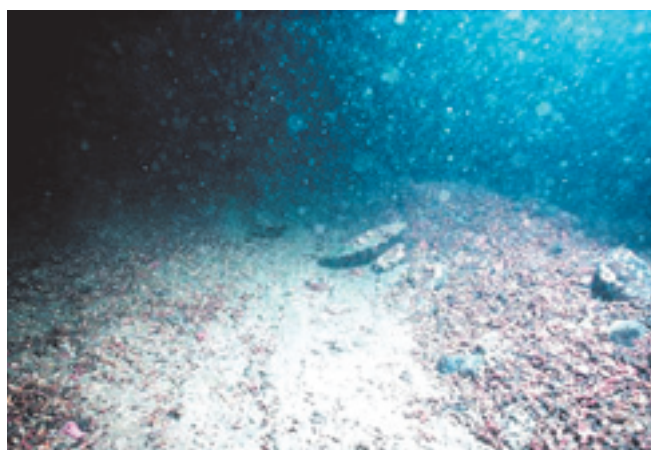
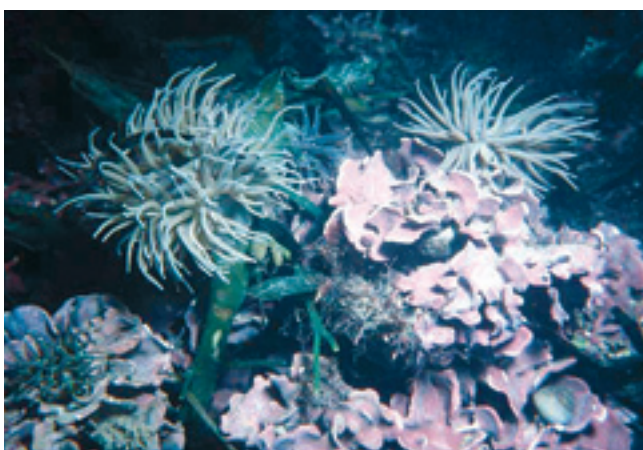
Das Komplizierte in diesem „Kaskaden-System“ aus Völkerrecht, europäischem Gemeinschaftsrecht und nationalem Recht kann hier nicht näher betrachtet werden. Sehr vereinfacht gesagt, gibt es im Bereich des Fischereirechts einen Gegensatz zwischen dem Nutzungsregime im SRÜ und dem seit 2002 geltenden europäischen Fischereirecht. Dem SRÜ liegt der Gedanke zugrunde, dass die Fischbestände auf einem Niveau gehalten werden können, das den höchst möglichen Dauerertrag (Maximum Sustainable Yield, MSY) garantiert. Andere Instrumente kennt das SRÜ nicht, wohl aber das SFSA, das z. B. Erhaltungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen für Arten, die zu denselben Ökosystemen wie die Zielarten gehören, vorschreibt und Datenerhebungs- und Forschungsprogramme fordert. Das SFSA ist aber bis heute nur von 57 Staaten unterzeichnet und ratifiziert worden, das SRÜ von 155 Staaten und Völkerrechtssubjekten.

Die Gemeinsame Fischereipolitik (GFP) der EU kennt seit 2002 einen ansatzweise ökosystemorientierten Ansatz, wonach in der GFP u. a. mit langfristigen Wiederauffüllungsplänen und Managementplänen gearbeitet werden kann bzw. könnte. Neben der viel zu hohen Flottenkapazität liegt das entscheidende Moment auch auf europäischer Ebene darin, dass es keine (rechtliche und tatsächliche) Integration von Fischereirecht und Naturschutzrecht gibt, trotz der entsprechenden Grundlagen im Primärrecht nach Art. 6 und Art. 176 des EG-Vertrages. In der Europäischen Union (EU) ist die Zuständigkeit für die Bewirtschaftung der lebenden Meeresschätze vollständig und endgültig auf die Gemeinschaftsorgane übergegangen. Diese setzen dann auch das TAC-System aus Art. 61 SRÜ durch die Gemeinsame Fischereipolitik um. Die zuständigen Gemeinschaftsorgane, der (Fischerei-)Rat und die Kommission (zuständig die Generaldirektion „Maritime Affairs and Fisheries“) beachten bei der Ausübung ihrer Kompetenz die wissenschaftlichen Empfehlungen des ICES nur unzureichend.

Das Recht sieht eine stärkere Bindungswirkung nicht vor, sodass politische Rücksichten auf die Klientel der Fischer sehr oft im Vordergrund stehen. Die Folgen sind aber auch für die Fischer selbst „bestandsgefährdend“: Ohne gesunde Fischbestände gibt es keine wirtschaftlich überlebensfähige Seefischerei.

Man wird sich überlegen müssen, wie die Milliarde Euro, die die EU jährlich für die Fischerei ausgibt, sinnvoller eingesetzt werden kann. Derzeit wird jedenfalls das EG-Meer nicht nachhaltig bewirtschaftet. Nicht ganz so ausbeuterisch ist die Arbeitsweise der sogenannten kleinen Küstenfischerei, wie sie vor allem in der Ostsee betrieben wird. Aber auch diese „Kutterfischerei“ ist nicht überlebensfähig, wenn die Bestände in der Ostsee zusammenbrechen, was bezüglich der Dorschbestände bereits der Fall ist.

Gibt es Abhilfe? Zunächst muss einschränkend bemerkt werden, dass das Recht nur menschliche Aktivitäten regulieren kann und zu seiner Durchsetzung ein Überwachungssystem gebraucht wird, was gerade im Meer aufwendig ist. Weltweit grassiert deshalb wegen dieser Kontrolldefizite die illegale, nicht gemeldete und unregulierte Fischerei (Illegal, unregulated and unreported fishing, IUU). Der zweite außerjuristische Punkt ist die sogenannte Allmende-Problematik, auch bekannt unter dem Stichwort „Tragedy of the commons“ (Hardin). Auch hier spielt das illegitime Verhalten der Fischer eine Rolle, denn nicht selten werden die Fangquoten oder die eingeräumten Fangtage überschritten, um doch noch etwas mehr zu fangen als die Konkurrenz. Die Einräumung von



Auswirkungen der Grundschieppnetzfisherei (Abb. 4 a-b) Quelle: Dr. Jason Hall-Spencer, University of Plymouth



Eigentumsrechten oder eigentumsähnlichen Rechten an gewissen Seegebieten ist völkerrechtlich (bislang) nicht möglich, weil kein Küstenstaat in der AWZ (und erst recht nicht in der Hohen See) Souveränitätsansprüche stellen kann, sondern nur funktional beschränkte Hoheitsrechte hat. Man kann das Meer aber auch dem Markt nicht überlassen, das Ergebnis stellen wir heute fest.

Ein wirksames Instrument könnte in der Einrichtung von Schutzgebieten (Marine Protected Areas, MPAs) liegen, die zugleich eine Rückzugs- und Regenerationsfunktion für die bewirtschafteten Fischarten hätten. MPAs sollen nach grundsätzlichen Beschlüssen der Völkergemeinschaft nicht nur küstennah, sondern auch im marinen Bereich in der AWZ und der Hohen See errichtet werden. Die völkerrechtlichen Probleme für die Einrichtung von MPAs auf der Hohen See sind allerdings bislang noch sehr groß. Generell wird von vielen Fischereistaaten befürchtet, die Einrichtung dieser Schutzgebiete sei in Wahrheit ein verkapptes Fischereiverbot für die Drittstaaten. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, dass bereits heute der Küstenstaat in seiner AWZ die Fischerei in Schutzgebieten aus ökologischen Gründen für jedermann schließen könnte.

Die Naturschutzpolitik liegt in der EU grundsätzlich in den Händen der Mitgliedsstaaten. Dem steht allerdings die Auffassung von Kommission und Rat entgegen, nur die Gemeinschaftsorgane und nicht die Mitgliedstaaten seien befugt, in den Schutzgebieten (FFH- und Vogelschutzgebiete) Regelungen zu treffen, die mit (mittelbaren) Wirkungen auf die Fischerei verbunden sind. Diese Auffassung trifft zwar in dieser Undifferenziertheit nicht zu, aber es sind offenbar noch viele Gesprächsrunden erforderlich, um den auch hier dahinterstehenden Ressortegoismus zu überwinden.

Die Zukunft kann ohnehin nur in einem ökosystemaren Ansatz (Ecosystem Approach) liegen. Verbal hat sich auch die EU in der sogenannten Meeresstrategie-Richtlinie vom 17. Juni 2008 dahingehend festgelegt, dass wegen des zu hohen Drucks auf die natürlichen Ressourcen des Meeres es das „oberste Ziel einer Meerespolitik“ sein müsse, die biologische Vielfalt der Ozeane und Meere zu bewahren. Die Realität spricht eine andere Sprache. ■

## Der Autor



### Prof. Dr. iur. habil. Detlef Czybulka

1944 in Reisers (Oberschlesien) geboren; Studium der Rechtswissenschaften in München und Genf/Schweiz; erste Staatsprüfung und Promotion in München; praktische Tätigkeit als Rechtsanwalt in München, zugleich wissenschaftlicher Assistent am Juristischen Fachbereich der Universität Augsburg; 1984 Lehrbeauftragter an der Universität Augsburg, 1987 Habilitation daselbst, Lehrstuhlvertretungen in Trier, Heidelberg, Augsburg sowie forensische und gutachterliche Tätigkeit im Öffentlichen Recht; Oktober 1993 Ruf nach Rostock, von 1996 bis 2002 und ab 2008 geschäftsführender Direktor des Instituts für Anwaltsrecht und anwaltsorientierte Juristenausbildung an der Universität Rostock, 1998 bis 2002 Richter am Obergericht Mecklenburg-Vorpommern, 2000 bis 2002 Dekan der Juristischen Fakultät, 2002 bis

2006 Prorektor für Studium, Lehre und Evaluation der Universität Rostock; Hauptforschungsgebiete: Umweltrecht, insbesondere Naturschutzrecht, Seerecht, Verwaltungsprozessrecht; interdisziplinäre Aspekte des Schutzes und der Nutzung von Ressourcen

#### Publikationen:

[www.jura.uni-rostock.de/Czybulka/forschung/veroeffentlichungen.html](http://www.jura.uni-rostock.de/Czybulka/forschung/veroeffentlichungen.html)

#### Letzte Buchveröffentlichungen:

Zusammen mit Katrin Stredak: Rechtsfragen der marinen Kies- und Sandgewinnung in Nord- und Ostsee, Baden-Baden 2008.

Aktuelle Entwicklungen im Europäischen Naturschutzrecht, Baden-Baden 2007.

Zusammen mit H. Bauer/W. Kahl/A. Vosskuhle: Wirtschaft im offenen Verfassungsstaat (Hrsg.), München 2006.

#### Herausgeberschaften:

Geschäftsführender Herausgeber der Zeitschrift für Europäisches Umwelt- und Planungsrecht (EurUP), Mitherausgeber der Zeitschrift „Natur und Recht“ (NuR); Herausgeber der Beiträge zum Landwirtschaftsrecht und zur Biodiversität im Nomos-Verlag

#### Universität Rostock

Juristische Fakultät  
Richard-Wagner Str. 31  
18119 Rostock-Warnemünde  
Tel.: 0381/498-8251  
E-Mail: [detlef.czybulka@uni-rostock.de](mailto:detlef.czybulka@uni-rostock.de)

## Glossar

### Begriffsbestimmungen:

*benthisch*: im/am Sediment (Meeresgrund) lebende Organismen

*demersal*: über dem Meeresgrund lebend (Tiere) oder eingesetzt (Fanggerät)

*pelagisch*: landferne Hochseeregionen; gemeint ist insbesondere die Wassersäule

### Abkürzungen:

FAO	Food and Agriculture Organisation = Welternährungsorganisation
GFP	Gemeinsame Fischereipolitik (der EU)
GPS	Global Positioning System = Globales Positionsbestimmungssystem
HELCOM	Helsinki-Commission, Kommission des Helsinki-Übereinkommens = Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets
ICES	International Council for the Exploration of the Sea = Internationaler Rat für Meeresforschung
IUU	Illegal, unregulated and unreported (fishing)
MPAs	Marine Protected Areas = Meeresschutzgebiete
MSY	Maximum Sustainable Yield = höchstmöglicher Dauerertrag
OSPAR	Oslo-Paris-Übereinkommen = Convention for the protection of the marine environment of the North-East-Atlantic
SFSA	Straddling Fish Stocks Agreement = Übereinkommen über die Erhaltung und Bewirtschaftung gebietsübergreifender Fischbestände und weit wandernder Fischbestände der Vereinten Nationen
SRÜ	Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen
TAC	Total Allowable Catch = gesamte zulässige Fangmenge

# Auf dem Weg zur „Modellregion“?

## Politik und politische Systeme im Ostseeraum

Nikolaus Werz



Im Vergleich zur bisweilen stürmischen Nordsee gilt die Ostsee als Meer der Mäßigung und der Stille, gleichwohl lag sie keineswegs im Windschatten der Geschichte. Zur Zeit des Kalten Krieges verlief hier die Grenze zwischen den politischen Systemen. Hinter der von der Sowjetunion propagierten Bezeichnung „Meer des Friedens“ verbarg sich auch die Vorstellung von einem geschlossenen Gewässer (mare clausum). Die Atlantiker und Vertreter aus den USA sprachen schon mal von einer „roten Binnensee“. Seit den friedlichen Revolutionen von 1989 in einigen Ostseeländern ist die Region in Bewegung geraten und politisch zusammengewachsen.

Auffallend sind zunächst die politischen Veränderungen, die alle neun Anrainerstaaten ergriffen haben: Deutschland ist vereint und wirtschaftlich die bedeutendste Kraft in der Region. Dänemark ist kein Außenstaat der EU mehr. Schweden und Finnland sind seit 1995 Mitglieder der EU. Polen und die drei wieder entstandenen baltischen Staaten Estland, Lettland und Litauen sind 2004 beigetreten. Russland sieht seinen Zugang zur Ostsee reduziert; die Befürchtung, dass Kaliningrad zu einer Art „Enklave“ innerhalb der EU werden könnte, hat sich indessen nicht bestätigt gesehen. In jüngster Zeit fand dort aufgrund des finanziellen Zustroms aus Russland wirtschaftliches Wachstum statt.

Die Befürchtung, dass sich die vormalige Sowjetunion dem politischen Wandel entgegenstellen würde, hat sich nicht bestätigt. „Baltisierung statt Balkanisierung“ heißt es zum nahezu friedlichen Wandel im Ostseeraum.

### Wasser verbindet, Land trennt

Die vormaligen staatssozialistischen Länder befinden sich im schnellen Übergang zu offenen Gesellschaften, wobei gerade die Bürger in den baltischen Republiken Optimismus und Selbstbewusstsein an den Tag legen. Die nordischen Länder Dänemark, Schweden, Finnland und Norwegen gelten als Vorreiter und Modelle des universalistischen Wohlfahrtsstaates und profilieren sich nun beim Aufbau von Wissensgesellschaften. Dies gilt gerade für Finnland. Nachdem die engen Beziehungen zur vormaligen SU aufgegeben wurden, entwarf das Land eine auf Export orientierte Strategie mit Blick auf die Globalisierung. Die Erfolge von Nokia und auch das mittlerweile in Deutschland bekannte finnische Erziehungssystem haben Anteil daran. Gerade mit Blick auf die baltischen Republiken entfaltet auch das Prinzip der Gegenküste seine Wirkung. In Estland befinden sich zahlreiche Zuliefererindustrien für die finnische Produktion, in Lettland sind Anfang der 1990er Jahre schwedische Universitäten aktiv geworden.

### Moderne Zivilgesellschaften

Die nordischen Staaten haben im 20. Jahrhundert einen bemerkenswerten Aufstieg vollzogen. In der Vergangenheit waren die von Natur aus nicht

#### Der Autor



#### Prof. Dr. Nikolaus Werz

geb. 1952 in Bonn; 1971 argentinisches und deutsches Abitur in Buenos Aires; 1977 Erstes Staatsexamen; 1980–1981 wissenschaftlicher Mitarbeiter am CENDES, Caracas; 1983 Promotion zum Dr. phil.; 1983–1991 Lehrbeauftragter am Seminar für Wissenschaftliche Politik der Universität Freiburg i.Br.; 1991 Habilitation für das Fach Wissenschaftliche Politik; 1991–1993 Lehrstuhlvertretung an der Universität Freiburg i.Br.; seit 1994 Inhaber des Lehrstuhls für Ver-

gleichende Regierungslehre an der Universität Rostock

#### Universität Rostock

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät  
Institut für Politik- und Verwaltungswissenschaften  
Ulmenstraße 69  
18057 Rostock  
Tel.: 0381/498-4443  
E-Mail: nikolaus.werz@uni-rostock.de

wohlhabenden Staaten Auswanderergesellschaften, mittlerweile gehören sie zu den neueren Einwanderungsländern. Zu den bemerkenswerten Aspekten der politischen Systeme im nördlichen Ostseeraum gehören: Konsensdemokratie, wohlfahrtsstaatliche Orientierung, hohe Frauenbeschäftigung und eine in den nordischen Ländern starke Zustimmung zur Demokratie. Einer der Gründe dafür ist sicherlich die ausgeprägte Zivilgesellschaft und eine ausgeglichene Sozialstruktur. Es ist bemerkenswert, dass ein Teil dieser Maßnahmen von anderen Anrainerstaaten und den Transformationsgesellschaften übernommen bzw. fortgeführt wurde.

Im Vergleich zum Mittelmeerraum bestehen in und um die Ostsee nur geringe Probleme. Dazu gehören ökologische Herausforderungen und kleinere Aspekte der organisierten Kriminalität. Auch und gerade weil der Mittelmeerraum innerhalb der Europäischen Union einen so hohen Stellenwert einnimmt, soll bis Mitte 2009 eine EU-Strategie für den Ostseeraum entwickelt werden. Da Mecklenburg-Vorpommern

turnusgemäß den Vorsitz innerhalb der deutschen Ostseeanrainer übernimmt, wird dies ein Thema sein.

### Die Ostsee – ein EU-Binnenmeer

Mittlerweile gehören etwa 95 Prozent der Küstenlinie zur Europäischen Union. Die Kooperation mit Russland verläuft gut. Dies gilt auch für den militärischen Bereich. Irritationen, gerade bei den kleineren Staaten, ruft allerdings der Bau der Ostsee-Pipeline hervor. Interessant ist der Ostseeraum vor allem wegen der Wissenschaftskooperation und dem Ausbau von Netzwerkstrukturen. Hier waren erste Ansätze bereits in Zeiten des Kalten Krieges erfolgt, als die Meeresbiologen Kooperationen begannen.

Insofern ist der Ostseeraum ein Beispiel für gelingende politische und zivilgesellschaftliche Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Ländern. Dies gilt gerade auch für neue Herausforderungen, wie den globalen Klimawandel und die friedliche Beilegung kriegeri-

scher Konflikte. Auch hier haben die Länder rund um die Ostsee langjährige Erfahrungen vorzuweisen. Vielleicht ist es kein Zufall, dass der Friedensnobelpreis in der Region vergeben wird. Mit Blick auf die Ökologie und den Küstenschutz sind eine Vielzahl von Verträgen zwischen den beteiligten Ländern und Akteuren entstanden.

Es ist also nicht übertrieben, wenn einige von einer „Modellregion“ sprechen. Im Hinblick auf die auch in anderen Weltregionen und dem boomenden Asien zunehmenden Kooperationen ist es interessant, die im Ostseeraum erfolgreichen Mechanismen und Besonderheiten zu erforschen.

#### Literatur:

- Jahn, Detlef/Werz, Nikolaus (Hrsg.): Politische Systeme und Beziehungen im Ostseeraum. München 2002.
- Jahn, Detlef/Joas, Marko/Kern, Kristine: Governing a Common Sea – The Continuing Change in the Baltic Sea Area Patterns of Governance. London 2008. ■



Eines für alle ...



# Zukunft gestalten

## Klöster als Orte der Kulturentwicklung im Ostseeraum

Heinrich Holze

Was haben mittelalterliche Klöster, gegründet vor Hunderten von Jahren, mit dem Europa von morgen zu tun? Können sie als Zeugen vergangenen Lebens zur künftigen Gestaltung des Ostseeraums beitragen? Der Lehrstuhl Kirchengeschichte an der Rostocker Theologischen Fakultät wird diesen Fragen nachgehen. In Kooperation mit Partnern aus den benachbarten Ländern wird er die Rolle der Klöster als Orte der Kulturentwicklung im Ostseeraum untersuchen.

### Wie ist es zu diesem Projekt gekommen?

Mit dem Fall der Mauer hat nicht nur die deutsche Geschichte eine Wende genommen. Auch die Länder des Ostseeraums, die viele Jahrzehnte durch unüberwindbare Grenzen voneinander getrennt waren, sind in der Europäischen Union zusammengedrückt. Um diesen Prozess zu unterstützen, hat die Europäische Kommission das Förderprogramm „Interreg IV-B“ aufgelegt. Die Kontakte und der Austausch zwischen den Ländern des Ostseeraums sollen auf allen Ebenen des gesellschaftlichen Lebens gestärkt werden. Dazu gehören auch die kulturellen Bindungen. Ihnen ist das vom Amt Rehna geleitete Projekt „Grenzgänger – Vernetzung der Kultur im Ostseeraum“ gewidmet. Innerhalb dieses Projektes, zu dem auch Literaturhäuser gehören, hat die Rostocker Theologische Fakultät die Leitung einer Studie zur Geschichte der Klöster im Ostseeraum übernommen.

### Warum wird der Blick auf die Klöster gelenkt?

Die Länder im Ostseeraum haben eine gemeinsame Vergangenheit, die mit der Geschichte des Christentums untrennbar verbunden ist. Die Geschichte begann im 9. Jahrhundert mit den Missionsreisen des heiligen Ansgar, dem es gelang, die skandinavischen Herrscherhäuser für das Christentum zu gewinnen. Nur wenig später wurde das östliche Europa entdeckt. Auch hier machten sich Missionare auf den Weg und trugen dazu bei, dass in Polen und Ungarn christliche Staaten entstanden. Klöster spielten dabei von Anfang an eine entscheidende Rolle.

Das gilt vor allem für die aus Burgund stammenden Zisterzienser. Aus der Sicht ihres charismatischen Gründers, Abt Bernhard von Clairvaux, soll-

ten die Klöster Orte des Rückzugs aus der Welt sein, um der Suche nach dem ewigen Heil den Weg zu bahnen. Zugleich aber wurden sie zu Zentren der Bildung und der Bewahrung und Verbreitung von Kultur. Hier wurden Originale und Abschriften alter Bücher hinterlegt und Kunst- und Kulturgüter angefertigt. Außerdem waren es die Klöster, von denen wichtige Impulse zur Erschließung des Landes ausgingen: Wälder wurden gerodet und landwirtschaftliche Nutzflächen erschlossen. Die Zisterzienser entwickelten sich zu Fachleuten für Entwässerung und Fischzucht. Außerdem bauten sie stattliche Klöster, durch die sie sich als Meister der Architektur und des Kirchenbaus erwiesen.

In der gesamten Ostseeregion wurden Klöster gegründet. In einer Zeit, die mit ihren Herrschaftsstrukturen kleinräumig angelegt war, entstand auf diese Weise ein Netzwerk, das die Länder Nord- und Osteuropas mit denen des Kontinents verband. Der Ostseeraum, im Frühmittelalter eine unbekannte, abgelegene Region, öffnete sich durch die Klöster zum europäischen Kontinent.

### Können wir vom klösterlichen Leben im Mittelalter etwas lernen?

Die Klöster sind sichtbare Gestaltungsformen des religiösen und gesellschaftlichen Lebens im Mittelalter. Die Renaissance der Pilgerwege und die Wiederentdeckung der Klöster als Orte



Karte Blaeu 1645 - Suecia Dania et Norvegia (Abb. 2)

von Besinnung und Einkehr sowie von Kunst und Kultur zeigen die Aktualität dieser geistlichen Stätten. Ein anderer Aspekt tritt hinzu: Wie keine andere geschichtliche Institution sind die Klöster der mittelalterlichen Orden Ausdruck für eine grenzüberschreitende Weltanschauung. In einem Zeitalter, das von politischen, sozialen und kulturellen Grenzen durchzogen war, bildeten die Orden einen geistlich begrün-

deten Gegenentwurf. Nicht nur innerhalb des Klosters verloren Grenzen, die durch Herkunft und soziale Stellung bedingt waren, ihre Bedeutung. Auch nach außen war dies der Fall. Nach dem Schneeballprinzip gründeten die Zisterzienser Niederlassungen im gesamten christlichen Abendland.

Auf diese Weise wurde auch das nördliche und nordöstliche Europa in ein Netz der Kooperation eingebunden. Daran gilt es heute anzuknüpfen, um eine grenzübergreifende Zusammenarbeit der Träger der Klosteranlagen zur Förderung kultureller Kooperation im Raum des Mare Balticum zu etablieren. Die in den Klöstern erhaltenen Werte sind geeignet, einer weiten Öffentlichkeit das gemeinsame europäische Kulturerbe vor Augen zu führen. Es gilt, die Kultur im Ostseeraum als Ganzes sehen zu lernen und das kulturelle Erbe für zukünftige Generationen zu bewahren.

### Welchen Beitrag leistet die Rostocker Universität zu dem europäischen Kloster-Projekt?

Der Lehrstuhl Kirchengeschichte an der Rostocker Theologischen Fakultät steuert zu dem gesamten Themenbereich zwei Teilprojekte bei. Teilprojekt I ist eine interdisziplinär angelegte wissenschaftliche Einzelstudie, welche die Entwicklung der Klosterlandschaft in



Kloster Alvastra in Schweden (Abb. 3)



Kloster Doberan in Mecklenburg (Abb. 4)



Kloster Kolbacz in Polen (Abb. 5)



Kloster Soroe in Dänemark (Abb. 6)



Vreta Kloster in Schweden (Abb. 7)

Quellen: Abb. 1 und 3: Bertil Nilsson, *Sveriges kyrkohistoria 1, Missionstid och tidig medeltid*. Stockholm 2001. S. 121/122.; Abb. 2: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Blaeu\\_1645\\_-\\_Suecia\\_Dania\\_et\\_Norvegia\\_regna\\_Europ%C3%A6\\_septentrionalia.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Blaeu_1645_-_Suecia_Dania_et_Norvegia_regna_Europ%C3%A6_septentrionalia.jpg); Abb. 4: Prospekt „Münster Bad Doberan“ der Ev.-luth. Kirchengemeinde Bad Doberan; Abb. 5-7: *Romanische Kirchen im Ostseeraum*. Hrsg. von Wolf Karge, Rostock 1996. S.86, 109, 148.

der Frühen Neuzeit analysiert. In den skandinavischen Königreichen wurden die Klöster unter dem Vorzeichen der lutherischen Reformation aufgehoben. Damit lösten sich die den Norden mit dem Kontinent verbindenden klösterlichen Netzwerke weitgehend auf. Demgegenüber behielten die Klöster in Osteuropa und dem Baltikum auch in der nachreformatorischen Zeit eine wichtige Rolle in Kirche und Gesellschaft. In der Studie sollen diese Entwicklungen vergleichend untersucht werden. Ziel ist es, die kulturelle Rolle der Klöster im Ostseeraum unter den Bedingungen der Neuzeit zu erhellen.

Teilprojekt II versammelt Ordenshistoriker, Kirchengeschichtler und Mentalitätshistoriker des Ostseeraums zu einer wissenschaftlichen Konferenz. Das Thema lautet: „Die Bedeutung der Klostergründungen und Pilgerwege für das Zusammenwachsen der Länder des Ostseeraums im Mittelalter.“ In den Beiträgen soll untersucht werden, was die mittelalterlichen Klöster und Orden

zur gemeinsamen Entwicklung des Ostseeraums beigetragen haben.

### Welche Impulse sind für die kulturelle Entwicklung des Ostseeraums zu erwarten?

Die beiden Rostocker Projekte sind Teil des EU-Gesamtprojekts „Grenzgänger – Vernetzung der Kultur im Ostseeraum“, das unter der Leitung des Amtes Rehna steht und zahlreiche Partner aus dem Ostseeraum vereinigt. Insgesamt geht es darum, die Zusammenarbeit der Träger der Klosteranlagen und der Literaturhäuser in der „Baltic Sea Region“ zu stärken. Es ist die Absicht, den ökonomischen Wert der Klöster über Ländergrenzen hinweg zu erkennen, besonders mit Blick darauf, dass die Kultur ein Schlüsselfaktor der Landesentwicklung ist. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten gehören der Erhalt und die Bewahrung des Kulturerbes als touristisches Angebot, auch unter Berücksichtigung des demografischen Wandels. Länderübergreifen-

#### Der Autor



#### Prof. Dr. theol. habil. Heinrich Holze

1955 in Hildesheim geboren; 1985 Promotion an der Georg-August-Universität Göttingen; 1989 Habilitation an der Kirchlichen Hochschule Bethel-Bielefeld; 1989 Privatdozent an der Kirchlichen Hochschule Bethel-Bielefeld; 1993 Dozent beim Lutherischen Weltbund in Genf/Schweiz; 1995 Professur für Kirchengeschichte an der Universität Rostock

#### Universität Rostock

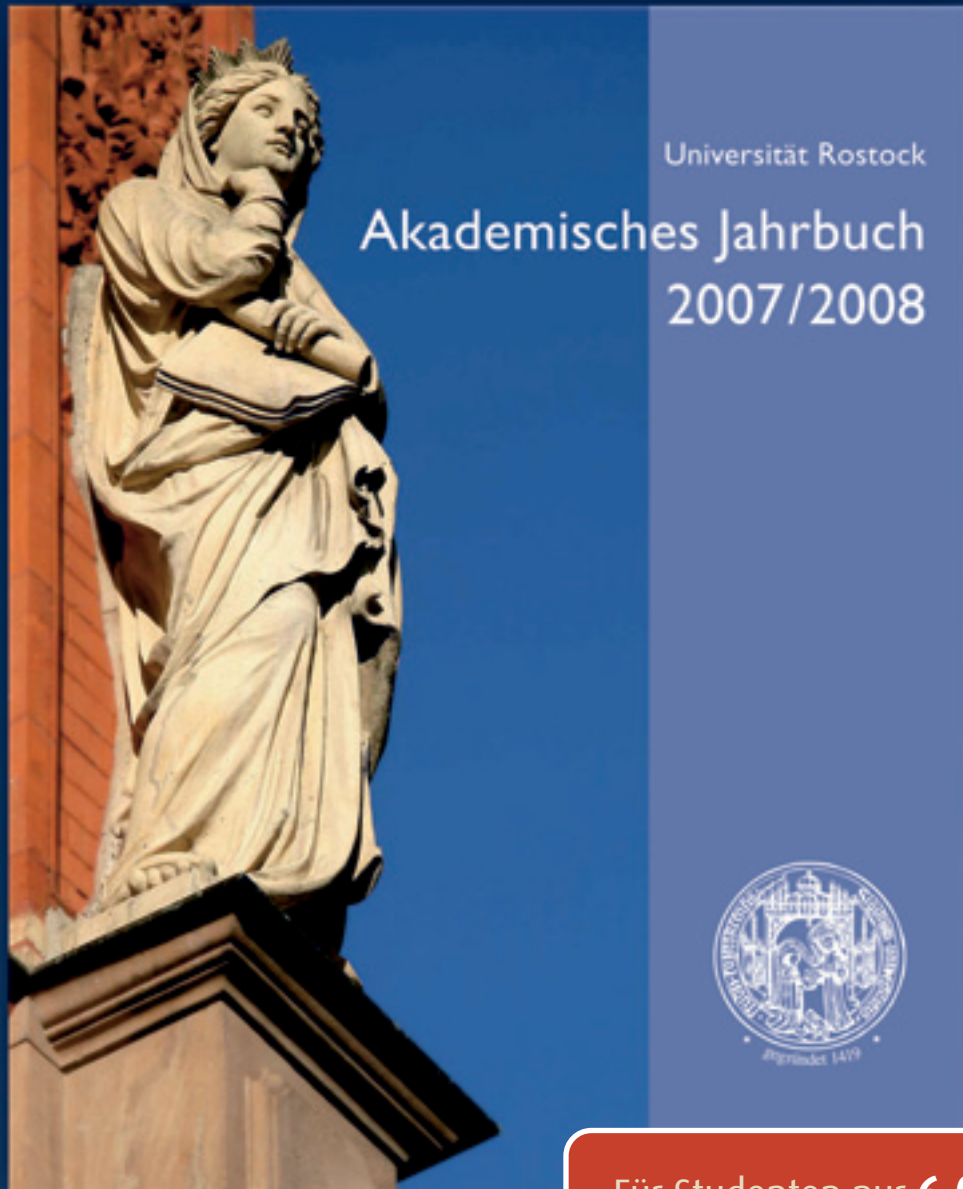
Theologische Fakultät  
Schwaansche Str. 5  
18055 Rostock  
Tel.: 0381/498-8415  
E-Mail: heinrich.holze@uni-rostock.de

de und interdisziplinäre Aktivitäten sollen den Bekanntheitsgrad der einzelnen Regionen erhöhen.

Der Rostocker Beitrag lenkt in diesem Zusammenhang den Blick auf die mittelalterlichen Klosteranlagen und trägt dazu bei, sie in ihrer kulturellen und religiösen Bedeutung in Geschichte und Gegenwart zu erkennen. Das kulturelle Erbe der Klöster soll als ein wesentlicher Bestandteil einer Kulturlandschaft, die verschiedene Kulturen und Menschen zusammenbringt, wahrgenommen werden. Außerdem werden mit Blick auf das Gesamtprojekt die historischen und theologischen Voraussetzungen zur Planung und Einführung einer transnationalen Kulturroute entlang der Ostsee geschaffen.

Seit ihrer Gründung im Mittelalter waren die Klöster Orte der Kulturentwicklung im Ostseeraum. Die beiden Rostocker Projekte wollen dies erforschen und damit einen Beitrag dazu leisten, die Zukunft der Ostseeregion kulturell zu gestalten. ■

# Nicht nur für Studenten ein Bestseller



Für Studenten nur **6,00 Euro** oder  
zum Normalpreis von **8,90 Euro**

## Erhältlich:

UNI-SHOP Rostock | Kröpeliner Straße 29

Thalia Universitätsbuchhandlung | Breite Straße 15-17

Universitätsbuchhandlung Weiland | Kröpeliner Straße 80

Andere Buchhandlung am Doberaner Platz | Wismarsche Straße 6-7

ASTA Universität Rostock | Parkstraße 6



Konzept



Redaktion



Layout



Satz



Druck



Medientechnik

Hinstorff Media • Lagerstraße 7 • 18055 Rostock • Telefon 0381.4969152

[www.hinstorff-media.de](http://www.hinstorff-media.de)