

Research Highlights 2006

Beispiele aus unserer Forschung 2006

Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Inhalt | Content

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)	4	<i>The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI)</i>
Standorte und Stationen	8	<i>Sites and stations</i>
Organigramm	10	<i>Organisation of the institute</i>
Zu dieser Broschüre	11	<i>About this brochure</i>
Polar- und Meeresforschung – Beobachtungen, Modellierung, Anwendungen	12	<i>Polar and marine research – observations, modelling, applications</i>
Algen im Klimawandel: Neue Messmethoden zeigen den Gasaustausch der Zellen in Echtzeit. Björn Rost, Klaus-Uwe Richter	20	<i>Algae and climate change: new methods show the gas exchange of cells in real time</i>
Arktische Klimaprozesse und globale atmosphärische Auswirkungen Klaus Dethloff, Annette Rinke, Elena Sokolova, Subodh Kumar Saha	24	<i>Arctic climate processes and global atmospheric impacts</i>
Das Klima der letzten 10 000 Jahre: Eine Verknüpfung aus Beobachtungsdaten, Umweltarchiven und Modellstudien Gerrit Lohmann	28	<i>The climate of the last 10 000 years: Combining observational data with environmental archives and model studies</i>
Chemische Ökologie mariner Protisten - Bedeutung für die Dynamik mariner Nahrungsketten Allan Cembella, Uwe John, Bernd Krock, Tilman Alpermann, Urban Tillmann	32	<i>Chemical ecology of marine protists - implications for marine food web dynamics</i>
Nährstoffbelastung des Wattenmeeres: Besserung in Sicht Justus E. E. van Beusekom, Martina Löbl, Karsten Reise, Anja Schanz	36	<i>Eutrophication of the Wadden Sea: Signs of improvement</i>

- | | |
|--|---|
| <p>Planktonregen im Südpolarmeer: Das europäische Eisendüngungsexperiment EIFEX (European Iron Fertilization Experiment)</p> <p>Philipp Assmy, Boris Cisewski, Joachim Henjes, Christine Klaas, Oliver Sachs</p> | <p>40 <i>Plankton rain in the Southern Ocean: The European Iron Fertilization Experiment EIFEX</i></p> |
| <p>Sind Lebensgemeinschaften polarer Meere Verlierer der Klimaveränderung?</p> <p>Gisela Lannig, Ute Jacob, Thomas Brey, Rainer Knust, Hans-O. Pörtner</p> | <p>44 <i>Does global warming pose a threat to polar ecosystems?</i></p> |
| <p>Marine Genomik – Von den Genen zur Evolution und Ökologie mariner Organismen</p> <p>Klaus Valentin</p> | <p>48 <i>Marine Genomics – through genomes to evolution and ecology of marine organisms</i></p> |
| <p>Frostblumen: Salzige Kristalle auf dünnem Eis</p> <p>Hans-Werner Jacobi, Sandra Lehmann</p> | <p>51 <i>Frost flowers: salty crystals on thin ice</i></p> |
| <p>Gemeinsam in den Hausgarten: Deutsch-französische Kooperation in der Tiefseeforschung</p> <p>Thomas Soltwedel, Michael Klages</p> | <p>54 <i>Together 'en route' for HAUSGARTEN: Franco-German co-operation in deep-sea research</i></p> |
| <p>Fernerkundung in arktischen Periglaziallandschaften – Auf den Spuren der Permafrost-dynamik</p> <p>Guido Große, Dirk Wagner, Lutz Schirrmeister</p> | <p>57 <i>Remote sensing in Arctic periglacial landscapes – The tracing of permafrost dynamics</i></p> |
| <p>Frühling im Weddellmeer: Biologisch-physikalische Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Eis und Ozean</p> <p>Christian Haas, Gerhard Dieckmann, Hartmut Hellmer, Michael Schröder</p> | <p>61 <i>Go with the floe: biological-physical interactions between atmosphere, ice and ocean in the Weddell Sea</i></p> |
| <p>Vermessung des Meeresbodens</p> <p>Hans-Werner Schenke</p> | <p>64 <i>Surveying the sea floor</i></p> |
| <p>Mehr Informationen</p> | <p>68 <i>More information</i></p> |

The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

Polar- und Meeresforschung sind zentrale Themen der Erdsystem- und globalen Umweltforschung. Das AWI betreibt die Polar- und Meeresforschung durch eigene Arbeiten in der Arktis, der Antarktis und den gemäßigten Breiten. Es koordiniert die Polarforschung in Deutschland und stellt die für Polarexpeditionen erforderliche Ausrüstung und Logistik zur Verfügung. Das international begutachtete Forschungsprogramm MARCOPOLI (Laufzeit 2004-2008) bildet den Rahmen für die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten. MARCOPOLI weist interdisziplinäre Forschungsschwerpunkte in den Feldern Meeres-, Küsten und Polarforschung aus.

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) wurde 1980 als Stiftung des öffentlichen Rechts gegründet und erhielt den Namen des Geophysikers und Polarforschers Alfred Wegener (1880 - 1930), der durch seine Hypothese der Drift der Kontinente zu einem weltberühmten Wissenschaftler wurde.

Heute umfasst die Stiftung folgende Einrichtungen: Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, die Forschungsstelle Potsdam, die Biologische Anstalt Helgoland (BAH) und die Wattenmeerstation List auf Sylt. Die Stiftung hatte 2005 einen Etat von etwa 85 Mio. Euro und 769 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Sie ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) und wird zu 90 % vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert. Das Land Bremen ist mit 8 % beteiligt, die Länder Brandenburg und Schleswig-Holstein mit je 1 %.

Polar and marine research are key areas of Earth System and global change research. AWI promotes polar and marine research with its own research work in the Arctic, Antarctic and moderate latitudes. It coordinates polar research in Germany and provides the equipment and logistics necessary for polar expeditions. The internationally evaluated science program MARCOPOLI (term 2004-2008) builds the frame work for scientific work. The focus of MARCOPOLI is on interdisciplinary scientific work in the field of marine, coastal and polar research.

The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) was established in 1980 as a public-law foundation and was named after Alfred Wegener (1880 - 1930), the geophysicist and polar researcher who achieved worldwide renown with his continental drift hypothesis.

Today, the foundation comprises the following research establishments: the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in Bremerhaven, the AWI Research Centre in Potsdam, the Helgoland Biological Institute (BAH) and the Wadden Sea Station in List on Sylt. In 2005, the foundation had a staff of 769 and a total budget of about Euro 85 million. It is a member of the Hermann von Helmholtz Association of German Research Centres (HGF) and is financed to 90 % by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF). The state of Bremen provides 8 % of total funds, with the states of Brandenburg and Schleswig-Holstein adding a further 1 % each.



Das AWI betreibt die Forschungsschiffe ‚Polarstern‘, ‚Heincke‘, ‚Uthörn‘, ‚Diker‘, ‚Aade‘, ‚Mya‘, das Flugzeug ‚Polar 2‘, eine Überwinterungs- und mehrere Sommerstationen in der Antarktis sowie eine Station auf Spitzbergen.

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit des Alfred-Wegener-Instituts ist ein besseres Verständnis der komplexen Beziehungen zwischen Ozean, Eis, Atmosphäre, Meeresboden und der Tier- und Pflanzenwelt. Ein auf wissenschaftlicher Erkenntnis aufbauendes Erdmanagement kann nur dann sinnvoll betrieben werden, wenn es gelingt, den natürlichen und den durch menschliche Eingriffe bedingten Wandel der globalen Umwelt besser zu verstehen.

AWI operates the ‘Polarstern’, ‘Heincke’, ‘Uthörn’, ‘Diker’, ‘Aade’ and ‘Mya’ research ships, the ‘Polar 2’ research aircraft, one overwintering and several summer stations in the Antarctic, as well as a research station on Spitsbergen.

The research mission of the Alfred Wegener Institute is to improve our understanding of the complex relations between the oceans, ice, atmosphere, the ocean floor and the plant and animal kingdoms. Earth management based on scientific understanding can only be carried out effectively if the research community succeeds in improving our understanding of the global environmental changes induced by natural causes and human interference.





Standorte und wichtigste Gebäude des Alfred-Wegener-Instituts in Deutschland.

Sites and key buildings of the Alfred Wegener Institute in Germany.

Forschungsplattformen



Wichtige stationäre und mobile Forschungsplattformen des Alfred-Wegener-Instituts.

Important stationary and mobile research platforms of the Alfred Wegener Institute.

Wissenschaftlicher Beirat <i>(Prof. Dr. Oerlemans)</i>		Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung			Kuratorium <i>(MinDir Junker)</i>	
Wissenschaftlicher Rat <i>(Prof. Dr. Bathmann)</i>	Ombudsmann <i>(Prof. Dr. Augstein)</i>	Direktorium Prof. Dr. Thiede · Dr. Paulenz Prof. Dr. Miller · Prof. Dr. Wiltshire			Wissenschaftliches Referat <i>(Dr. Reinke)</i>	Presse- und Öffentlichkeitsarbeit <i>(Pauls)</i>
Personalrat und Frauenbeauftragte <i>(Sündermann, Viehoff)</i>	Nutzerbeiräte <i>(Großgeräte)</i>				Justiziar <i>(Ruholl)</i>	Innenrevision <i>(Bernshausen, Kersten)</i>

Wissenschaftliche Fachbereiche, Technologien und allgemeine Dienste

Geowissenschaften <i>(Prof. Dr. Hubberten)</i>	Biowissenschaften <i>(Prof. Dr. Cembella)</i>	Klimawissenschaften <i>(Prof. Dr. Olbers)</i>	Neue Technologien	Allgemeine Dienste
Geophysik <i>(Dr. Jokat)</i>	Biologische Ozeanographie <i>(Prof. Dr. Bathmann)</i>	Atmosphärische Zirkulationen <i>(Prof. Dr. Dethloff)</i>	Unterwasserfahrzeuge und Tiefsee-Technologie <i>(Dr. Klages)</i>	Logistik und Forschungsplattformen <i>(Dr. Gernandt)</i>
Glaziologie <i>(Prof. Dr. Miller)</i>	Marine Biogeologie <i>(Prof. Dr. Wolf-Gladrow)</i>	Meteorologie der Polargebiete <i>(PD Dr. Wacker)</i>	Marine Messsysteme <i>(Dr. Boebel)</i>	Verwaltung <i>(Dr. Paulenz)</i>
Periglazialforschung <i>(Prof. Dr. Hubberten)</i>	Makroalgen-Biologie <i>(Prof. Dr. Wiencke)</i>	Messende Ozeanographie <i>(Dr. Fahrbach)</i>	Flugzeug- und Landtechnik <i>(Dr. Herber)</i>	Allgemeine Serviceeinrichtungen <i>(D. Neumann)</i>
Marine Geologie und Paläontologie <i>(Prof. Dr. Tiedemann)</i>	Ökologie mariner Tiere <i>(Prof. Dr. Arntz)</i>	Ozeandynamik <i>(Prof. Dr. Olbers)</i>	Eisbohrungen <i>(Dr. Wilhelms)</i>	Rechenzentrum und Datenbanken <i>(Prof. Dr. Hiller)</i>
Marine Geochemie <i>(Prof. Dr. Schlüter)</i>	Physiologie mariner Tiere <i>(Prof. Dr. Portner)</i>	Meereisphysik <i>(Dr. Haas)</i>	Technologien für die Marikultur <i>(NN)</i>	Bibliothek <i>(Brannemann)</i>
	Ökologische Chemie <i>(Prof. Dr. Cembella)</i>	Dynamik des Paläoklimas <i>(Prof. Dr. Lohmann)</i>	Erdbeobachtungssysteme <i>(Prof. Dr. Lemke)</i>	Technologietransfer <i>(Dr. Sauter)</i>
	Ökologie der Schelfmeere <i>(Prof. Dr. Buchholz)</i>			
	Ökologie der Küsten <i>(Dr. R. Asmus)</i>			

Forschungsprogramm MARCOPOLI – AWI (Prof. Dr. Miller)

Marine (MAR) <i>(Prof. Dr. Olbers)</i>	Coast (CO) <i>(Prof. Dr. Cembella)</i>		Polar (POL) <i>(Prof. Dr. Lemke)</i>				Infrastruktur (I) <i>(Prof. Dr. Miller)</i>
Dekadische Variabilität und globale Änderung <i>(Dr. R. Gerdes)</i>	Küste im Wandel: Langfristige Entwicklungen und extreme Ereignisse <i>(Prof. Dr. Reise)</i>	Chemische Interaktionen <i>(Prof. Dr. Cembella)</i>	Prozesse und Wechselwirkungen im polaren Klimasystem <i>(Dr. Lüpkes)</i>	Veränderungen der physikalischen Umwelt im Nordpolarmeer <i>(Dr. Schauer)</i>	Autökologie planktischer Schlüsselarten und Gruppen <i>(Prof. Dr. Bathmann)</i>	Vom Permafrost in die Tiefsee der Arktis <i>(Prof. Dr. Schlüter)</i>	Neue Themen COM: German community ocean model <i>(Dr. Schröter)</i>
Palaeoklimatische Mechanismen und Variabilität <i>(Prof. Dr. Bijma)</i>	Diversität der Küsten <i>(Prof. Dr. Wiltshire)</i>	Beobachtungen und Informationen für das Küstenzonenmanagement <i>(Dr. van Beusekom)</i>	Klima- und Ökosystem im Südozean <i>(Prof. Dr. Smetacek)</i>	Makroorganismen im Klimawandel <i>(Prof. Dr. Portner)</i>	Klimavariabilität seit dem Pliozän <i>(Dr. Gersonde)</i>		New Keys: Neue Schlüssel zu polaren Klimaarchiven <i>(Dr. H. Fischer)</i>

Zu dieser Broschüre

Das Alfred-Wegener-Institut führt mit seinem Forschungsprogramm Arbeiten in zahlreichen naturwissenschaftlichen Disziplinen der Polar- und Meeresforschung durch. Die anspruchsvollen wissenschaftlichen Vorhaben werden durch eine aufwändige Logistik, die das AWI für die deutsche Polar- und Meeresforschung zur Verfügung stellt, unterstützt.

Diese Broschüre enthält ausgewählte Beiträge, die Beispiele typischer Arbeiten darstellen und somit das wissenschaftliche Profil des AWI charakterisieren. Die Auswahl erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der interessierte Leser erhält einen Einblick, was Polar- und Meeresforschung ist, welche Motive und Anreize zu diesen Forschungsthemen geführt haben und welche Beiträge zur modernen Umweltforschung aus der Perspektive der Polar- und Meeresforschung geleistet werden können.

Forschungseinrichtungen wie das AWI tragen mit ihren Arbeiten zur vorsorglichen wissenschaftlichen Bewertung möglicher Veränderungen der Umwelt in der Zukunft wesentlich bei. Die hier angerissenen Forschungsthemen sind beispielhaft für unsere Forschung und fügen sich als Bausteine in das Profil des AWI und der gesamten deutschen Polar- und Meeresforschung ein.

About this brochure

With its science program the Alfred Wegener Institute is engaged in polar and marine research across a very broad range of scientific disciplines. This advanced research work is supported by powerful logistics services provided by AWI for the German polar and marine research effort.

This brochure contains selected articles describing typical kinds of work performed by the institute and to that extent are characteristic of AWI's scientific profile. This is a selection only, and is by no means exhaustive. Interested readers will discover what polar and marine research involves, the incentives and rationale for researching these specific topics, and the role that polar and marine research plays within current environmental research.

The natural and anthropogenic characteristics of the environment influence the living conditions of all humankind, and the work of research establishments such as AWI is an important contribution towards the scientific assessment of potential changes to the future environment. The research topics touched upon in this brochure are examples of the research we conduct and are modules within the overall profile of AWI, on the one hand, and the entire German research effort in the fields of polar and marine research, on the other.

Polar- und Meeresforschung – Beobachtungen, Modellierung, Anwendungen

Das Alfred-Wegener-Institut (AWI) ist das Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Es wurde 1980 gegründet, um die Aufnahmebedingungen für den Antarktis-Vertrag zu erfüllen. Dieser und die Mitgliedschaft der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) forderte den Aufbau eines umfassenden Forschungsprogramms im Vertragsgebiet (alle Gebiete 60° südlicher Breite), wodurch die Gründung des AWI, der Neubau des Forschungseisbrechers ‚Polarstern‘ und die Erstellung der Georg von Neumayer-Station in der Antarktis ausgelöst wurde. Das AWI wurde am 15. Juli 1980 durch Verkündung des Stiftungsgesetzes durch den Bremer Senat gegründet. Das 25-jährige Jubiläum des Instituts wurde im Juli 2005 festlich mit einer wissenschaftspolitisch gestalteten Veranstaltung im Neubau des Instituts in Bremerhaven gefeiert.

Im selben Jahr jährte sich am 1. November der Geburtstag Alfred Wegeners zum 125. Mal. Dieses Tages sowie seines Todestages vor 75 Jahren wurde im Rahmen des 2. Internationalen Alfred-Wegener-Symposiums in Bremerhaven gedacht. Das Alfred-Wegener-Institut ist inzwischen ein Helmholtz-Zentrum mit fast 800 Mitarbeitern, verteilt auf die vier Standorte Bremerhaven, Potsdam, Helgoland und Sylt. Die Eingliederung des Institutes für Meereskunde in Bremerhaven, die Gründung der Forschungsstelle auf dem Telegrafenberg in Potsdam, unter deren Dach sich die terrestrische Polarforschung mit ihren Wurzeln

Polar and marine research – observations, modelling, applications

The Alfred Wegener Institute is the Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. It was founded in 1980 in order to meet the terms of admission to the Antarctic treaty, which, together with the membership of the German Research Foundation (DFG) on the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), demanded the establishment of an extensive research programme in the treaty region (all areas southwards 60° southern latitude). Foundation of the AWI was initiated by this requirement, as was the construction of the research and supply vessel ‘Polarstern’ and the establishment of the Georg von Neumayer Station in the Antarctic. On July 15th, 1980, the AWI came into being with proclamation of the foundation statutes by the senate of Bremen. In July 2005, the 25th anniversary of the institute was commemorated through a festive science policy event, which took place in the new building of the institute in Bremerhaven.

To mark the occasion of Alfred Wegener’s 125th birthday on November 1st of the same year, and to commemorate his death 75 year ago, the second International Alfred Wegener Symposium was held in Bremerhaven. The Alfred Wegener Institute has become a Helmholtz Centre with almost 800 staff members, distributed across the four locations of Bremerhaven, Potsdam, Helgoland and Sylt. Expansion of our research has been facilitated by the integration of the Institute for Marine Sciences in Bremerhaven, by inclusion of the two marine stations Biological Station



in dem Polarforschungsprogramm der DDR sammelte, und die beiden Meeresstationen Biologische Anstalt Helgoland und Wattenmeerstation Sylt ermöglichen den Ausbau unserer Forschung. Mit Hilfe der inzwischen aufgebauten aufwändigen Infrastruktur der stationären und mobilen Forschungsplattformen führen wir ein umfassendes Forschungsprogramm in der Polar- und Meeresforschung durch. Das AWI nimmt weltweit, gemeinsam mit einer Reihe internationaler Wettstreiter, eine Führungsrolle in der Polar- und Meeresforschung ein. Durch die enge Anbindung an die Universitäten in Bremen, Potsdam, Kiel, Hamburg und Oldenburg wird ein reger Austausch mit akademischen Lehrstätten gepflegt. Dadurch konnte eine große Schar von Nachwuchswissenschaftlern in die wissenschaftlichen Programme des Alfred-Wegener-Institutes eingebunden werden. Gleichzeitig erlaubten Kooperationen mit den Hochschulen Bremen und Bremerhaven die Verfolgung angewandter Perspektiven in der Polar- und Meeresforschung sowie den gemeinsamen Aufbau neuer Studiengänge.

Die Forschungsarbeiten in der Helmholtz-Gemeinschaft verteilen sich zurzeit auf sechs Forschungsbereiche. Das Alfred-Wegener-Institut verfolgt gemeinsam mit dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht im Rahmen des Forschungsbereiches „Erde und Umwelt“ die Perspektiven des Forschungsprogramms MARCOPOLI (Marine, Coastal and Polar Systems and Infrastructure), das im Laufe des Jahres 2006 durch die Wissenschaftlichen Beiräte der Forschungszentren begutachtet wird. Parallel dazu werden wir in naher Zukunft in Diskussionen der wissenschaftlichen Perspektiven Nachfolgeprogramme in der Polar- und Meeresforschung für das Institut entwickeln.

Helgoland and Wadden Sea Station Sylt and by establishment of the research location 'Telegrafenberg' in Potsdam. The Potsdam location emerged from the GDR polar research programme and, ever since, has united terrestrial polar research under one roof. By means of our substantial infrastructure of stationary and mobile research facilities we have been conducting an extensive polar and marine research programme. Globally, the AWI shares a leading role in polar and marine research with few other international contenders. The close connection to the universities in Bremen, Potsdam, Kiel, Hamburg and Oldenburg has provided active exchange with academic teaching institutions, enabling a large number of young scientists to be integrated into the scientific programmes at AWI. At the same time, co-operations with universities in Bremen and Bremerhaven have advanced the pursuit of applied aspects in polar and marine research, as well as the joint establishment of new degree programmes.

Research programmes within the Helmholtz Association currently cover six research areas. Together with the GKSS Research Centre Geesthacht and as part of the research area 'Earth and Environment' the AWI is engaged in research programme MARCOPOLI (Marine, Coastal and Polar Systems and Infrastructure). In 2006, MARCOPOLI is scheduled for evaluation by the scientific advisory councils of the research centres. Concurrently, we will be using discussions on scientific perspectives to develop successor programmes in polar and marine research for the Institute.

The years 2004 and 2005 have been extraordinarily successful for the Alfred Wegener Institute: An increasing number of publications in internationally



Die Jahre 2004 und 2005 waren für das Alfred-Wegener-Institut außerordentlich erfolgreich. Dies zeigt sich in einer wachsenden Anzahl von Publikationen in zahlreichen angesehenen internationalen Fachzeitschriften, in über 100 für das AWI gesicherten Patenten und Schutzrechten sowie durch ständig steigende Drittmittel. Zusätzliche Drittmittel werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Helmholtz-Gemeinschaft sowie von der Europäischen Union im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms eingeworben. Seit Herbst 2005



formuliert das AWI, in enger Zusammenarbeit mit seinen Partneruniversitäten, Initiativen im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Die erfolgreiche Umsetzung dieser Anträge wird dabei eine große Herausforderung für die betroffenen Universitäten sowie ihre außeruniversitären Partner sein.

Mit Beginn 2004 verfolgt das AWI seine wissenschaftlichen Ziele im Rahmen der so genannten programmorientierten Förderung innerhalb des Forschungsbereichs „Erde & Umwelt“ der Helmholtz-Gemeinschaft. Hierfür wurde ein 5-Jahresprogramm ausgearbeitet, das in seinen Schwerpunkten die drängenden Fragen der Marinen-, Küsten- und Polarsysteme aufgreift. Hinter dem Akronym MARCOPOLI (Marine, Coastal and Polarsystems and Infrastructure) verbirgt sich auch die große Infrastruktur, die das AWI für die Forschung insgesamt zur Nutzung vorhält. Der Programmteil „Küste“ wird gemeinsam mit dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht in mehrfach vernetzten Forschungsthemen bearbeitet.

2005 waren Bremen und Bremerhaven die erste „Stadt der Wissenschaft“. Die verständliche Vermittlung von Wissenschaft für die allgemeine Öffentlichkeit und der Dialog mit der Öffentlichkeit waren deswegen ein besonderer Schwerpunkt. Der Wettbewerb „Stadt der Wissenschaft“ wird vom Stifterverband für die deutsche Wissenschaft ausgeschrieben. Er ist wichtiger Bestandteil der PUSH (Public Understanding of Science and Humanities)-Bewegung, die von den großen Wissenschaftsorganisationen Deutschlands getragen wird, organisiert durch „Wissenschaft im Dialog“, um den aktiven Austausch mit allen Gruppen der Gesellschaft zu pflegen.

recognised journals, more than 100 patents and trade mark rights secured by the AWI and continually increasing external funds all provide evidence for this. Additional external funds continue to be acquired from the German Research Council (DFG), the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), the Helmholtz Association, as well as from the European Union as part of the sixth research framework. Since the autumn of 2005, the AWI, together with its partner universities, has been developing initiatives through the Initiative of Excellence Competition of the federal and state governments. The successful implementation of these submissions will be a tremendous challenge for the universities involved, as well as for their non-university partners.

The scientific goals of AWI are being achieved since the beginning of 2004 within a 5 year cycle of program oriented funding within the Helmholtz research area 'Earth and Environment'. This research program with the acronym MARCOPOLI (Marine, Coastal and Polarsystems and Infrastructure) is designed to address the urgent questions of the polar and coastal systems, which are interlinked by the oceans. The program topic I provides larges scale research infrastructure for the wider scientific community. The program topic coast in particular is carried out jointly with the GKSS Research Centre Geesthacht through a number of interlinked work packages.

2005 Bremen and Bremerhaven were the first »City of Science« in Germany and were focussing on making science more easily understandable for the general public and creating a dialogue. The »City of Science« contest – established by the Donors' Association for the Promotion of Science and Humanities

Bremen und Bremerhaven haben den Preis „Stadt der Wissenschaft 2005“ am 15. März 2004 gewonnen. Die Schwesternstädte haben 2005 ein erfolgreiches Jahresprogramm durchgeführt und zeigten sich des Preises würdig. Sie haben erwiesen, wie wichtig Wissenschaftskommunikation mit der breiten Öffentlichkeit ist, um Wissenschaft als Motor für den Strukturwandel und die städtische Entwicklung einsetzen zu können. Gemeinsam mit den Partnern aus wissenschaftlichen und kulturellen Institutionen des Landes Bremen wurde das Konzept von der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des AWI entworfen und umgesetzt. Besonders engagierte sich das AWI im Leitprojekt „Pier der Wissenschaft“. Aufgrund der positiven Resonanz und zur Weiterführung des angestoßenen Vernetzungsprozesses – in Bremerhaven und in der Zusammenarbeit mit Bremen – wird die „Pier der Wissenschaft“ in Bremerhaven 2006 und darüber hinaus fortgesetzt.

Am 5. September 2005 wurde das Alfred-Wegener-Institut als familienfreundlicher Arbeitgeber zertifiziert. Bundesfamilienministerin Renate Schmidt überreichte das Grundzertifikat zum Audit Beruf und Familie® der gemeinnützigen Hertie Stiftung. Das Alfred-Wegener-Institut präsentiert sich in hervorragender Weise als innovative Forschungseinrichtung, welche die Vereinbarkeit von Beruf und Familie seit Jahren voranbringt. Eine steigende Nachfrage für die institutseigenen Krippenplätze sowie die 1330 in den Ferien seit 2001 betreuten Kinder bestätigen das AWI in diesem Engagement sowie die Unterstützung bei vielfältigen Fragen „rund um die Familie“.

– is one of the highlights of the German »PUSH – Public Understanding of Science and Humanities« movement. It results from the efforts of »Science in Dialog«, a forum of Germany's major science organizations that aims at actively seeking an exchange with all groups of society. Bremen and Bremerhaven won the award »City of Science 2005« on March 15, 2004. Bremen's and Bremerhaven's performance provided ample evidence that active science advancement is crucial to urban development. The cities also proved to be worthy of the new title as science communication with the general public was confirmed to be a key factor in preparing the ground for this process. The concept proposal was designed and realised by the press and PR department together with a lot of partners in scientific and cultural institutions in the state of Bremen. The AWI became especially engaged in the lead project ‚Pier of Science‘. Following the positive feedback and in order to continue the initiated networking process – both directly in Bremerhaven and also in collaboration with Bremen – the ‚Pier of Science‘ will resume in Bremerhaven in 2006 and beyond.

On September 5th, 2005, the Alfred Wegener Institute was certified as a family-friendly employer. The Federal Minister for Families, Renate Schmidt presented the AWI with the basic certificate for the Job and Family Audit® of the non-profit Hertie Foundation. For several years, the Alfred Wegener Institute has been gaining an extraordinary reputation as an innovative research institution, advancing the coordination of job and family. A growing demand for the Institute's child care places, as well as a total of 1330 children enrolled in the holiday programme since 2001, are factors reassuring the AWI in its commitment and in its support for numerous family issues.



Algen im Klimawandel: Neue Messmethoden zeigen den Gasaustausch der Zellen in Echtzeit

Björn Rost, Klaus-Uwe Richter

Im Oberflächenwasser der Ozeane sorgen Mikroalgen (Phytoplankton) für die Nahrungsgrundlage der marinen Artengemeinschaft. Als Energiequelle für ihr Wachstum nutzen sie das Sonnenlicht, um Kohlendioxid (CO_2) zu organischen Verbindungen wie Zucker umzuwandeln. So bindet das Phytoplankton große Mengen an CO_2 und beeinflusst maßgeblich das Klima auf unserem Planeten. Im Rahmen des globalen Klimawandels sind große Veränderungen im marinen Ökosystem zu erwarten. Der Anstieg im atmosphärischen CO_2 -Gehalt wird neben höheren CO_2 -Konzentrationen im Meerwasser einen niedrigeren pH-Wert zur Folge haben, d.h. der Ozean wird saurer. Die zunehmende Erwärmung des Oberflächenwassers wird Durchmischungstiefe und damit Lichtklima und Nährstoffeintrag aus tieferen Wasserschichten beeinflussen. Erste Ergebnisse zeigen, dass solche Veränderungen nachhaltige Auswirkungen auf das Phytoplankton haben werden.

Wir haben den Einfluss unterschiedlicher CO_2 -Verfügbarkeit auf verschiedene Aspekte der Photosynthese bei wichtigen Phytoplanktonarten untersucht (Abb. 1). Obwohl im Meerwasser überreichlich vorhanden, ist die Nutzung von anorganischem Kohlenstoff mit erheblichem Aufwand für die Zelle verbunden. So kann das für die Kohlenstofffixierung verantwortliche Enzym RubisCO Kohlenstoff nur in Form von CO_2 nutzen, welches nur etwa ein Prozent des im Meerwasser gelösten anorganischen Kohlen-

Algae and climate change: new methods show the gas exchange of cells in real time

Björn Rost, Klaus-Uwe Richter

In the oceans' surface microalgae (phytoplankton) provide the nutritional basis for the marine food web. Using the sunlight as their source of energy for growth, they fix carbon dioxide (CO_2) into organic compounds like sugars. This way phytoplankton binds large quantities of CO_2 , hereby strongly influencing the climate on our planet. Global climate change will induce large changes in the marine ecosystem. Apart from higher aquatic CO_2 concentrations, the increase in atmospheric CO_2 will cause lower pH values, i.e. the oceans will get more acidic. Rising temperatures will impact surface ocean stratification, which in turn affect light climate and nutrient input from deeper layers. These environmental changes are bound to affect phytoplankton.

We studied the effect of CO_2 availability on different aspects of photosynthesis in important phytoplankton species (Figure 1). Despite relatively high concentrations of inorganic carbon in the ocean, phytoplankton cells have to invest considerable resources in carbon acquisition. The responsible enzyme for carbon fixation RubisCO is restricted to CO_2 , which represents less than 1% of the inorganic carbon dissolved in seawater and cannot use the predominant carbon species bicarbonate (HCO_3^-). Moreover, RubisCO requires CO_2 concentrations far above those found in seawater to work efficiently. Most microalgae have thus developed mechanisms that enhance the CO_2 concentration at the site of RubisCO.

Abb. 1: Schematisierte Gaswechselprozesse bei Phytoplanktern (links): Neben der photosynthetischen Sauerstoffentwicklung am Photosystem II und der CO_2 -Fixierung durch das Enzym RubisCO sind auch die Mechanismen des Kohlenstoffwechsels skizziert. Anorganischen Kohlenstoff (Ci) kann als CO_2 oder als HCO_3^- über Transporter in die Zelle und den Chloroplasten aufgenommen werden. Häufig spielt auch das Enzym Karboanhydrase (CA) eine große Rolle, da es die ansonsten langsame Einstellung des chemischen Gleichgewichts zwischen CO_2 und HCO_3^- beschleunigt und somit CO_2 schnell nachliefern kann. Membraneinlass-Massenspektrometrie (MIMS) dient der Betrachtung dieser Prozesse (unten): Die im Seewasser gelösten Gasmoleküle wandern durch die Membran und werden nur wenige Sekunden später im Massenspektrometer ionisiert, nach Masse/Ladungsverhältnis (m/z) getrennt und detektiert. Einige der wichtigsten Kollektoren-Kombinationen für spezielle Messaufgaben sind dargestellt. Das Diagramm (rechts) zeigt einen typischen Kurvenverlauf der CO_2 - und O_2 -Konzentrationen über einen Licht/Dunkel-Zyklus bei einer Photosynthesemessung.

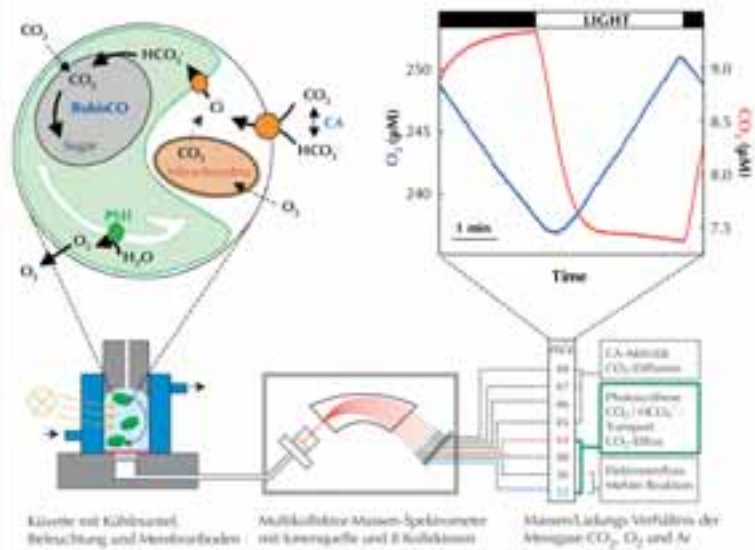


Fig. 1: Schematized gas exchange processes in phytoplankton (left): In addition to photosynthetic oxygen evolution at photosystem II and CO_2 fixation by the enzyme RubisCO, mechanisms of carbon acquisition are outlined. Inorganic carbon (Ci) can be taken up as CO_2 or HCO_3^- via transporters into the cell and chloroplast. The enzyme carbonic anhydrase (CA) is also involved in most species, since it accelerates the otherwise slow inter-conversion between HCO_3^- and CO_2 , hereby supplying CO_2 from the large HCO_3^- pool in seawater. Membrane-inlet mass spectrometry (MIMS) allows the monitoring of these processes (below): Gas molecules dissolved in seawater permeate through the membrane and are get ionised only seconds later in the mass spectrometer. Depending on their mass/charge ratio (m/z), ions are then separated and detected. Collector combinations are given for most important assays. The diagram shows a typical time-course of O_2 and CO_2 concentrations over a light/dark-cycle during a photosynthesis assay.

stoffs ausmacht. Der überwiegende Teil liegt allerdings als Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) vor. Um effizient wirken zu können, benötigt RubisCO zudem CO_2 -Konzentrationen, die weit über denen im Meerwasser liegen. Algen haben daher verschiedene Mechanismen entwickelt, welche die CO_2 -Konzentration am Ort von RubisCO erhöhen.

Zur Untersuchung des Kohlenstoffwechsels und anderer Aspekte der Photosynthese wurde die Membraneinlass-Massenspektrometrie (MIMS) am Alfred-Wegener-Institut etabliert (Abb. 1). Sie ermöglicht die Betrachtung von Gaswechselprozessen in Echtzeit. Eine Anwendung erlaubt es, zwischen CO_2 und HCO_3^- als Kohlenstoffquelle zu unterscheiden und deren konzentrationsabhängigen Transportraten zu bestimmen. In anderen Anwendungen ermöglicht der Einsatz von stabilen Isotopen, Aktivitäten der Karboanhydrasen (CA) oder photosynthetische Elektronenflussraten zu bestimmen. Der Vorteil der unterschiedlichen MIMS-Techniken liegt darin, dass mehrere Prozesse gleichzeitig und unter naturnahen Bedingungen untersucht werden können.

Verschiedene Phytoplanktongruppen haben unterschiedliche Wege des Kohlenstoffwechsels entwickelt. Alle bislang untersuchten Arten können neben CO_2 auch HCO_3^- aufnehmen, unterschieden sich jedoch stark in Regulierbarkeit und Effizienz dieser Prozesse. Auch in anderen Aspekten des Kohlenstoffwechsels gibt es große Unterschiede. Während einige Arten auch bei niedrigsten CO_2 -Konzentrationen keine CA-Aktivität zeigen, können wir bei Diatomeen z.T. sehr hohe und stark mit der CO_2 -Verfügbarkeit regulierte CA-Aktivitäten beobachten. Je nach Effizienz und Anpassungsfähigkeit des Kohlenstoffwechsels ergeben sich folglich auch CO_2 -abhängige Photosyntheseleis-

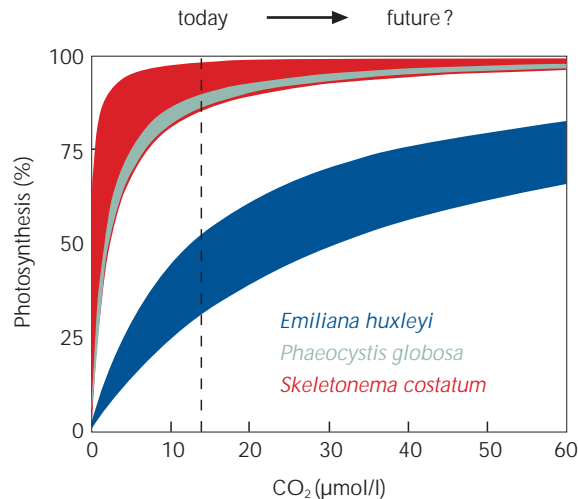
To examine the acquisition of carbon and other aspects of photosynthesis, the membrane-inlet mass spectrometry (MIMS) was established at the Alfred Wegener Institute (Figure 1). It allows monitoring gas exchange processes in real time. One application allows distinguishing between CO_2 and HCO_3^- as carbon sources and determines the uptake rates as function of concentration. In other applications, the use of stable isotopes enables CA-activities to be measured or photosynthetic electron fluxes. The advantage of the MIMS approach is that multiple processes can be investigated under conditions similar to those in the natural environment.

Phytoplankton groups have developed different modes of carbon acquisition. All hitherto investigated species were able to take up both CO_2 and HCO_3^- . They differed, however, strongly in terms of regulation and efficiency in their uptake systems. We also found large differences in other aspects of carbon acquisition. While some species showed no CA-activities even at lowest CO_2 concentrations, we often measured high and tightly regulated CA-activities in diatoms. Depending on efficiency and flexibility in carbon acquisition, we consequently observed differences in the CO_2 -sensitivity of photosynthesis (Figure 2). These findings suggest that the increase in CO_2 will have profound effects on phytoplankton communities, such as a shift in the dominance of species.

In future experiments on acclimation of microalgae, we will investigate representatives of other phytoplankton groups, such as the nitrogen-fixing cyanobacteria. In addition to CO_2 , the influence of other environmental parameters like light and nutrient availability on gas exchange processes will be

tungen (Abb. 2). Diese artspezifischen Unterschiede können zu einer veränderten Zusammensetzung des Phytoplanktons als Folge des Klimawandels führen.

In zukünftigen Experimenten zur Anpassung von Mikroalgen sollen weitere Vertreter der Phytoplanktongruppen, wie z.B. die stickstofffixierenden Cyanobakterien, untersucht werden. Neben CO₂ werden hierbei auch andere Umwelteinflüsse wie Licht und Nährstoffverfügbarkeit auf die Gaswechselprozesse betrachtet. Ein verbessertes Verständnis der Photosyntheseleistung, insbesondere des Kohlenstoffwechsels von Phytoplanktonern, ist Grundvoraussetzung, um Folgen des Klimawandels auf die marine Lebensgemeinschaft abschätzen zu können.



assessed. A better understanding of photosynthesis, especially carbon acquisition, will improve our predictive capabilities of the responses of marine phytoplankton to global changes.

Abb. 2: Die Photosyntheseleistung verschiedener Phytoplanktonarten unterscheidet sich in ihrer CO₂-Abhängigkeit. Während viele Arten maximale Raten bei den heutigen CO₂-Konzentrationen (ca. 15 µmol/l) erreichen, zeigen andere Arten wie der Coccolithophoriden *Emiliania huxleyi* höhere Photosyntheseraten, wenn CO₂ die heutige Konzentration übersteigt. Solche Arten können von einem Anstieg im atmosphärischen CO₂ profitieren. Der hier dargestellte Bereich in den Photosyntheseraten reflektiert die artspezifische Fähigkeit, auf veränderte CO₂-Konzentrationen während des Wachstums zu reagieren.

*Fig. 2: Photosynthesis of phytoplankton species differ in their CO₂ sensitivity. Although many species are close to their maximum rates of photosynthesis under present-day CO₂ levels (approx. 15 µmol/l), some species such as the coccolithophorid *Emiliania huxleyi* show higher rates when CO₂ is increased above present levels. This raises the possibility that such species may benefit directly from the current increase in atmospheric CO₂. The range in responses reflects the species-specific ability to respond to changes in CO₂ concentrations during growth.*

Arktische Klimaprozesse und globale atmosphärische Auswirkungen

Klaus Dethloff, Annette Rinke, Elena Sokolova,
Subodh Kumar Saha, Wolfgang Dorn, Dörthe Handorf,
Andreas Benkel, Burkhardt Rockel, Hans von Storch

Die globale atmosphärische Zirkulation wird maßgeblich durch die Polarregionen beeinflusst: Eisflächen besitzen ein großes Rückstrahlvermögen (Albedo) für Sonnenstrahlung. Somit erwärmen sich vom Eis bedeckte Bereiche deutlich weniger als unbedeckte Gebiete. In der Folge kann die Eisbedeckung weiter zunehmen. Umgekehrt kann eine Erwärmung einen Rückgang der Eisbedeckung mit weiter verstärkter Erwärmung nach sich ziehen. Mögliche Änderungen der Eisdicke, der Eisausdehnung und der beschriebenen Eis- und Schnee-Albedo-Rückkopplung stellen eine der größten Unsicherheiten bei der Vorhersage der zukünftigen Klimaentwicklung dar. Damit ist die Arktis eine Schlüsselregion für das Verständnis des globalen Klimasystems.

Zirkulation der arktischen Atmosphäre

Die arktische Zirkulation im Winter wird in der mittleren Troposphäre, d.h. in etwa fünf Kilometern Höhe, durch einen polaren Wirbel bestimmt, der mit seinem Druckminimum über Nordamerika liegt und sich bis nach Westeuropa erstreckt. Diese Druckverteilung wird durch die Topographie der Erdoberfläche, die Land-Meerverteilung und die Abstrahlung von Wärme in den Weltraum während der Polarnacht bestimmt. Dieses globale Muster der Luftdruck- und Temperaturverteilung hat sich in den letzten fünf Jahrzehnten deutlich verändert. In den Wintern trat eine signifi-

Arctic climate processes and global atmospheric impacts

Klaus Dethloff, Annette Rinke, Elena Sokolova,
Subodh Kumar Saha, Wolfgang Dorn, Dörthe Handorf,
Andreas Benkel, Burkhardt Rockel, Hans von Storch

The global atmospheric circulation is significantly influenced by the polar regions: Ice possesses a high backscatter capacity (albedo) for solar radiation. Therefore, ice covered areas warm up to a lesser extent than comparable ice free areas. As a result, the ice cover is able to grow further. On the other hand, initial warming can be amplified when resulting in a retreat of the ice cover. Possible changes in ice thickness, ice extent and the described ice- and snow-albedo feedback belong to the biggest uncertainties in the projection of the future climate evolution. In this context, the Arctic can be considered as a key region for understanding the global climate system.

Circulation of the Arctic atmosphere

The Arctic winter circulation in the middle troposphere, i.e. at about five kilometers height, is governed by a polar vortex, which has its pressure minimum over North America and extends across the whole Arctic up to Western Europe. The pressure pattern is determined by the topography of the earth surface, the land-sea distribution, and the massive heat loss due to long-wave radiation into the outer space during the polar night. This global pattern of sea-level pressure and temperature has changed considerably over the past five decades: A significant warming has become apparent in winter and a slight cooling in summer. The observed winter warming is

kante Erwärmung und in den Sommern ein leichte Abkühlung auf. Die beobachtete Erwärmung im Winter steht im Zusammenhang mit den Änderungen der Fernverbindungsmuster der Nordatlantischen Oszillation (NAO) oder der Arktischen Oszillation. Dieses natürliche Variabilitätsmuster zeichnet sich durch großräumige Schwankungen des Luftdrucks im Bereich des Islandtiefs und des Azorenhochs aus. In der positiven Phase der NAO sind Islandtief und Azorenhoch stärker ausgeprägt, in der negativen Phase abgeschwächt. Diese Luftdruckanomalien gehen in der positiven Phase einher mit einer verstärkten West-Ost-Strömung über dem Nordatlantik und einer schwächeren West-Ost-Strömung in der negativen Phase. Diese Schwankungen üben einen starken Einfluss auf das Klima Europas aus. In der positiven NAO-Phase gelangt vermehrt warme und feuchte Meeresluft nach Nord- und Mitteleuropa. In der negativen Phase transportieren großskalige Wellenmuster kalte Polarluft nach Europa.

Globale Auswirkungen arktischer Klimaprozesse

Die Auswirkung einer verbesserten Beschreibung der arktischen Prozesse für globale Klimamodelle wurde im europäischen Forschungsprojekt GLIMPSE („Global implications of Arctic climate processes and feedbacks“) untersucht. Eine verbesserte Beschreibung der Eis- und Schnee-Albedo-Rückkopplung wurde zunächst in einem regionalen Klimamodell der Arktis getestet und dann in ein globales Klimamodell des gekoppelten Systems Atmosphäre-Ozean-Meereis implementiert. Ein Vergleich zwischen Modellierungsergebnissen mit der verbesserten und der alten Eis-Albedo-Rückkopplung zeigt von der Arktis induzierte ringförmige Wellenstörungen, die sich bis in

linked to changes in the teleconnection pattern of the North Atlantic Oscillation (NAO) and the Arctic Oscillation (AO). This natural variability pattern is characterized by large-scale variations of sea-level pressure in the region of the Icelandic low pressure system and the high pressure system over the Azores. A negative pressure anomaly at Iceland and a positive pressure anomaly at the Azores characterize the positive NAO phase, whereas a positive pressure anomaly at Iceland and a negative pressure anomaly at the Azores represent the negative NAO phase. These pressure anomalies are associated with an increased zonal flow over the North Atlantic in the positive phase and a decreased zonal flow and stronger planetary wave patterns in the negative phase. These variations exert strong influence on the climate of Europe. In the positive NAO phase warmer and more humid air masses usually reach North and Central Europe, whereas in the negative phase large-scale wave patterns more frequently transport cold polar air masses onto Europe.

Global implications of Arctic climate processes

The global impacts of improved Arctic process parameterizations have been investigated in the European research project GLIMPSE (Global Implications of Arctic Climate Processes and Feedbacks). An improved parameterization of the ice and snow-albedo feedback was investigated in a regional climate model of the Arctic and afterwards implemented in a global climate model of the coupled atmosphere-ocean-sea-ice system. A comparison of the model results between the improved and the old ice-albedo feedback shows Arctic-induced annular wave disturbances, which propagate into the tropics (Figure 3).

die Tropen ausbreiten (Abb. 3). Diese von der Arktis ausgehenden dynamischen Änderungen bewirken eine Umverteilung der Energieflüsse der planetaren atmosphärischen Wellen und eine Zunahme der Wellenenergie in mittleren Breiten in der Troposphäre. Dadurch werden deutliche Änderungen in den Telekonnektionsmustern der Atmosphäre induziert (Abb. 4). Im Mittel sind das Islandtief und das Azorenhoch der NAO weniger stark ausgeprägt. Damit ist eine Tendenz zu negativen NAO-Phasen auszumachen. Man erkennt auch die aus Beobachtungen bekannte Nichtstationarität dieses Telekonnektionsmusters auf Zeitskalen von Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten.

Arktische Prozesse üben somit starke Einflüsse auf das Fernbindungsmuster in der Troposphäre und das europäische Klima aus. Damit muss angenommen werden, dass auch Szenarien der zukünftigen Klimaentwicklung von arktischen Prozessparametrisierungen beeinflusst werden.

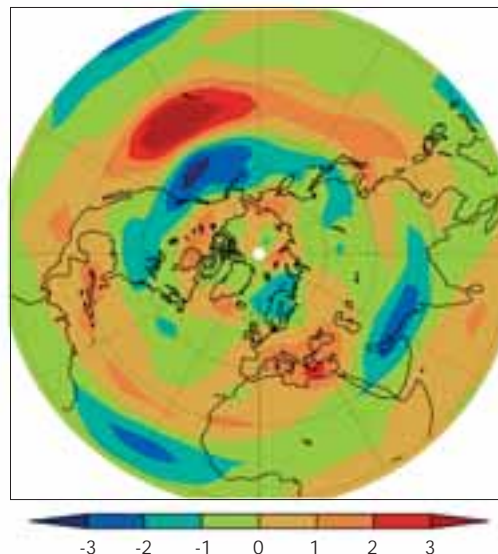
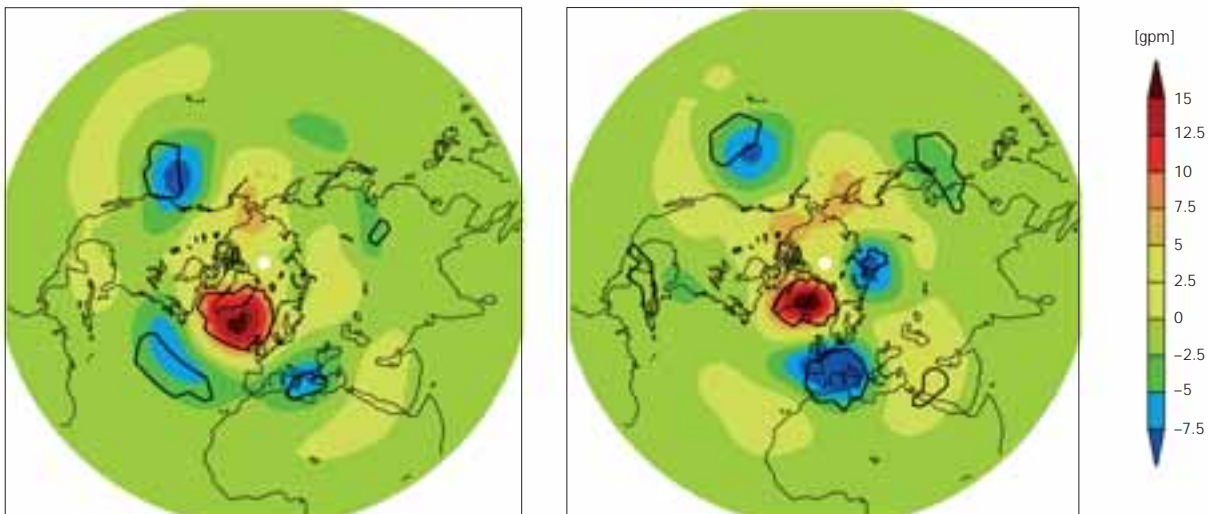


Abb. 3: Differenzen West-Ost-Komponente des Windes (m/s) in ca. fünf Kilometern Höhe (Zonalwind in 500 Hektopascal) zwischen alten und neuen Modellrechnungen als Mittel über acht Winter. In gelb-roten Bereichen ist die Strömung im neuen Modell westlicher, in grün-blauen Bereichen östlicher als im alten Modell.

Fig. 3: Differences of the zonal wind component (m/s) at about five kilometers height (zonal wind at 500 hPa) between model simulations with new and old albedo parameterization averaged over 8 winters. Yellow and red colors indicate regions where the new simulation yields a stronger westerly flow, green and blue colors indicate a stronger easterly flow.

Abb. 4: Vergleich des Luftdrucks (geopotenzielle Höhe des 500 Hektopascal-Niveaus) zwischen alten und neuen Modellrechnungen. Rote Bereiche deuten auf einen höheren durchschnittlichen Luftdruck in den neuen Modellrechnungen hin, blaue auf einen niedrigeren. Links: Mittelwert über die ersten 250 Winter des 500-jährigen Modelllaufs, rechts: Mittelwert über die zweiten 250 Winter.

Fig. 4: Comparison of the pressure (geopotential height of the 500 hPa level) between model simulations with new and old albedo parameterization. Red colors indicate higher pressure in the new simulations, blue colors indicate lower pressure. Left hand side: average over the first 250 winters of the 500-year model simulation; right hand side: average over the second 250 winters.



These dynamical changes originated from the Arctic produce a redistribution of the energy fluxes of the planetary atmospheric waves and an increase of wave energy in the mid-latitude troposphere. This induces distinct changes in the teleconnection patterns of the atmosphere (Figure 4). The Icelandic low and the Azores high pressure centers of the NAO are less pronounced on average. This represents a tendency towards negative NAO phases. Furthermore, the non-stationarity of this teleconnection pattern on time scales from decades to centuries, which is well-known from observations, is also visible in the simulations.

Thus, Arctic processes exert strong influence on tropospheric teleconnection patterns and the European climate. For this reason, it has to be assumed that scenario simulations of the future climate will be affected by parameterizations of Arctic climate processes as well.

Das Klima der letzten 10 000 Jahre: Eine Verknüpfung aus Beobachtungs- daten, Umweltarchiven und Modell- studien

Gerrit Lohmann

Um den vom Menschen verursachten Anteil am derzeitigen Klimawandel verlässlich vorhersagen zu können, ist eine Abgrenzung zur Stärke natürlicher Klimavariabilität wichtig. Sind die milden Winter der letzten Jahrzehnte bereits die Vorboten einer umfassenden Klimaveränderung?

Zur Beantwortung dieser Frage ist ein Verständnis der atmosphärischen und ozeanischen Dynamik notwendig. Zum Beispiel bestimmen die Lage und die Stärke der Westwinde in unseren Breiten, ob milde oder harte Winter auftreten. Um die heutige Klimaveränderung vor dem Hintergrund natürlicher Schwankungen zu bewerten, ist es daher notwendig, das vergangene Klima zu rekonstruieren. Dazu werden historische Daten herangezogen. Verlässliche Temperaturmessungen sind jedoch nur für die letzten 50 - 150 Jahre verfügbar. Bedingt durch die industrielle Entwicklung ist das Klima in dieser Periode aber schon gestört. Für eine Rekonstruktion natürlicher Klimaschwankungen über längere Zeiträume eignen sich die Daten aus Eiskernen, Meeressedimenten und Korallen. Die Analyse dieser Archive erlaubt Aussagen zur Verletzlichkeit des Klimasystems und die Quantifizierung abrupter Klimaänderungen.

Für das Verständnis heutiger und vergangener Klimazustände sowie die Rekonstruktion von Klimaschwankungen sind Verfahren geeignet, die natür-

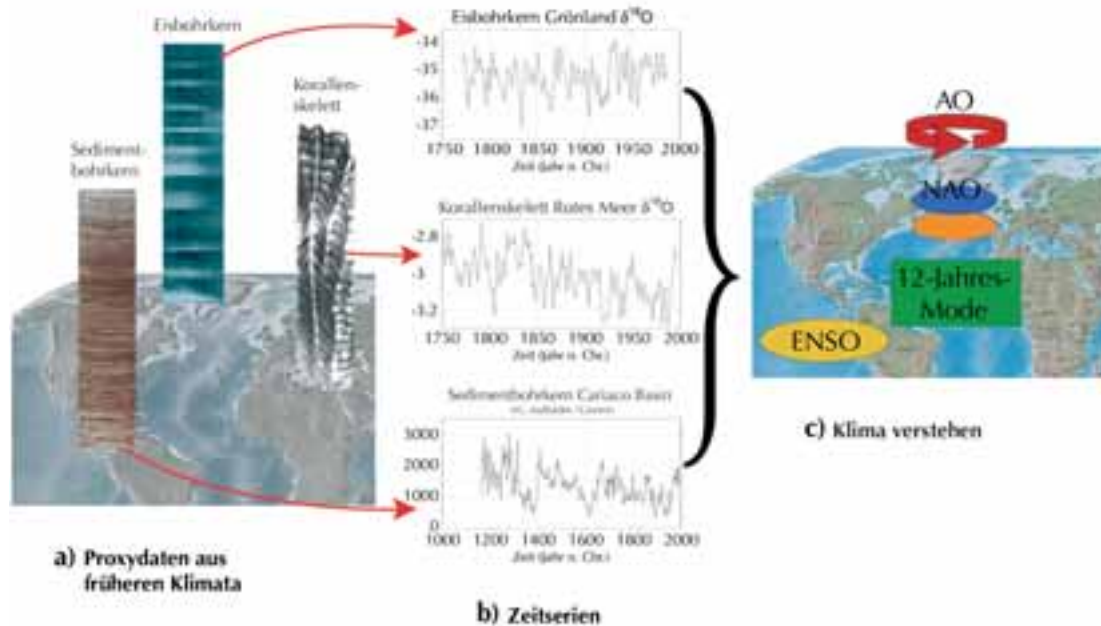
The climate of the last 10 000 years: Combining observational data with environmental archives and model studies

Gerrit Lohmann

To reliably predict the anthropogenic influence on present climate change it is important to differentiate it from the strength of natural climate variability. Are the mild winters of the last decades already the precursor of a global warming?

To answer this question it is necessary to understand the dynamics of atmosphere and ocean. In our latitudes, for example, location and strength of the westerlies determine whether the winters are mild or hard. To assess present climate change against the background of natural variations we must therefore reconstruct the climate of the past, using historical data. Reliable temperature measurements, however, are only available for the last 50 - 150 years and due to the industrial development the climate has already been disturbed during that period. Data from ice cores, sea sediments and corals are suitable to reconstruct natural climate variations over longer periods. Analysing these archives permits statements on the vulnerability of the climate system and the quantification of abrupt climate changes.

To understand present and past climatic conditions and to reconstruct climatic variations we need methods that identify natural circulation patterns aided by model or historical data (Figure 5). In the ideal case, this method supplies us with a reconstruction of climate modes and brings the instrumental data of the last 50-150 years into a long-term context.



liche Zirkulationsmuster mit Hilfe von Modell- oder historischen Daten identifizieren (Abb. 5). Im Idealfall liefert dieses Verfahren eine Rekonstruktion von Klimaschwankungen und ordnet die instrumentellen Daten der letzten 50 - 150 Jahre in einen längerfristigen Kontext ein.

Um dominante Klimaveränderungen während der letzten 10 000 Jahre (Holozän) zu identifizieren, werden unterschiedliche Datensätze der globalen Meeresoberflächentemperatur analysiert. Insbesondere soll die Frage geklärt werden, ob die beobachtete Klimavariabilität im letzten Jahrhundert typisch für das gesamte Holozän ist. Unsere Studie konzentriert sich daher auf die mögliche Rolle der Arktischen Oszillation (AO) und der Nordatlantischen Oszillation (NAO) als antreibende Mechanismen für Temperaturänderungen im Holozän.* Für diese Untersuchungen werden gemeinsam mit unseren Partnern

Abb. 5: Schema zur Interpretation von geologischen Daten mit jahresgenauer Datierung a), am Beispiel von Eiskernen, Meeressedimenten und einer Korallenchronologie b). In c) sind einige bekannte Klimamoden schematisch dargestellt: AO (Arktische Oszillation), NAO (Nordatlantische Oszillation), quasi-dekadische Schwingungen im Atlantik, ENSO (El Niño - Southern Oscillation)

Fig. 5: Scheme for the interpretation of geological data with dating per year a) referring to ice cores, sea sediments and a coral chronology (b). In (c) some known climate modes are shown schematically: AO (Arctic Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), quasi-decadal oscillations in the Atlantic, ENSO (El Niño - Southern Oscillation)

an der Universität Bremen, dem Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg sowie der Universität Kiel Datensätze der Meeresoberflächentemperaturen statistisch analysiert und mit Modellergebnissen verglichen (Abb. 6).

Die Klimarekonstruktionen aus Sedimenten zeigen eine Abkühlung in hohen Breiten und eine Erwärmung in niedrigen Breiten (Abb. 6a). Dieser Temperaturentrend ist räumlich jedoch nicht einheitlich und deutet auf einen Übergang von einer positiven AO/NAO-Phase im frühen Holozän (mit vermehrten Westwinden in unseren Breiten) zu einer negativen AO/NAO-Phase während des späten Holozäns. Ein derartiger Übergang wurde in gleicher Weise durch Modellrechnungen mit einem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell bestätigt (Abb. 6b). Die Abbildung zeigt, dass die Temperaturentrends gut übereinstimmen. Mit Hilfe des Modells lassen sich Gebiete identifizieren, die auf Klimaänderungen besonders empfindlich reagieren. Der Vergleich der rekonstruierten Klimadaten mit Modellen liefert einen neuen Zugang zur Interpretation von Klimadaten, einen Test für die verwendeten Klimamodelle, sowie eine Abschätzung natürlicher Klimatrends vor dem Hintergrund der erwarteten Klimaveränderungen.

* Zur Dynamik der Arktischen Oszillation siehe auch den Beitrag von Dethloff et al.

Different records of the global sea surface temperature are analysed to identify dominant climate modes during the last 10,000 years (Holocene). Special attention is given to the question whether the observed climate variability of the last century is typical for the whole Holocene. Therefore, our study concentrates on the possible role of the Arctic Oscillation (AO) and the North Atlantic Oscillation (NAO) as driving mechanisms for the changes in temperature during the Holocene. For these examinations, records of sea surface temperatures are statistically analysed and compared with model results (Figure 6). Cooperating partners are Bremen University, the Max Planck Institute for Meteorology in Hamburg and Kiel University.*

The climate reconstruction from sediments shows a cooling in high latitudes and a warming in low latitudes (Fig. 6a). This temperature trend, however, is heterogenic and can be compared with a transition of the AO/NAO pattern from a positive phase in the early Holocene (with increased westerlies in our latitudes) to a negative phase during the late Holocene. Such a transition was equally confirmed by model calculations with a coupled atmosphere-ocean model (Figure 6b). The figure shows that temperature trends match well. With the model we can identify regions that react to climate changes in a particularly sensitive way. Comparing the reconstructed climate data with models offers us a new access to the interpretation of climate data, a test for the climate models as well as an evaluation of natural climate trends against the background of expected climate changes.

* Regarding the dynamics of the Arctic Oscillation see Dethloff et al.

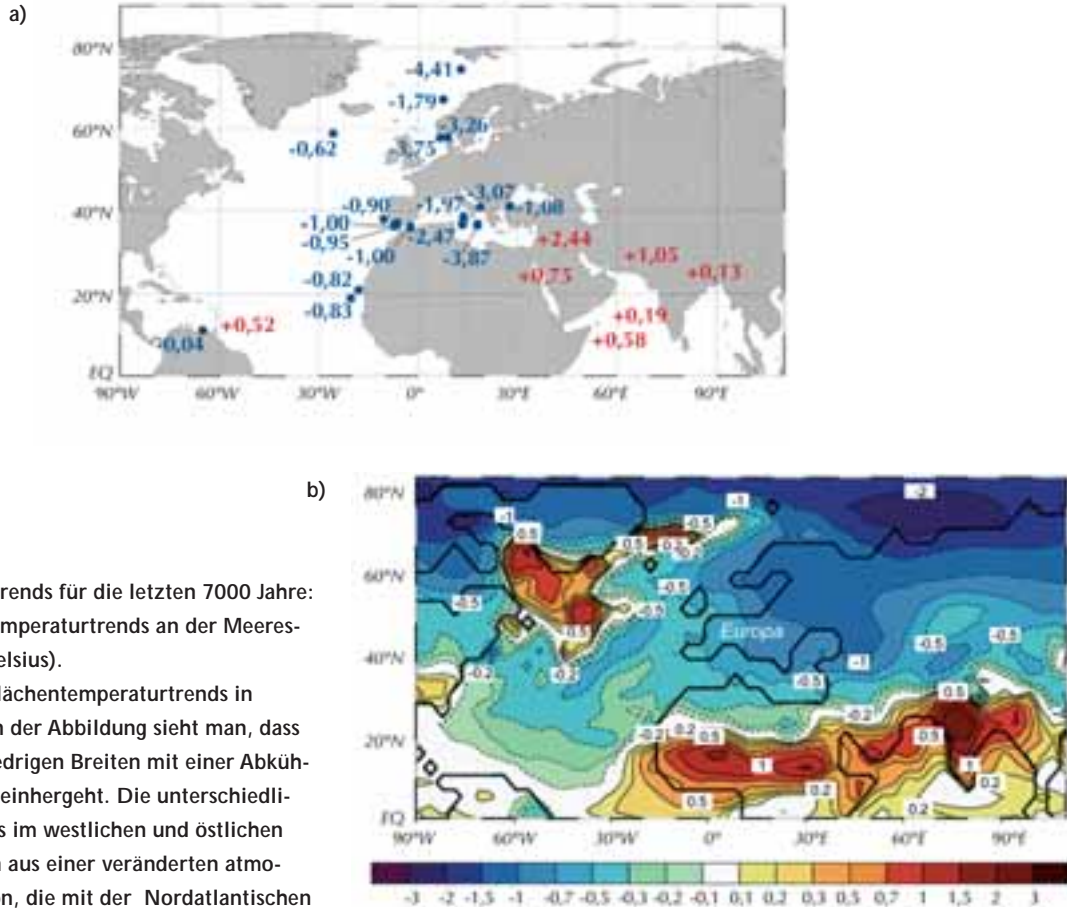


Abb. 6: Temperaturtrends für die letzten 7000 Jahre:
 a) Rekonstruierte Temperaturtrends an der Meeresoberfläche (in Grad Celsius).

b) Simulierte Oberflächentemperaturtrends in einem Klimamodell. In der Abbildung sieht man, dass eine Erwärmung in niedrigen Breiten mit einer Abkühlung in hohen Breiten einhergeht. Die unterschiedlichen Temperaturtrends im westlichen und östlichen Mittelmeer resultieren aus einer veränderten atmosphärischen Zirkulation, die mit der Nordatlantischen Oszillation (NAO) verknüpft ist.

Fig. 6: Temperature trends for the last 7,000 years:

a) Reconstructed temperature trends at the sea surface (in °C).

b) Simulated surface temperature trends in a climate model. The figure shows that a warming in low latitudes is combined with a cooling in high latitudes. The different temperature trends in the western and eastern Mediterranean result from an altered atmospheric circulation, coupled with the North Atlantic Oscillation (NAO).

Chemische Ökologie mariner Protisten - Bedeutung für die Dynamik mariner Nahrungsketten

Allan Cembella, Uwe John, Bernd Krock,
Tilman Alpermann, Urban Tillmann

Protisten sind einzellige Mikroorganismen, die in marinen Nahrungsketten, im globalen Kohlenstofffluss und in biogeochemischen Stoffkreisläufen eine wichtige Rolle spielen. Sie können auf lokalen- und regionalen Skalen durch schnelles Wachstum dichte Massenansammlungen von Zellen bilden. Solche Entwicklungen sind als schädliche Algenblüten bekannt, auch „rote Tiden“ genannt, wenn es zu einer Verfärbung des Wassers kommt. Diese Blüten können verheerende Auswirkungen für marine Ökosysteme und den Menschen haben.

Die Artenzusammensetzung und -vielfalt von Protisten, ihr Wachstum und physiologische Eigenschaften sind gut untersucht. Die chemische Ökologie, d.h. Untersuchungen artspezifischer chemischer Interaktionen, ist jedoch weniger gut bekannt. Dabei spielen bioaktive Substanzen, auch Allelochemikalien genannt, vermutlich eine bedeutende Rolle bei der Wachstumssteuerung, bei der Konkurrenz zwischen Arten und bei der Sukzession im Ökosystem. Von den vermuteten Funktionen allelochemischer Substanzen findet ihr Einsatz als chemische Verteidigung am meisten Beachtung. In dieser Funktion können allelochemische Substanzen dazu dienen, Konkurrenten um Nährstoffe auszuschließen und auch Fraßverluste zu verringern.

Der marine Dinoflagellat *Alexandrium*, ein toxischer Protist, ist von besonderer Bedeutung für die

Chemical ecology of marine protists - implications for marine food web dynamics

Allan Cembella, Uwe John, Bernd Krock,
Tilman Alpermann, Urban Tillmann

Protists are eukaryotic microorganisms that play an important role in food web dynamics, global carbon flux, and biogeochemical cycling. Furthermore, on a local and regional scale, massive proliferation of marine protists can lead to the formation of dense aggregations of cells known as “Harmful Algal Blooms” (HABs), or “red tides,” when visible water discoloration occurs. Such HABs can have devastating consequences for marine ecosystems and human health.

Although much has been described about growth, taxonomic composition and diversity, and ecophysiology of marine protists, relatively little is understood of the species-level chemical interactions controlling growth, competitive outcomes and species succession in the ecosystem – collectively termed chemical ecology. The production of allelochemicals – biologically active components eliciting specific responses in target organisms – may be an important mediator of intra- and inter-specific interactions among marine protists. Among the putative functions of allelochemicals, their use as agents of chemical defence is most often invoked. In this sense, allelochemicals could be targeted to exclude competitors from exploiting limited resources, as well as to avoid or reduce predation.

The marine dinoflagellate Alexandrium, a toxic protist, is of particular relevance to North Sea coas-

küstennahen Ökosysteme der Nordsee. Bei Untersuchungen vor der Ostküste Schottlands wurden mit Hilfe von molekularbiologischen Methoden und morphologischer Kriterien drei *Alexandrium*-Arten nachgewiesen. Zwei dieser Arten kommen weltweit vor, *A. tamarense* und *A. minutum*, und produzieren Tetrahydropuran-Neurotoxine, die, von Muscheln angereichert, beim Menschen für die Paralytische Muschelvergiftung (PSP) verantwortlich sind. Die dritte Art, *A. ostenfeldii*, produziert ebenfalls Gifte, neuartige makrozyklische Iminotoxine, auch Spirolide genannt. Es gibt immer mehr Hinweise darauf, dass allelochemische Effekte auf Mikroalgen und andere Protisten in der Gattung *Alexandrium* häufig vorkommen. Um die Stärke allelochemischer Wirkung von Substanzen zu messen werden so genannte EC_{50} Werte bestimmt. Das ist die Zelldichte, bei der 50 Prozent der Zielorganismen geschädigt sind. Bei *Alexandrium* reichen weniger als 100 Zellen pro Milliliter aus, um andere Mikroalgen und Planktontierchen negativ zu beeinflussen bis hin zur vollständigen Zell-Lyse. Vergleichende Untersuchungen haben jedoch auch gezeigt, dass allelochemische Effekte sehr stark zwischen verschiedenen *Alexandrium*-Arten und sogar zwischen verschiedenen Kulturen einer Art variieren können. Auf jeden Fall können solche schädlichen Auswirkungen signifikant die Bildung und Aufrechterhaltung von *Alexandrium*-Blüten erklären, wenn sie Veränderungen im Konkurrenz- und Fraßverhalten hervorrufen.

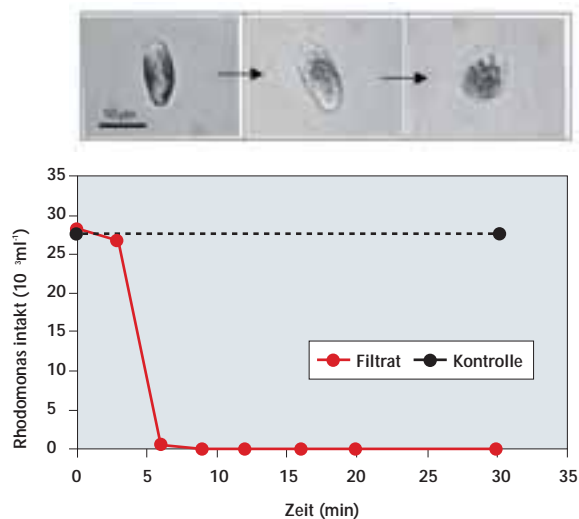
Was löst die allelochemische Antwort aus? Es gibt eine Reihe bekannter, von Mikroalgen produzierter Phycotoxine mit starker biologischer Wirkung üblicherweise auf Ionenkanäle oder Enzymfunktionen, und stark toxischen Effekten auf Menschen, marine

tal ecosystems. By application of morphological criteria and rRNA molecular probes, we have detected three Alexandrium species in studies of field populations from the North Sea. Two of these species, A. tamarense and A. minutum, are known worldwide to be producers of tetrahydropurine neurotoxins, which accumulate in shellfish and are responsible for paralytic shellfish poisoning (PSP). The third species, A. ostenfeldii, has been found to produce novel macrocyclic imine toxins known as spirolides. There is increasing evidence that allelochemical effects on microalgae and heterotrophic protists are widely expressed by members of the genus Alexandrium. Low effective concentrations ($EC_{50} < 100 \text{ cells ml}^{-1}$) required to elicit lysis of 50 % of the target cells indicate a high allelochemical potency of Alexandrium spp. Nevertheless, comparative experiments have shown that allelochemical effects differ markedly among different Alexandrium species and even among strains within a species. In any case, such deleterious consequences may be highly significant in explaining the formation and maintenance of Alexandrium blooms, if they provoke alterations in grazing behaviour and affect competitive outcomes.

What is causing the allelochemical response? There are a number of known phycotoxins with potent biological activity towards cells and tissues, usually affecting ion channels or enzyme function, and thus causing, toxic effects against humans, marine mammals and seabirds. Our initial suspicions thus concentrated on the known phycotoxins produced by Alexandrium, the saxitoxin derivatives associated with PSP and the spirolides. However, current knowledge indicates that allelochemical properties of Alexandrium spp. are not correlated to

Säuger und Meeresvögel. Unsere anfänglichen Überlegungen konzentrierten sich deshalb auf die von *Alexandrium* produzierten bekannten Phycotoxine – die mit PSP zusammenhängenden Saxitoxinderivate und die Spirolide. Unsere gegenwärtigen Erkenntnisse zeigen jedoch, dass die allelochemischen Eigenschaften von *Alexandrium* spp. nicht mit diesen Phycotoxinen zu korrelieren sind. Es sind somit unbekannte extrazelluläre Substanz(en), die offensichtlich nicht im Zusammenhang mit PSP-Toxinen oder Spirolidgehalten stehen, für diese starken allelochemischen Effekte verantwortlich.

Auch wenn somit keine Hinweise für eine mögliche allelochemische Wirkung von Spiroliden und anderer Phycotoxine gegen Protisten vorliegen, ist die Frage nach der chemisch-ökologischen Relevanz



these phycotoxins. Unknown extracellular substance(s), apparently unrelated to PSP toxins or to spirolide content, are responsible for the potent allelochemical effects.

In spite of the lack of evidence of allelochemical interaction against protists, it is still relevant to question the chemical ecological significance of spirolides and other phycotoxins. In parallel studies of the biosynthetic pathway to spirolide production, in collaboration with the National Research Council, Halifax, Canada, we have effectively demonstrated the polyketide nature of spirolides. Polyketides are secondary metabolites, most commonly found in bacteria and fungi, but also in certain protists and higher plants.

Like spirolides, most of the known phycotoxins produced by marine protists are polyethers, and thus are presumed although not proven to be polyketide-derived. Polyketide biosynthesis in both prokaryotes (bacteria) and eukaryotes (protists, fungi, plants and

Abb. 7: Die Zelyse von *Rhodomonas baltica* (obere Bildserie) nach Exposition mit allelochemischen Substanzen von *Alexandrium* ist ein schneller Prozess. Während im Kontrollversuch die Anzahl intakter Zellen mit der Zeit unverändert bleibt, sind im Inkubationsversuch mit Filtrat einer Kultur von *Alexandrium ostenfeldii* bereits nach wenigen Minuten nahezu alle Zellen vollständig zerstört.

Fig. 7: Cell lysis of Rhodomonas baltica (upper panel) after exposure to Alexandrium allelochemicals is a rapid process. In the control experiment number of intact cells remained unchanged. However, when co-incubated with the cell-free filtrate from a culture of Alexandrium ostenfeldii, almost all cells are completely lysed after a few minutes.

dieser Substanzen berechtigt. In parallelen Untersuchungen zu den Biosynthesewegen der Spirolide in Zusammenarbeit mit dem National Research Council in Halifax, Kanada konnten wir die Polyketidnatur von Spiroliden eindeutig nachweisen. Polyketide sind Sekundärmetabolite, hauptsächlich von Bakterien und Pilzen, aber auch in Protisten und höheren Pflanzen. Die meisten der bekannten Phycotoxine mariner Protisten sind Polyether und gehören somit möglicherweise ebenfalls zu der Gruppe der Polyketide. Die Polyketid-Biosynthese verläuft sowohl in Prokaryoten (Bakterien) als auch in Eukaryoten (Protisten, Pilzen, Pflanzen und Tieren) über das Enzym Polyketidsynthase (PKS). Wir sind auf der vielversprechenden Suche nach beteiligten regulatorischen Genen, indem wir erste genomische Ansätze zur funktionalen Genexpression bei verschiedenen Protisten-Arten verfolgen. Bei *Alexandrium ostenfeldii* konnte eine Reihe verschiedener Gene identifiziert werden, die vermutlich im Zusammenhang mit der Toxinsynthese stehen. Darunter waren auch Gene, die für PKS zu kodieren scheinen. Allerdings ließen sich nur 9 Prozent aller Sequenzen bekannten Genen zuordnen. Diese geringe Übereinstimmung mit bekannten Genen stellt nach wie vor eine große Herausforderung für Untersuchungen zur Expression und zur funktionellen Regulierung von Biosynthesegenen von Sekundärmetaboliten in Dinoflagellaten, und besonders für die Spirolidbiosynthese in *Alexandrium*, dar.

animals) is typically mediated by the enzyme polyketide synthase (PKS). We have embarked on a promising search for the associated regulatory genes using limited genomic approaches to functional gene expression for a number of protistan species. For Alexandrium ostenfeldii, we detected several genes putatively related to toxin synthesis, including genes that appear to encode PKS. Yet only 9 % of the total sequences were homologues to known genes. The low degree of sequence homology in A. ostenfeldii continues to present a challenge for determining the expression and regulatory function of biosynthetic genes for dinoflagellate secondary metabolites, and specifically for spirolide biosynthesis in Alexandrium.

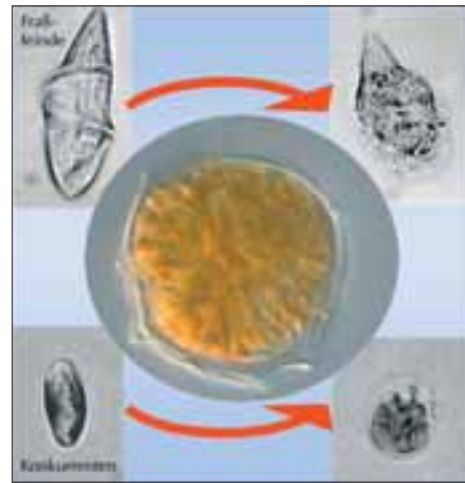


Abb. 8: Extrazelluläre allelochemische Substanzen von *Alexandrium* spp. können Zell-Lyse bei sowohl einzelligen Fraßfeinden als auch bei Konkurrenten verursachen.

Fig. 8: Extracellular allelochemical substances produced by Alexandrium spp. may cause cell lysis of both protistan grazers and competitors.

Nährstoffbelastung des Wattenmeeres: Besserung in Sicht

Justus E. E. van Beusekom, Martina Löbl, Karsten Reise,
Anja Schanz

Intensive Landwirtschaft, phosphathaltige Waschmittel und andere menschliche Einflüsse sorgten im 19. und vor allem im 20. Jahrhundert für eine starke Zunahme des Nährstoffeintrags über die Flüsse in die Küstenmeere. Wir gehen davon aus, dass die Flüsse heutzutage etwa sieben- bis achtmal mehr Nährstoffe in die Nordsee transportieren als zu vorindustrieller Zeit. Während der 1970er und 1980er Jahre wurde klar, dass als Folge dieser Überdüngung auch die von Mikroalgen produzierte organische Substanz zugenommen hatte. Sichtbare Zeichen an der Küste waren die sich auf den Stränden türmenden Schaumberge. Sie entstanden nach dem Zusammenbruch üppiger Blüten des Flagellaten *Phaeocystis globosa*. Die Abnahme der Seegrasbestände im Gezeitenbereich des südlichen Wattenmeeres (vgl. Abb. 9) und die Zunahme von Grünalgen waren weitere Anzeichen einer sich verschlechternden Qualität des Ökosystems Wattenmeer. Auch die Umweltqualität von Flüssen und Seen hatte sich infolge der zugenommenen Belastung mit Nährstoffen verringert. Die Politik reagierte und Maßnahmen wurden eingeleitet um die Nährstoffbelastung (Eutrophierung) auf dem Festland und im Meer zu reduzieren. Mittlerweile gibt es Anzeichen dafür, dass sich der Eutrophierungszustand des Wattenmeeres verbessert.

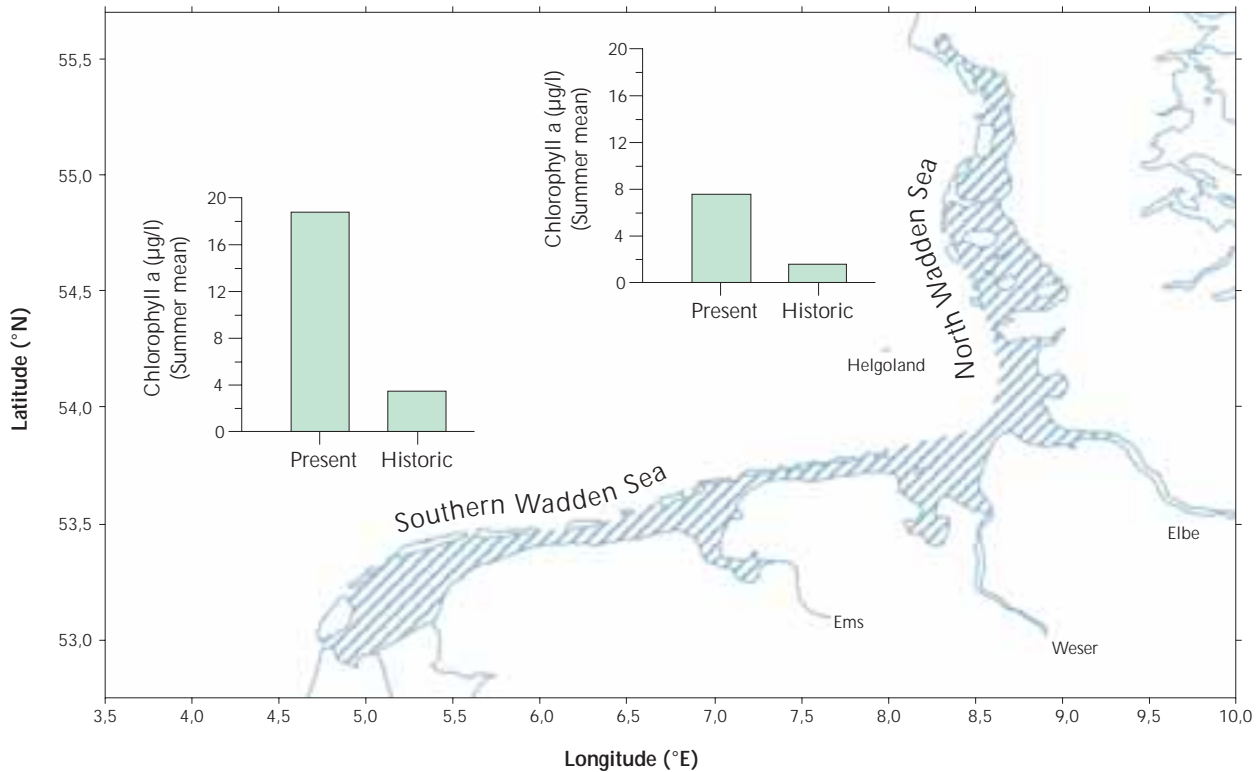
Um die Nährstoffbelastung zurückzudrängen wurden in den 1970er Jahren unter anderem phosphatfreie Waschmittel und eine bessere Abwasserklärung

Eutrophication of the Wadden Sea: signs of improvement

*Justus E.E. van Beusekom, Martina Löbl, Karsten Reise,
Anja Schanz*

*During the past centuries, human pressure on coastal ecosystems has dramatically increased. This is among others reflected by riverine nutrient loads. We estimate that nowadays about seven- to eightfold more nutrients are carried by rivers into the coastal zone than without human influences. During the 1970's and early 1980's, it became evident that due to the increased nutrient fluxes into the North Sea and into the Wadden Sea, the amount of organic matter produced by microalgae had increased. Visual signs were the thick layers of foam originating from decaying blooms of the flagellate *Phaeocystis globosa* that covered beaches during late spring. Other signs that the quality of Wadden Sea ecosystem was deteriorating included a decrease of area covered with seagrass in the Southern Wadden Sea (The Netherlands and Lower Saxony) and an increase in green macroalgae. Also freshwater lakes and rivers had deteriorated due to increased nutrient concentrations. Policy makers responded and measures were taken to reduce the amounts of nutrients in rivers, lakes and in the coastal zone. Evidence is now accumulating that the eutrophication status of the Wadden Sea is improving.*

Riverine nutrient loads: Measures to reduce the riverine nutrient burden included the implementation of waste water treatment and the introduction of phosphate-free detergents. Long-term data show large interannual differences in the amount of riverine nutrients transported into the coastal zone.



eingeführt. Die Flusseinträge zeigen nach wie vor große Schwankungen von Jahr zu Jahr, die aber hauptsächlich auf unterschiedliche Niederschlags- und damit Abflussmengen zurückzuführen sind. Korrigiert man die Nährstoffeinträge entsprechend, dann zeigt sich, dass sich nach Erreichen eines Maximums etwa Mitte der 1980er Jahre die Einträge um etwa zwei bis drei Prozent pro Jahr verringern.

Der Import organischer Substanz von der Nordsee in das Wattenmeer prägt den Umsatz im Wattenmeer. Eine direkte Quantifizierung dieses Imports ist jedoch noch nicht möglich. Um Änderungen im Umsatz feststellen zu können, mussten so genannte Stellvertreterbeziehungen (Proxies) entwickelt werden. Wir

Abb. 9: Vergleich der mittleren Sommer-Biomasse des Phytoplanktons im Wattenmeer (~1985–2002) mit historischen Schätzungen (linke Grafik: südliches Wattenmeer, rechte Grafik: nördliches Wattenmeer). Heutzutage wird etwa vier- bis fünfmal mehr organische Substanz umgesetzt als zu vorindustriellen Zeiten.

Fig. 9: A comparison of the mean summer phytoplankton biomass in the Wadden Sea since about the mid-1980's with historic estimates. Left graph: Southern Wadden Sea, Right graph: Northern Wadden Sea. Nowadays, about four to five fold more organic matter is turned over than during pre-industrial conditions.

haben zwei vorgeschlagen: die saisonale Stickstoffdynamik (Herbstwerte von Ammonium und von Nitrit) und die sommerliche Biomasse des Phytoplanktons. In den meisten Teilen des Wattenmeeres korrelieren diese Proxies signifikant mit den Flusseinträgen. Dies zeigt, dass das Wattenmeer mit einem verringerten Stoffumsatz auf die gesunkenen Flusseinträge reagiert. Die Proxies deuten außerdem darauf hin, dass der Eutrophierungsstatus des südlichen Wattenmeeres etwa zweimal höher ist als im nördlichen Wattenmeer.

Eine weitere Änderung im Wattenmeer, die mit der Eutrophierung in Zusammenhang steht, ist die Zunahme von Grünalgen ab den späten 1970er Jahren, die etwa 1990-1993 ihren Höhepunkt erreichte. Regelmäßige Beobachtungen im nördlichen Wattenmeer zeigen, dass die Bedeckung seitdem zurückgeht. In 2004 erreichte sie zum ersten Mal wieder ein Niveau wie vor den 1980er Jahren.

Viele Zeichen deuten also darauf hin, dass sich der Eutrophierungsstatus des Wattenmeeres verbessert. Aber wie weit müssen wir gehen? Die europäische Gesetzgebung schreibt vor, dass sich das Wattenmeer im Jahr 2015 in einem „guten ökologischen Zustand“ befinden soll. Als Referenz werden häufig historische Bedingungen benutzt, also ein Zustand ohne große menschliche Einflüsse. Ein Vergleich mit historischen Schätzungen zeigt, dass heutzutage etwa vier- bis fünfmal mehr organische Substanz und Nährstoffe umgesetzt werden als in vorindustrieller Zeit. Ob eine weitere Reduzierung der Nährstoffeinträge irgendwann aber durch die Nahrungskette hindurch zu einer Nahrungsknappheit bei Endkonsumenten wie Vögeln führen kann, ist noch unklar.

They are mainly due to variations in freshwater discharge. After correcting for this it becomes evident that riverine nutrient input in the coastal zone reached a maximum during the 1980's. Since then, nutrient loads into the North Sea decrease by about 2-3% per year.

Indicators of the Wadden Sea Eutrophication Status: The amount of organic matter that is turned over in the Wadden Sea is to a large extent determined by organic matter import from the adjacent North Sea. Quantification of this process is not yet possible. To detect changes in the organic matter turnover in the Wadden Sea, so-called proxies had to be developed. We have proposed two: the seasonal dynamics of nitrogen (autumn values of NH_4 and NO_2) and summer phytoplankton biomass. In most of the Wadden Sea these proxies correlated significantly with riverine nitrogen input. This shows that the Wadden Sea responds in a positive way to the decreasing nutrient loads. The proxies also highlight differences in the eutrophication status between the less eutrophic Northern (Schleswig-Holstein) and the more eutrophic Southern Wadden Sea.

Another eutrophication related change noted in the Wadden Sea was the increase of green macroalgae from the late 1970's to a peak in 1990-1993. We now see signs of improvement. Regular observations in the northern Wadden Sea indicate that that the area covered with green macroalgae is gradually decreasing. In 2004 it reached for the first time the marginal occurrences prior to the 1980's.

All available signs indicate that the eutrophication status of the Wadden Sea is improving. But how far do we have to go? European legislation dictates that the Wadden Sea has to be in a good ecological status

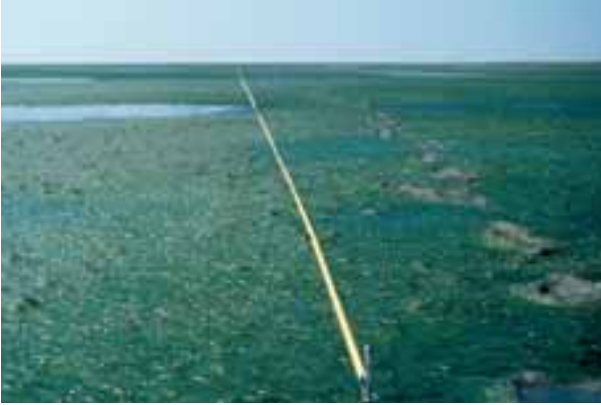


Abb. 10: Seegraswiesen (rechts: eine Detailaufnahme mit zwei Strandschnecken) sind geeignete Qualitätsindikatoren für den Zustand und die Stabilität des Wattenmeeres, weil sie empfindlich auf Umweltänderungen reagieren. Seegraswiesen sind ein wichtiger Lebensraum für Jungfische und Wirbellose. Während der 1950er und 1960er Jahre verschwanden die meisten Seegraswiesen aus dem Gezeitenbereich des südlichen Wattenmeeres. Im nördlichen Wattenmeer fand keine vergleichbare Abnahme statt. Im letzten Jahrzehnt nahmen die mit Seegras bedeckten Flächen stetig zu.

Fig. 10: Seagrass beds (right panel: close up with two periwinkles) are a suitable quality indicator for the health and stability of the Wadden Sea ecosystem, as they respond very sensitively to changes in their environment. Seagrass beds represent an important marine habitat and serve as a feeding and nursery habitat for juvenile fishes and invertebrates. During the 1950's and 1960's most intertidal seagrass beds in the Southern Wadden Sea vanished and are now slowly recovering. In the Northern Wadden Sea no comparable decline was observed. During the past decade, the area covered with seagrass increased continuously. (Photos: A. Schanz)

by 2015. As a reference, historic conditions (before large scale human impact) are often used. A comparison of the present status with historic estimates shows that at present still about four to five times more organic matter and nutrients are turned over in the Wadden Sea than under historic conditions. Whether a further reduction of nutrient supply will eventually result in a food shortage for top consumers is as yet unclear.

Planktonregen im Südpolarmeer: Das europäische Eisendüngungs- experiment EIFEX (European Iron Fertilization Experiment)

Philipp Assmy, Boris Cisewski, Joachim Henjes, Christine Klaas, Oliver Sachs, Victor Smetacek, Volker Strass

Die alljährlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzten 6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in Form des Klimagases Kohlendioxid (CO₂) sind Mitverursacher des zunehmenden Treibhauseffektes. Es gibt verschiedene Ansätze, das entstandene CO₂ langfristig der Atmosphäre zu entziehen. Wie die höheren Landpflanzen, nehmen auch Planktonalgen im Meer durch Photosynthese große Mengen CO₂ auf. Absterbende Algen haben somit einen bedeutenden Einfluss auf den Kohlenstoffhaushalt der Erde. Gelangt der in den Algen enthaltene Kohlenstoff in die Tiefsee, ist dieser langfristig dem Kontakt mit der Atmosphäre entzogen. Diesen Prozess bezeichnet man als biologische Kohlenstoffpumpe. Zur CO₂-Entsorgung wurde vorgeschlagen, die biologische Kohlenstoffpumpe im Ozean durch Düngung von Planktonalgen mit Eisen zu verstärken. Um die Realisierbarkeit dieses Ansatzes zu testen, wurde vom Alfred-Wegener-Institut in Kooperation mit verschiedenen nationalen und internationalen Partnern das europäische Eisendüngungsexperiment EIFEX durchgeführt.

Das pflanzliche Plankton bildet die Basis der Nahrungskette im Weltozean – dem größten Ökosystem unserer Erde. Obwohl es nur einen Bruchteil (0,5 %) zur gesamten pflanzlichen Biomasse der Erde beiträgt, macht die planktische Primärproduktion etwa

Plankton rain in the Southern Ocean: The European Iron Fertilization Experiment EIFEX

Philipp Assmy, Boris Cisewski, Joachim Henjes, Christine Klaas, Oliver Sachs, Victor Smetacek, Volker Strass

Fossil fuel combustion causes annual emissions of 6 billion tons of carbon in the form of carbon dioxide (CO₂) which significantly contributes to the greenhouse effect. Different strategies have been proposed in order to reduce anthropogenic input of CO₂ into the atmosphere. Microalgae in the oceans (phytoplankton) take up large amounts of CO₂ via photosynthesis and influence the carbon budget of our planet by transferring carbon from the surface to the deep ocean through sinking. This process called the 'biological pump' leads to a long-term withdrawal of carbon from the atmosphere. An enhancement of the biological pump of the ocean through iron fertilization of the phytoplankton has been proposed as a way to reduce atmospheric CO₂. To test the feasibility of this approach, the Alfred Wegener Institute conducted a European iron fertilization experiment (EIFEX) on board R.V. 'Polastern' in collaboration with several national and international partners.

Phytoplankton constitutes the first link of the food chain in the global ocean – the largest ecosystem in our planet. Although phytoplankton constitutes only a fraction (0.5 %) of the total plant biomass of the planet, it contributes about 45 % to the annual carbon-uptake via photosynthesis equivalent to approximately 150 billion tons. Consequently high turnover rates occur within the plankton, where growth, mortality and sinking rates are nearly balanced. In

45 % der jährlichen Kohlenstoff-Aufnahme durch Photosynthese von rund 150 Milliarden Tonnen aus. Dieses Beispiel verdeutlicht die hohen Umsatzraten im Plankton, dessen Wachstums-, Sterbe- und Sinkraten sich ungefähr die Waage halten. In drei riesigen ozeanischen Regionen, dem äquatorialen und subarktischen Pazifik sowie dem Südpolarmeer, ist das Algenwachstum durch Eisenmangel begrenzt. Durch Eisendüngung in diesen Gebieten konnte in bisher zehn Experimenten eine rasante Vermehrung der Algen erreicht werden. Dies ging mit einer Abnahme des CO_2 -Gehaltes im umgebenden Meerwasser einher. Die erste Voraussetzung für eine künstliche Beschleunigung der biologischen Kohlenstoffpumpe durch den Aufbau von Algenbiomasse war also erfüllt. Die entscheidende Frage aber, welches Schicksal eine absterbende Algenblüte nehmen würde, war damit noch nicht beantwortet. Alle bisherigen Eisendüngungsexperimente waren zu kurz, um die Algenblüte bis zu ihrem Ende durch Erschöpfung der Nährstoffe oder Alterung der Zellen zu verfolgen.

Das europäische Eisendüngungsexperiment EIFEX sollte den Zusammenbruch der eiseninduzierten Algenblüte und den Verbleib des darin enthaltenen Kohlenstoffs verfolgen. Während EIFEX wurden von Bord des Forschungseisbrechers Polarstern 13 Tonnen gelöstes Eisensulfatpulver über eine Fläche von etwa 400 Quadratkilometern ausgebracht. Die sich dadurch entwickelnde Algenblüte wurde über einen Zeitraum von mehr als fünf Wochen verfolgt.

In der letzten Woche des Experimentes konnte eine signifikante Trübung des Tiefenwassers bis zum Meeresboden in etwa 4000 Meter als Folge der absterbenden und sinkenden Algenblüte beobachtet werden (Abb. 11 zeigt die obersten 500 Meter). Mikroskopi-

three major oceanic regions, the equatorial and sub-arctic Pacific as well as the Southern Ocean the growth of the phytoplankton is limited due to low iron concentrations. Previous iron fertilization experiments in these regions led to a rapid increase of phytoplankton biomass and a clear decrease in dissolved inorganic carbon concentrations (including CO_2) in the water column. However, the fate of these phytoplankton blooms had not been studied yet. The aim of EIFEX was to follow the fate of the iron-induced phytoplankton bloom (growth and decay) and determine the influence of the bloom on the carbon budget of the fertilized patch. During EIFEX we fertilized an area of over 400 km² with 13 tons of iron sulfate dissolved in seawater. The temporal development of the phytoplankton bloom was followed over a period of more than five weeks. In the final week of the experiment a significant increase in turbidity of the deeper water layers down to the ocean floor could be observed as a result of the dying and sinking phytoplankton bloom. (Figure 11: shows turbidity due to algal cells in the upper 500 meters of the water column as a function of time).

Microscopic analysis of water samples revealed the presence of aggregates composed of phytoplankton from the bloom together with zooplankton faecal material that sank out to deeper water layers. Geochemical measurements at the sediment/water boundary layer as well as the analysis of sediment cores indicated that a five millimeter thick layer of fresh plankton material had sedimented in the deep ocean (Figure 12). A detailed budget of the amount of carbon exported into the deep ocean is in preparation.

The EIFEX results indicate that iron fertilization can lead to transport of organic material to the deep

sche Auswertungen ergaben, dass sich viele Algenketten der induzierten Blüte mit aufgelöstem Kotmaterial von Zooplankton zu Flocken verklebt hatten und in die Tiefe gesunken waren. Die Auswertung geochemischer Messungen an der Wasser/Sediment-Grenzfläche sowie analog dazu geborgene Sedimentkerne zeigten eine etwa fünf Millimeter dicke Schicht frisch abgestorbenen Planktons, das sich in der Tiefsee abgelagert hatte (Abb. 12). Detaillierte Bilanzen über die in die Tiefsee exportierte Kohlenstoff-Menge werden derzeit erstellt.

Die bisherigen Ergebnisse von EIFEX zeigen, dass sich durch Eisendüngung atmosphärisches CO_2 in organische Materie umwandeln und in die Tiefsee transportieren lässt. Das vom Menschen durch Freisetzung von CO_2 verursachte Treibhausproblem lässt sich damit jedoch nicht lösen. Die CO_2 -Mengen, die im gesamten Südpolarmeer biologisch entfernt werden könnten, machen nur einen geringen Anteil des jährlichen CO_2 -Ausstoßes aus. Es ist daher ratsamer, die CO_2 -Freisetzung zu drosseln, als einen regulierenden Mechanismus der Natur zu manipulieren. Hinsichtlich der zukünftigen Klimaentwicklung sollte das vorrangige Ziel einer nachhaltigen Energiepolitik eine effizientere Energienutzung in Kombination mit einer CO_2 -neutralen Energiegewinnung sein.

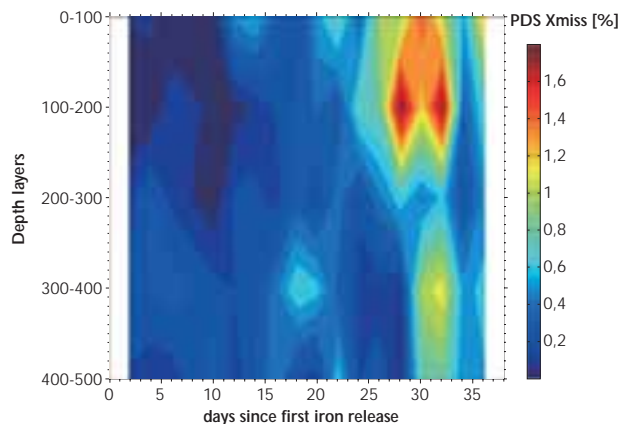


Abb. 11: Trübungszunahme in der Tiefe durch die absinkende Algenblüte während EIFEX.

Fig. 11: Turbidity due to algal cells in the upper 500 meters of the water column as a function of time.

ocean. However, the amount of CO_2 which could be biologically removed by fertilization of the entire Southern Ocean amounts to only a minor fraction of the annual CO_2 emissions. The overriding aim for a sustainable energy policy should be efficient energy use in combination with reduced CO_2 emissions.

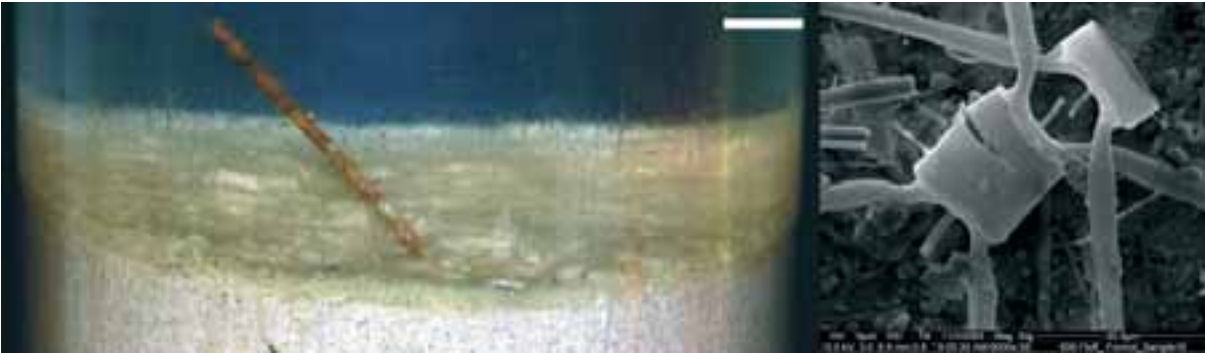


Abb. 12: Geborgener Sedimentkern mit einer etwa 5 Millimeter dicken Lage aus sedimentierten Resten der Algenblüte am Meeresboden (links). In der Bildmitte ist ein Tiefsee-Röhrenwurm zu sehen (Balken = 1 Zentimeter). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme aus dem Algent Teppich mit einer der dominanten Kieselalgen (*Chaetoceros atlanticus*) während EIFEX (rechts).

*Fig. 12: Salvaged sediment core from the sea floor with a 5 mm thick layer of sedimented remnants of the phytoplankton bloom (left). The centre of the picture shows an abyssal tube worm (scale bar = 1 cm). SEM picture of fresh plankton material with one of the dominant diatom species (*Chaetoceros atlanticus*) during EIFEX (right). (Photos: U. Marx, O. Sacha)*

Sind Lebensgemeinschaften polarer Meere Verlierer der Klimaveränderung?

Gisela Lannig, Ute Jacob, Thomas Brey, Rainer Knust, Hans-O. Pörtner

Antarktische Tiere leben bei beständig kalten Wassertemperaturen von bis zu $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Körpertemperatur wechselwarmer Tiere, wie zum Beispiel von Fischen und Muscheln, entspricht der Umgebungstemperatur. Ihre Anpassung an die besondere antarktische Kälte geht einher mit einer deutlich verringerten Toleranz gegenüber Erwärmung. Einige wirbellose Tiere reagieren besonders empfindlich auf steigende Temperaturen, manche Fische können sich hingegen an längerfristige Erwärmung besser anpassen. Wir müssen daher Mechanismen und Grenzen der physiologischen Leistungsfähigkeit kennen, um die Auswirkungen von Klimaänderungen auf polare Tiere und die Struktur polarer Nahrungsketten abschätzen zu können.

Der Temperaturbereich, in dem ein Organismus überleben, sich entwickeln und fortpflanzen kann, wird maßgeblich durch die Sauerstoffversorgung im Organismus bestimmt. Außerhalb des optimalen Bereichs gehen die Sauerstoffversorgung und damit auch die Leistungsfähigkeit des Tieres bis zu dem Punkt zurück, wo ein Überleben nicht mehr möglich ist. Labor- und Feldbeobachtungen an Aalmuttern (*Zoarces viviparus*) aus der Nordsee bestätigen dieses konzeptionelle Modell (Abb. 13).

Bei Erwärmung des Wassers um nur wenige Grad haben somit empfindliche Organismen im Bereich des Antarktischen Schelfs geringe Überlebenschancen. Aufgrund fehlender Rückzugsgebiete werden solche

Does global warming pose a threat to polar ecosystems?

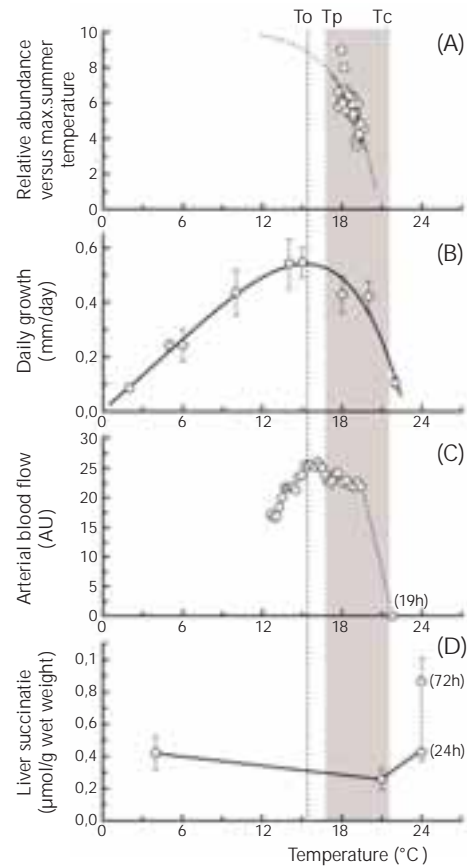
Gisela Lannig, Ute Jacob, Thomas Brey, Rainer Knust, Hans-O. Pörtner

Antarctic waters are extremely cold, with temperatures as low as $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. The body temperatures of ectothermal animals like fish and mussels equal ambient temperature. Thus, the metabolism of Antarctic animals is optimally adapted to the cold, but this accomplishment causes them to be sensitive to warmer temperatures. Current evidence indicates that many Antarctic invertebrates are highly sensitive to warming, whereas some fish species may tolerate moderate temperature increments. To predict and estimate the effects of climate change on polar animals and on the structure of polar food webs it is necessary to gain a mechanistic understanding of the thermal limits of physiological capacity.

*The temperature range in which an animal is able to survive, to grow and to reproduce is mainly characterized by optimized oxygen supply to the organism. Beyond the optimal temperature range oxygen supply and metabolic performance decline until a temperature is reached where survival is no longer possible. This conceptual model is confirmed not only by laboratory but also by field data obtained in eelpout (*Zoarces viviparus*) from the North Sea (Figure 13). According to this model, even a small increase in water temperature may be effective in highly sensitive animals from the Antarctic shelf. Such species are prone to become extinct as there may be no cold habitat left as a retreat. In contrast, sub-polar species and those inhabiting "warmer" deep-sea layers can migrate to higher latitudes. There*

Abb.13: Im ostfriesischen Wattenmeer fällt der Bestand der Aalmutter (*Zoarces viviparus*) aufgrund steigender Sterblichkeit bei hohen Sommer-temperaturen (A). Mögliche Ursache dafür ist eine verminderte Sauerstoffversorgung im Organismus, die auch die Abnahme des Wachstums in der Wärme erklärt (B). Höchstes Wachstum findet sich bei hohem arteriellem Blutfluss und Sauerstofftransport (C) und definiert den optimalen Temperaturbereich. Oberhalb der optimalen Temperatur (T_o) nimmt die Leistungsfähigkeit der Tiere aufgrund abnehmender Sauerstoffversorgung des Gewebes ab. Dies wird deutlich im grau hinterlegten Pejusbereich (pejus = schlechter werdend), der zwischen der Pejustemperatur (T_p) und der kritischen Temperatur (T_c) liegt. Mit Erreichen der kritischen Temperatur bei 24 °C bricht die Sauerstoffversorgung ein und anaerobe Endprodukte (z.B. Succinat) werden gebildet (D).

*Fig. 13: Abundance of eelpout (*Zoarces viviparus*) in the East Frisian Wadden Sea declines due to elevated mortality at high summer temperatures (A). Loss in abundance is associated with reduced oxygen supply to the organism, which also explains reduced growth rates at high temperatures (B). Growth rate is highest at high arterial blood flow and thus oxygen transport to tissues (C). The growth optimum characterizes the optimal temperature range. Beyond the optimal temperature (T_o) oxygen supply to tissues declines resulting in decreased growth performance. This becomes apparent in the pejus range (pejus = getting worse, marked grey) between pejus (T_p) and critical temperature (T_c). Beyond the critical temperature at 24 °C oxygen supply drops more strongly and anaerobic end products (e.g. succinate) accumulate.*



Arten vermutlich aussterben. Hingegen können subpolare Arten und solche aus der „wärmeren“ Tiefsee ihre Verbreitungsgebiete in höhere Breiten ausdehnen. Es gibt erste Anzeichen, dass große bodenlebende Krebse (Seespinnen) der Sub-Antarktis gerade damit beginnen, die antarktischen Gewässer neu zu besiedeln.

Ob und wie der Wegfall oder Neuzugang der einen oder anderen Art auch Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat, hängt von den Nahrungsbeziehungen ab. Lange galten Nahrungsnetze der Antarktis als einfach strukturiert. Heute wissen wir aus dem Weddellmeer, dass das dortige Nahrungsnetz hochkomplex ist und sich von denen anderer Meere deutlich unterscheidet. Es gibt hier mehr Arten und Nahrungsbeziehungen als anderswo und die mittlere Anzahl von Beziehungen zwischen Arten ist sehr hoch. Viele Arten können bei Bedarf verschiedene Nahrungsquellen nutzen, sie sind Generalisten und die Überlappung der Nahrungsspektren verschiedener Arten ist hoch. In diesem Netzwerk kann der Ausfall einer Art oft durch eine andere kompensiert werden. Antarktische marine Systeme werden daher auf eine graduelle Veränderung der Umwelt vergleichsweise elastisch reagieren. Ereignisse, die viele Arten simultan und stark beeinträchtigen, wie zum Beispiel ein schneller Verlust der Schelfeisflächen, das Verschwinden von Schlüsselorganismen in der Nahrungskette wie dem Krill (Abb. 14) oder eine Einwanderung überlegener Räuberarten mit neuen ökologischen Ansprüchen, werden jedoch Struktur und Funktion des antarktischen Ökosystems drastisch verändern.

is preliminary evidence that large bottom-living crustaceans from the sub-Antarctic will soon be able to colonize Antarctic ecosystems.

Whether and to what extent extinction of existing or immigration of new species would affect the structure of Antarctic ecosystems depends on feeding links. It was long believed that the structure of the Antarctic food web is simple. At present we know, however, that the food web of the Weddell Sea is highly complex and different from other marine systems. More species and feeding links than elsewhere have been detected and the value of mean linkage density is higher than usually reported. Many species are so called generalists, i.e. they can exploit many different food sources, and the dietary overlap between different species is high. In such networks the extinction of one species can often be compensated by another species. Hence, small changes in the environment might have little impact on marine Antarctic foodwebs. However, events that affect many species simultaneously and seriously, such as the loss of shelf ice sheets, extinction of key organisms like krill (Figure 14), or invasion by competitive predators with new ecological needs will have profound consequences for structure and functioning of the Antarctic ecosystem.

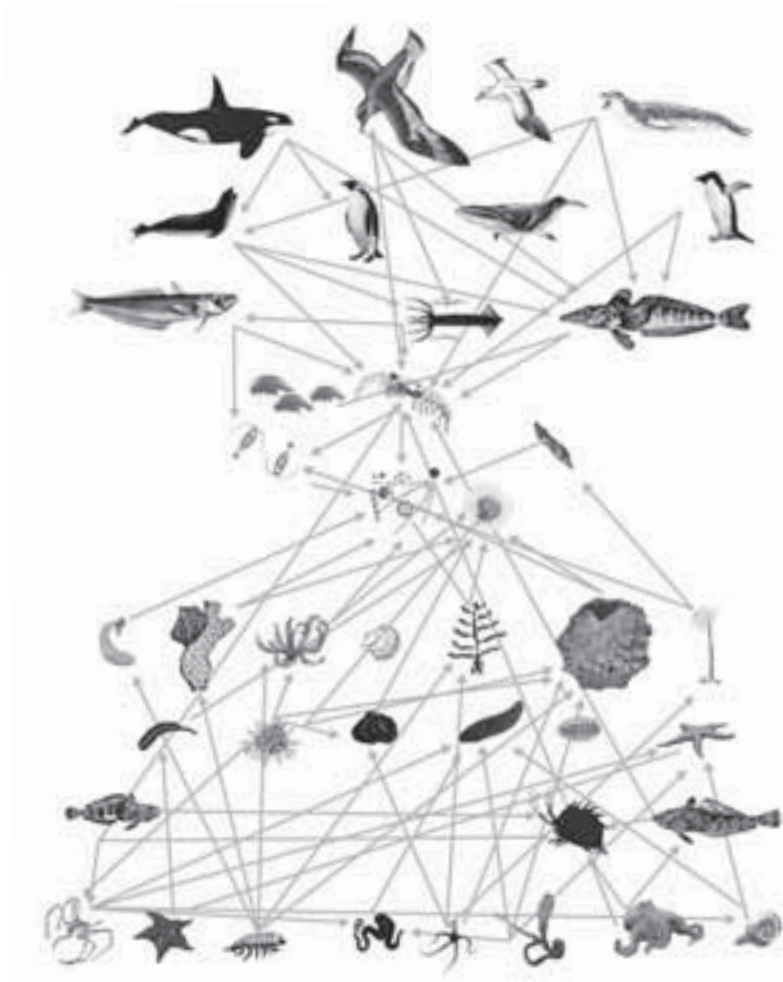


Abb. 14: Vereinfachtes marines Nahrungsnetz der sub-antarktischen Insel Bouvetoya. Die zentrale Nahrungsquelle des Systems ist Phytoplankton und Krill, die sowohl vom pelagischen als auch dem benthischen Teil des Nahrungsnetzes genutzt werden. Innerhalb beider Teilsysteme sind die Arten vielfach miteinander vernetzt.

Fig. 14: Simplified coastal food web at the sub-Antarctic Bouvet Island. Phytoplankton and krill are the central food resources of the system and are used by the pelagic as well as the benthic part of the food web. Species are highly interconnected within both sub-systems.

Marine Genomik – Von den Genen zur Evolution und Ökologie mariner Organismen

Klaus Valentin

Genomik, die Ermittlung der DNA-Sequenz sämtlicher Gene eines Organismus, ist in der Öffentlichkeit vor allem durch das „Human Genome Project“ bekannt geworden. Mit Hilfe der Genomik kann der Stoffwechsel eines Organismus rekonstruiert werden und es sind Rückschlüsse über die Genomevolution möglich. Nun hält die Genomik auch Einzug in die Marine Biologie.

Mit Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts wurde erstmals das Genom einer marinen Alge, das der Diatomee *Thalassiosira pseudonana*, vollständig sequenziert (Abb. 15, Armbrust et al. (2004) *Science* 306: 79-86). Die Wahl war auf eine Diatomee gefallen, weil diese Algengruppe eine besonders wichtige Rolle im marinen Phytoplankton spielt und mit geschätzten 20 % zur globalen Photosynthese beiträgt. Diatomeen besitzen filigran ornamentierte Silikatschalen und sind auch aus evolutionärer Sicht von besonderem Interesse. Ihre photosynthetischen Einheiten, die Plastiden, waren einmal frei lebende Rotalgen, die erst durch die so genannte „sekundäre Endosymbiose“ zu Plastiden wurden – zwei eukaryotische Zellen mit zusammen 5 Genomen (2 Zellkerne, 2 Typen Mitochondrien und eine Plastide) haben sich so in einer neuen, besonders erfolgreichen Symbiose zusammengefunden. Von den einmal vorhandenen 2 Kernen blieb nur einer übrig, ebenso nur einer von den beiden Mitochondrientypen. Diatomeen bieten also die Möglichkeit, Spuren von

Marine Genomics – through genomes to evolution and ecology of marine organisms

Klaus Valentin

Genomics, aiming at the determination of the DNA sequence of all genes of an organism, has gained public interest through the human genome project. It allows reconstruction of metabolic pathways of an organism but also can be used to draw conclusions on genome evolution. Now genomics have entered the field of marine biology.

*The Alfred Wegener Institute was involved in sequencing of the first genome from a marine alga, *Thalassiosira pseudonana* (Figure 15, Armbrust et al. (2004) *Science* 306: 79-86). This species, a diatom, was chosen because the taxon plays a pivotal role in the marine phytoplankton, diatoms contribute an estimated 20 % to global CO₂ fixation. Diatoms possess complex and beautifully ornamented silica shells and they are also interesting from an evolutionary point of view. Their photosynthetic entities, the plastids, once were free-living red algae which were transformed into organelles through a process called “secondary endosymbiosis” – two eukaryotic cells, together possessing 5 genomes (2 nuclei, 2 types of mitochondria and one plastid) formed a novel, very successful symbiosis. From the 2 nuclei only one survived as did only one of the two mitochondrial types. As a consequence diatoms offer the possibility to unravel traces of the ancestral 5 genomes in the extant three ones (nucleus, mitochondrion, plastid).*

Perhaps the biggest challenge in genomics is the determination of the functions of thousands of puta-

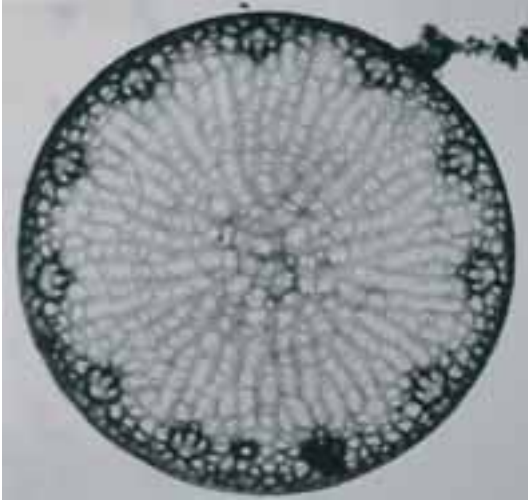


Abb. 15: Erstmals vollständig sequenziert, die Diatomee *Thalassiosira pseudonana*

Fig. 15: The first marine alga to be completely sequenced, the diatom Thalassiosira pseudonana (Photo courtesy of Grete Hasle, University Oslo, Norway)

ursprünglich einmal 5 Genomen der beteiligten Zellen in den heute noch vorhandenen drei Genomen (Kern, Plastid, Mito-chondrion) zu finden.

Die größte Herausforderung der Genomik ist die Bestimmung der Funktion tausender von Genen, die durch die Sequenzierung identifiziert wurden. Bei *T. pseudonana* galt es die Funktionen und die evolutionären Ursprünge von bis zu 11 400 Genen zu identifizieren um so die Biologie dieser Algengruppe besser verstehen zu können. Die Analyse konnte große Teile des Stoffwechsels aufklären und einige Gentransferereignisse nachweisen. So wurden Kopien des Photosynthese-Gens *psbW* sowohl im Plastiden als auch im Kern gefunden, ein Hinweis für einen aktuellen Gentransfer. Weiterhin fanden sich Gene für Phytochrom, ein Signalpigment, dass bisher nur

*tive genes identified through the sequencing. In *T. pseudonana* the task was to identify up to 11,400 genes with the aim to further the understanding of diatom biology. The analysis unravelled significant parts of the *T. pseudonana* metabolism and identified a number of gene transfer events, e.g. the photosynthesis gene *psbW* was present in the nucleus and in the plastid, demonstrating a recent gene transfer. A gene was found encoding for phytochrome, a signal pigment yet only known from green land plants and cyanobacteria. This pigment is stimulated by red light which is almost absent in the marine environment, its function in diatoms thus remains enigmatic.*

Different from plants or animals diatoms possess all genes necessary for two pathways of fatty acid degradation. This may explain their huge success in the polar environment through a fast and effective use of storage lipids. Most spectacular was the detection of all genes from the urea cycle, a pathway yet only known from animals. This pathway potentially has many functions in diatoms, e.g. for the synthesis of signal compounds or the generation of the silica shell. Recent results indicate that they also may be able to produce proline via the urea cycle. Proline is an important osmolyte which can bind water, thus preventing water loss through the saline conditions in sea water.

*The *T. pseudonana* genome project was just the beginning. Late in 2005 a second diatom genome project was finished and again the AWI will help with the analysis. The species, *Phaeodactylum tricoratum* (Figure 16), is a cosmopolite which plays an important role in the commercial use of diatoms, e.g. for fatty acid production. The AWI is one of 9 European partners of the *Ectocarpus siliculosus* ge-*

aus grünen Landpflanzen und Cyanobakterien bekannt war. Es bleibt zu klären, welche Funktion dieses, auf rotes Licht reagierende Pigment hat, da im marinen Milieu kaum Rotlicht vorkommt.

Abgeleitet von ihrer Genausstattung könnten Diatomeen, anders als Tiere oder Landpflanzen, Fettsäuren auf zwei Wegen abbauen. Möglicherweise sind sie in Polargebieten deshalb so erfolgreich, weil sie Reserve-Lipide besonders schnell und effektiv nutzen können. Spektakulär war die Entdeckung sämtlicher Gene des Harnstoffzyklus, der bisher nur aus Tieren bekannt war. Dieser könnte in Diatomeen vielfältige Funktionen haben, zum Beispiel die Synthese von Signalstoffen oder die der Herstellung der Silikat-Zellwand. Jüngste Ergebnisse zeigen, dass Diatomeen den wichtigen Osmolyten Prolin über den Harnstoffzyklus synthetisieren könnten. Osmolyte wie Prolin können Wasser binden und so verhindern, dass der Zelle im salzigen Milieu über Osmose Wasser entzogen wird.

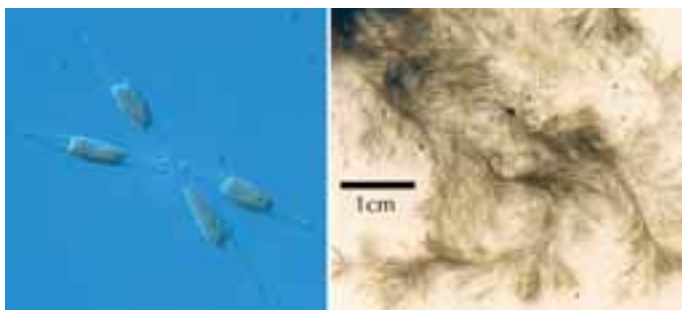
Das Genomprojekt um *T. pseudonana* ist erst der Anfang. Ende 2005 wurde die Sequenzierung einer weiteren Diatomee, *Phaeodactylum tricorutum*, mit Beteiligung von Wissenschaftlern des Alfred-Wege-

nome project. *E. siliculosus* (Figure 16) belongs to the brown algae which play an important global role in structuring ecosystems on rocky shores or the intertidal. Future genome projects the AWI is involved in concern a sea ice bacterium and a red macroalgae.

ner-Instituts abgeschlossen. *P. tricorutum* (Abb. 16, links) ist weltweit verbreitet und spielt auch eine bei der kommerziellen Nutzung von Diatomeen wichtige Rolle, zum Beispiel bei der Herstellung von Fettsäuren. Das Alfred-Wegener-Institut ist einer von neun europäischen Partnern eines Genomprojektes für die Braunalge *Ectocarpus siliculosus* (Abb. 16, rechts), das derzeit in Frankreich durchgeführt wird. Braunalgen haben bei der Strukturierung von Ökosystemen an Küsten eine wichtige Funktion, speziell an Felsküsten oder Küsten mit ausgeprägten Gezeiten von den tropischen bis zu den polaren Gebieten. Weitere Genomprojekte mit Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts sehen die Sequenzierung eines Meereisbakteriums und einer roten Makroalge vor.

Abb. 16: Im Blickpunkt der Genomforscher – Die Diatomee *Phaeodactylum tricorutum* (links) und die Braunalge *Ectocarpus siliculosus* (rechts).

Fig. 16: Current focus of marine genomics – the diatom Phaeodactylum tricorutum and the brown macroalgae Ectocarpus siliculosus. (Photos: left, A. de Martino and Ch. Bowler, Stazione Zoologica and Ecole Normale Supérieure, France)



Frostblumen: Salzige Kristalle auf dünnem Eis

Hans-Werner Jacobi, Sandra Lehmann

Frostblumen entstehen auf neuem Meereis. Glitzernd strecken sie ihre salzigen Blätter und Halme in die Luft. Für die Wissenschaft ist das Interessante an den Frostblumen allerdings ihr hoher Salzgehalt: Frostblumen können dreimal so viel Meersalz wie das Meerwasser enthalten. Aus dem Meersalz können reaktive Halogenverbindungen entstehen, die in jedem Frühjahr die bodennahen Ozonkonzentrationen in weiten Polarregionen auf Null fallen lassen. Satellitenmessungen weisen einen engen räumlichen Zusammenhang zwischen dem Auftauchen der Frostblumen und dem Auftreten erhöhter Halogenkonzentrationen nach. Der eigentliche Prozess der Halogenaktivierung kann von den Satelliten aus jedoch nicht beobachtet werden.

Uns ist es gelungen, die Bedingungen, die zur Entstehung von Frostblumen nötig sind, im Labor zu erzeugen: hohe relative Luftfeuchtigkeit und extrem niedrige Lufttemperaturen. Unter optimalen Bedingungen wachsen die Frostblumen im Kühlraum über Nacht und formen wunderbare Kristalle, die wir mit Hilfe einer Infrarot-(IR)-Kamera auch aus der Nähe betrachten können (Abb. 17). Frostblumen werden aufgrund ihrer geringen Masse durch die kalte Umgebungsluft sehr stark abgekühlt. Das Meereis wird hingegen von dem darunter liegenden, flüssigen Wasser gewärmt. In den Bildern der IR-Kamera heben sich die kalten Frostblumen daher kontrastreich vom warmen Meereis ab. Aneinandergereiht ergeben die IR-

Frost flowers: salty crystals on thin ice

Hans-Werner Jacobi, Sandra Lehmann

Frost flowers grow on new sea ice. They stretch their salty leaves and blades glittering and glistening into the air. What makes them so interesting for scientists is their salt content: frost flowers can contain three times as much salt as standard seawater. From the salt reactive halogen compounds can be produced, which let the atmospheric ozone concentration at the Earth's surface drop to zero in large parts of both polar regions. Remote sensing data indicate a strong spatial correlation between the occurrence of frost flowers and elevated halogen concentrations. The specific process of the halogen activation, however, cannot be observed from satellites.

We succeeded in generating the ambient conditions necessary for the growth of frost flowers in the laboratory: high relative humidity and extremely low air temperatures. Optimized conditions let the frost flowers form over night generating extraordinary crystals, which we observe at close range using an infrared (IR) camera (Figure 17). Due to their small mass frost flowers assume the low ambient temperatures of the surrounding air. In contrast, the underlying liquid seawater keeps the sea ice warm. In the pictures of the IR camera the cold frost flowers can be identified in a stark contrast against the warm sea ice. In a sequence of IR pictures the growth of the frost flowers can easily be observed in detail.

Frost flowers rise due to the condensation of water molecules from the atmosphere onto the sea ice. Even at temperatures well below the freezing point a quasi-liquid surface layer covers the ice, which forms the frost flowers. Since the sea ice is also covered

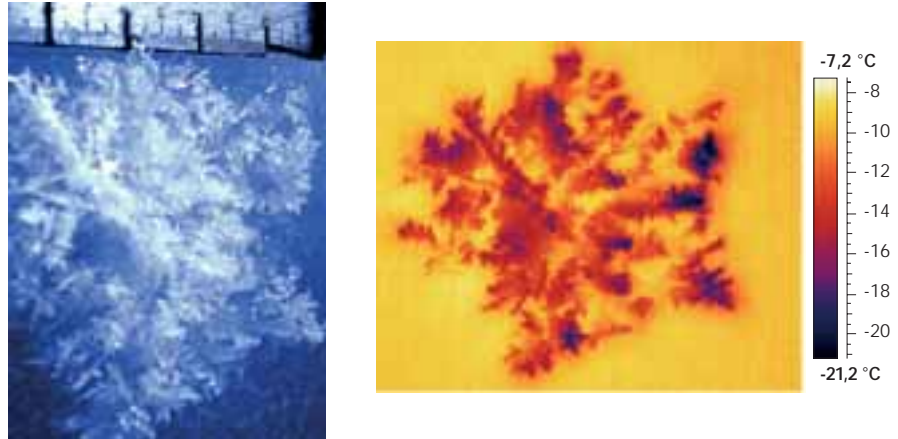


Abb. 17: Aufnahmen einer künstlichen Frostblume (links mit einer Digitalkamera, rechts mit einer IR-Kamera). In der IR-Aufnahme lassen sich die einzelnen Strukturen gut wiedererkennen. Die horizontale Ausdehnung der Frostblume beträgt ca. 10 cm. Die IR-Aufnahme demonstriert die starken Temperaturunterschiede zwischen der Frostblume (Temperaturen an den Spitzen zwischen –14 und –20 °C) und der relativ warmen Eisoberfläche (-9 °C). Die Daten können zur Berechnung von Temperaturunterschieden oder des Bedeckungsgrads verwendet werden.

Fig. 17: Pictures of an artificial frost flower (left with a digital, right with an IR camera). Separate structures in the visible picture can easily be recognized in the IR picture. The horizontal dimension of the frost flower was around 10 cm. The IR picture demonstrates the stark temperature differences between the frost flower (temperatures around –14 and –20 °C at the tips of the branches) and the relatively warm sea ice surface (-9 °C). The data can be analyzed regarding the temperature gradients and degrees of surface coverage.

Aufnahmen ganze Filme, die das Wachstum der Frostblumen im Detail wiedergeben können.

Die Frostblumen wachsen durch die Kondensation von Wassermolekülen aus der Atmosphäre auf dem Meereis. Das Eis, aus dem die Frostblumen bestehen, ist auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt von einer quasi-flüssigen Oberflächenschicht überzogen. Da das Meereis ebenfalls mit einem dünnen Film einer hochkonzentrierten Salzlösung bedeckt ist, können die Ionen aus dieser Meersalzlösung in die Frostblumen hineinwandern. Unsere ersten Laboruntersuchungen deuten darauf hin, dass der Salzgehalt der Frostblumen mit dem Alter zunimmt. Dieser Befund steht im Einklang mit dem oben beschriebenen Mechanismus.

Die noch junge Forschung an Frostblumen soll von August bis Oktober 2006 während der Polarsternfahrt ANT XXIII/7 im eisbedeckten Weddellmeer fortgesetzt werden. Zu dieser Jahreszeit erwarten wir dort ideale Bedingungen, um die Entstehung der Frostblumen zu beobachten. Wir erwarten mit Hilfe der dann zur Verfügung stehenden Daten, die Beziehung zwischen dem Auftreten von Frostblumen und dem Auftreten des Ozonabbaus am Boden präziser beschreiben zu können.

with a thin film of salty, but liquid brine, the sea salt ions can migrate from the brine into the frost flowers. Our first laboratory experiments indicate that the salt content of the frost flowers increases with the age of the frost flowers, which is in good agreement with the described mechanism.

This young research topic concerning frost flowers will be continued from August until October 2006 during the Polarstern cruise ANT XXIII/7, which will bring us into the ice-covered Weddell Sea. At that time of the year the Weddell Sea offers ideal conditions for the observation of frost flowers. We expect that the then available data will help to resolve the relationship between the occurrence of frost flowers and the depletion of ozone at the earth's surface.

Gemeinsam in den Hausgarten: Deutsch-französische Kooperation in der Tiefseeforschung

Thomas Soltwedel, Michael Klages

Im Spätsommer 2005 startete das französische Forschungsschiff ‚L'ATALANTE‘ mit Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern des AWI und des französischen Meeresforschungsinstituts IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploration de la Mer) im norwegischen Tromsø zu einer gemeinsamen Arktis-Expedition. Unter Teilnahme nationaler und internationaler Gastwissenschaftler setzte die Expedition damit die erfolgreiche deutsch-französische Zusammenarbeit zwischen den beiden Instituten fort. Bereits zum vierten Mal ermöglichte diese Kooperation den Wissenschaftlern des AWI mit dem tieftauchenden, ferngesteuerten Tauchfahrzeug (Remotely Operated Vehicle, ROV) VICTOR 6000 zu arbeiten und weltweit einmalige Experimente am Boden der Tiefsee durchzuführen. Die enge Kooperation mit dem IFREMER hat der Tiefseeforschungsgruppe des AWI dazu verholfen, eine der Arbeitsgruppen in Deutschland zu sein, die auf die meisten Tauch-Einsätze mit einem Tiefsee-ROV zurückblicken kann. Erstmals wurde außerdem ein autonomes Tiefseefahrzeug des AWI eingesetzt. Das AUV (Autonomous Underwater Vehicle) hängt im Gegensatz zum ROV nicht an einem Kabel, sondern fährt vorprogrammierte Kurse in Tiefen bis zu 3000 Metern selbstständig ab.

Ziele der Expedition waren der 1,5 Kilometer große, fast kreisrunde Hakon Mosby Schlammvulkan (HMSV) in 1280 Metern Wassertiefe nördlich von Norwegen sowie der „Hausgarten“ westlich von Spitzbergen,

Together 'en route' for HAUSGARTEN: Franco-German co-operation in deep- sea research

Thomas Soltwedel, Michael Klages

In late summer 2005, scientists, engineers and technicians of the AWI and the French marine institute IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) embarked the French research vessel 'L'ATALANTE' in Tromsø (Norway) for a joint expedition to the Arctic Ocean. National and international guest scientists were involved in the recent expedition representing a further step in the successful French-German co-operation between the two institutes. For the fourth time, this collaboration between IFREMER and AWI allowed scientists of the German partner to work with the French remotely controlled deep-sea submersible (Remotely Operated Vehicle, ROV) VICTOR 6000 and to accomplish worldwide unique experiments at the deep seafloor. The close co-operation with IFREMER permitted the AWI Deep-Sea Research Group to be one of the few scientific groups in Germany working extensively with deep-water ROVs. The cruise was also used to test AWI's new Autonomous Underwater Vehicle (AUV) for the first time in a polar region. In contrast to the ROV, the non-cabled AUV is capable to follow, independently, pre-programmed courses at water depths down to 3000 meters.

Destinations of the expedition were the Hakon Mosby Mud Volcano (HMMV), an almost circular structure of 1.5 kilometres in diameter at 1280 meters water depth north of Norway as well as the so-called "Hausgarten" west of Spitsbergen, the first,

die erste und bislang einzige Tiefsee-Langzeitstation in polaren Regionen. Aus dem Schlammvulkan entweicht das klimawirksame Treibhausgas Methan in großen Mengen. Welchen Beitrag die methanhaltigen Sedimente im weltweiten Klimasystem darstellen, welche Bedeutung sie als Energiereservoir für die Menschheit haben und welche Anpassungsmechanismen dieser Lebensraum den assoziierten Tiefsee-Organismen abfordert, sind nur einige der Fragen, an denen die Wissenschaftler arbeiten.

Der Hausgarten wird seit 1999 regelmäßig aufgesucht, um in einem multidisziplinären Ansatz Reaktionen eines Tiefsee-Ökosystems auf einen globalen Klimawechsel zu identifizieren. Die derzeitigen dramatischen Veränderungen in der Eisbedeckung und im ozeanischen Wärmetransport in die Arktis werden sich auf die belebte Umwelt im offenen Ozean und am Meeresboden auswirken – erste Tendenzen einer kontinuierlichen Erwärmung des Wassers konnten dort noch in 2500 Metern Tiefe nachgewiesen werden. Wie das Ökosystem darauf reagieren wird, welche Veränderungen stattfinden und wo die Belastungsgrenzen der empfindlichen polaren Tiefsee-Ökosysteme liegen, diese und andere offene Fragen sollen durch dauerhaftes Engagement an der Tiefsee-Station beantwortet werden. Der Hausgarten ist mittlerweile weit über die Grenzen Deutschlands hinaus bekannt. Im geplanten Projekt ESONET (European Seas Observatory Network) der Europäischen Union stellt er das nördlichste Tiefsee-Observatorium in einem Netzwerk aus zehn derartigen Observatorien entlang des europäischen Kontinentalrandes dar.

and by now only deep-sea long-term station in Polar Regions. HMMV releases the greenhouse gas methane in large quantities. Major questions of scientists working at the HMMV are: To what extent does methane from HMMV sediments contribute to the world's climatic system? Do gas hydrates play a role as a potential energy reservoir for mankind? What mechanisms of adaptation are required from deep-sea organisms associated to methane containing sediments?

The deep-sea long-term station Hausgarten has been regularly visited since 1999 in order to identify reactions of a deep-sea system to global climate change in a multidisciplinary approach. The recent dramatic changes in sea-ice cover and in the oceanic heat transport into the Arctic Ocean will affect ecosystems in the open ocean and at the deep seafloor – first tendencies of continuously increasing temperatures could be traced even in 2500 meters water depth. How will the ecosystem react? To what extent will the ecosystem change? What will be the maxi-

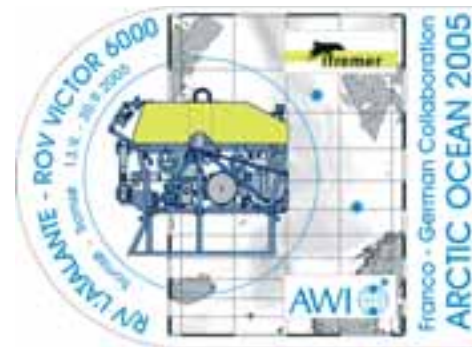


Abb. 18: Expeditionsaufkleber der deutsch-französischen Expedition „Arctic Ocean 2005“.

Fig. 18: Expedition sticker of the Franco-German expedition "Arctic Ocean 2005".



mum load the sensitive arctic ecosystem could tolerate? These and other open questions will be followed in a long-lasting commitment at this deep-sea long-term station. Meanwhile, Hausgarten is well-known far beyond the borders of Germany. In the planned large project ESONET (European Seas Observatory Network) of the European Union, Hausgarten represents the northernmost deep-sea observatory in a network of ten similar observatories along the European continental margin.

Abb. 19: Oben: Das französische Forschungsschiff L'ATALANTE im Hafen von Tromsø; Links: Einsatz des ferngesteuerten Tiefseefahrzeugs „Victor 6000“; Unten: Beprobung eines „large food-falls“ (Schweinswal-Kadaver) in 5500 m Wassertiefe; Mitte: Bergung des 4 m langen autonomen Unterwasserfahrzeugs; Rechts: Blick in den Nutzlastraum des autonomen Unterwasserfahrzeugs.

Fig. 19: Top: The French research vessel L'ATALANTE in the port of Tromsø; Left: Deployment of the remote operated vehicle "Victor 6000"; Bottom: Sampling of a "large food-fall" (porpoise carcass) at 5500 m water depth; Centre: Recovery of the 4 m Autonomous Underwater Vehicle (AUV); Right: View into the payload section of the AUV.

Fernerkundung in arktischen Periglaziallandschaften – Auf den Spuren der Permafrostdynamik

Guido Große, Dirk Wagner, Lutz Schirrmeister

Der gegenwärtige Klimawandel verändert Gebiete mit dauerhaft gefrorenen Böden, den so genannten Permafrost in der Arktis. Im Zuge der Klimaschwankungen der jüngsten Erdgeschichte im Quartär erfuhren diese von Dauerfrost geprägten Landschaften immer wieder Umformungen des Reliefs. Die verschiedenen Oberflächenformen und -eigenschaften dieser Periglaziallandschaften sind somit Zeugen der Permafrostdynamik und des quartären Klimageschehens. Sie lassen sich mit Hilfe von Fernerkundungstechniken und geographischen Informationssystemen (GIS) qualitativ und quantitativ erfassen und stellen damit ein wichtiges Archiv der Klimageschichte dar.

Der ausgedehnte und bis 1,5 Kilometer tief reichende Permafrost in Sibirien ist das Ergebnis langfristig stabiler, kaltklimatischer Bedingungen im Pleistozän (vor 1,8 Mio Jahre – 10 000 Jahren). Während der letzten Kaltzeit entstand in weiten Tieflandsgebieten der nord- und zentralsibirischen Arktis eine 20-60 Meter mächtige, eisreiche Permafrostzone, der so genannte Eiskomplex. Dieser reagierte sehr sensibel auf die schnelle Klimaerwärmung vor ca. 12-10 000 Jahren, was zu einer oberflächennahen Zerstörung des Permafrostes innerhalb von wenigen hundert Jahren führte. Eine massive Landschaftsveränderung war die Folge (Abb. 20). Daher können Permafrostentstehung, -verbreitung und -degradation als Klimaindikatoren betrachtet werden.

Remote sensing in Arctic periglacial landscapes – The tracing of permafrost dynamics

Guido Große, Dirk Wagner, Lutz Schirrmeister

Current climate change is impacting perennial frozen ground in the Arctic, so-called permafrost. The permafrost-dominated periglacial landscapes were influenced by recurring relief changes during the climate fluctuations in the younger, quaternary, history of Earth. Therefore, the existing different surface structures and surface properties of these landscapes are witnesses of permafrost dynamics and quaternary climate events. Their qualitative and quantitative properties can be recorded by applying remote sensing techniques and geographical information systems (GIS) and thus provide an important archive for climate history.

The extent and up to 1.5 kilometre deep permafrost in Siberia is a result of long-term stable and cold-climatic conditions during the Pleistocene (from 1.8 million years – 10,000 years). A 20-60 meter thick deposit of ice-rich permafrost, the so-called ice complex, was formed in the wide lowland regions of the North and Central Siberian Arctic during the last cold stage. These highly sensitive deposits reacted rapidly on the fast climate warming approximately 12-10,000 years ago, resulting in the destruction of permafrost close to the surface within a few hundred years. Massive changes in landscape morphology were the result (Figure 20). Hence, permafrost formation, distribution, and degradation can be considered as climate indicators.

Due to the thawing of ground ice the landscape surface is settling, and depressions, lake basins, and



Abb. 20: Typische Periglaziallandschaft Nordostsibiriens mit Thermokarstsenken und Talsystemen (Bykovsky Halbinsel, östliche Laptevsee).

Fig. 20: Typical periglacial landscape in North-east Siberia, showing thermokarst depressions and valley systems (Bykovsky Peninsula, Eastern Laptev Sea) (Photo: M. Krbetschek, 1998, Saxon Academy of Sciences).

Durch das Tauen von Grundeis senkt sich die Geländeoberfläche ab und es bilden sich nachfolgend Senken, Seebecken und Talsysteme, der so genannte Thermokarst. Diese Landschaftsformen lassen sich in den vegetationsarmen Tundragebieten mit Hilfe von Fernerkundung gut untersuchen. Periglaziale Landschaften wurden anhand von hoch auflösenden Satellitenbildern (Landsat-7, Corona), digitalen Geländemodellen und Felddaten aus den Küstengebieten der Laptevsee charakterisiert und klassifiziert (Abb. 21). Hauptaugenmerk lag dabei auf der räumlichen Verbreitung von Thermokarst. Anhand dieser Daten lassen sich Umweltinformationen vergangener Zeiten von ausgewählten Orten auf größere Räume übertragen und die Ablagerungsbedingungen spätquartärer Periglaziallandschaften (z.B. Aufschüttungsebene oder

valley systems are formed. This process and its forms is the so-called thermokarst. The structures can be easily observed in tundra regions sparsely covered with vegetation by applying remote sensing methods. High-resolution satellite images (Landsat-7, Corona) were used for the characterization and classification of periglacial, permafrost-dominated landscapes in the coastal lowlands of the Laptev Sea (investigation areas in Figure 21). The focus of the study was the investigation of the spatial distribution of thermokarst. These data allow the transfer of palaeo-environmental information from distinct localities to a larger region. Furthermore, the depositional environment in Late Quaternary periglacial landscapes (e.g. an accumulation plane, or thermokarst) can be reconstructed. The investigation areas in the North Siberian coastal lowland are influenced by thermokarst up to 78 % of the total area (Figure 22).

The thermal and simultaneous mechanical destruction of permafrost, called thermo-erosion, results in a massive coastal retreat of several meters per year at Arctic ice-rich permafrost coasts. High-resolution aerial and satellite imagery from 1950-2005 were used for the assessment of coastal retreat rates and coastal dynamics. Based on GIS analyses, the future evolution of such coasts and resulting ecological and economical challenges can be forecasted.

Beyond the balancing of sediment, freshwater, and organic carbon released and relocated during permafrost destruction, another focus was the indirect quantification of trace gases fluxes from permafrost landscapes. The greenhouse gas methane is produced by microbial activity also during permafrost degradation. The systematic classification of permafrost surfaces using remote sensing data was applied to the Siberian Lena Delta region. As a result, local

Thermokarst) rekonstruieren. Die Untersuchungsgebiete im nordsibirischen Küstentiefland sind bis zu 78 % der Gesamtfläche von Thermokarst beeinflusst (Abb. 22).

Die als Thermoerosion bezeichnete, thermische und gleichzeitige mechanische Zerstörung von Permafrost führt an eisreichen arktischen Küsten zu einem massiven Küstenrückgang mit Raten von bis zu mehreren Metern pro Jahr. Hochauflösende Luft- und Satellitenbilder von 1950-2005 wurden erfolgreich für die Bewertung der Rückgangsraten und der Dynamik der Küsten eingesetzt. GIS-Analysen helfen dabei, Prognosen für den zukünftigen Küstenverlauf und daraus resultierender ökologischer und ökonomischer Herausforderungen zu erstellen.

Neben der Bilanzierung von Sediment, Süßwasser und Kohlenstoff, die im Zuge von Permafrostdegradation freigesetzt und umgelagert werden, stehen auch indirekte Bestimmungen von Spurengasflüssen im Blickpunkt. Das Treibhausgas Methan wird als mikrobielles Umsatzprodukt unter anderem bei der Permafrostdegradation freigesetzt. Die gezielte Klassifizierung von Permafrostoberflächen mit Fernerkundungsdaten wurde beispielhaft am sibirischen Lena-Delta eingesetzt. Damit konnten lokale Emissionsmessungen von Methan, wie sie von der Forschungsstelle Potsdam im Lena-Delta durchgeführt werden, aus den verschiedenen Tundrenoberflächen auf regionale Skalen übertragen werden. So haben z.B. trockene bis feuchte, von Zwergsträuchern dominierte Tundrenflächen mit 6,3 % zwar einen geringen Anteil an der Gesamtfläche, tragen aber mit 50 % zur Gesamtemission bei. Dagegen haben Böden mit geringer Wassersättigung zwar einen 30 %igen Flächenanteil, sind aber nur mit 0,4 % an der Methanemis-

measurements of methane emissions carried out by AWI Potsdam staff in the delta on different tundra surface types, were transferred to a regional scale. Dry to wet dwarf-shrub dominated tundra has a small total area (6.3 %) in the Lena Delta but contributes to about 50 % of the total emission. In contrary, soils with low water saturation have a high total area (30 %), but contribute to only 0.4 % of the total methane emission. Weighted by the total area of individual classes, the methane emission in the Lena Delta is about 23.7 milligramme CH₄ per squaremetre and day. This results in a daily emission of about 690 tons of methane for the entire Lena Delta. Considering the seasonal characteristics of methane emission, an annual methane emission of 78,600 tons was calculated.

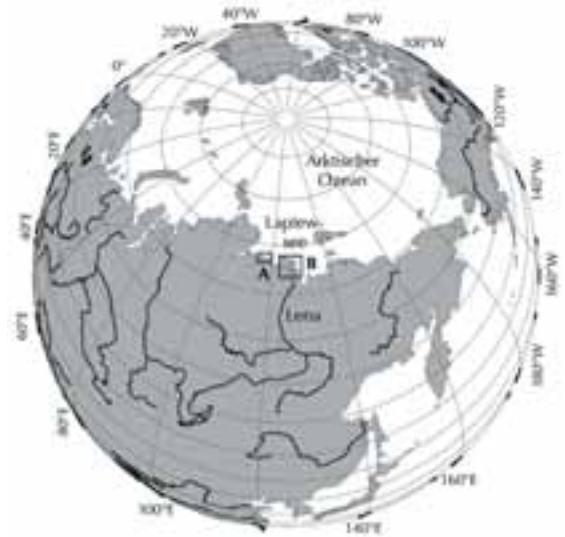


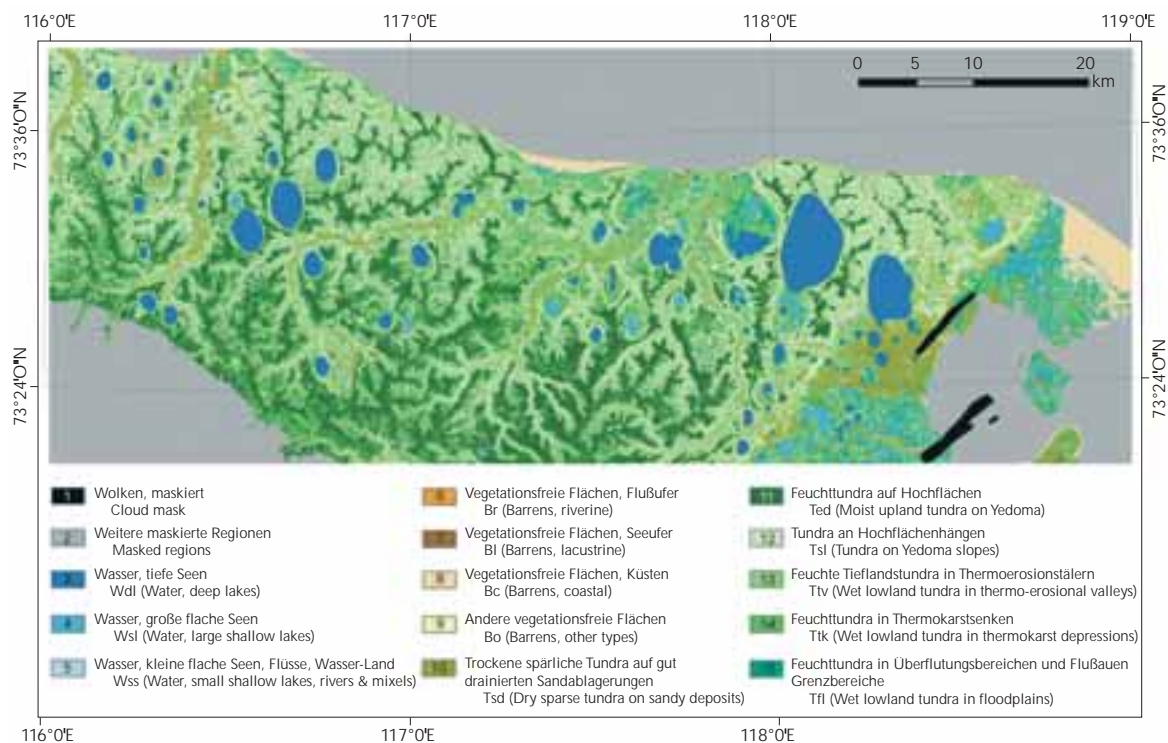
Abb. 21: Übersichtskarte mit den Untersuchungsgebieten A) Kap Mamontov Klyk und B) Lena-Delta im Permafrost-dominierten Küstentiefland Nordostsibiriens.

Fig. 21: Location of the investigation areas in the permafrost-dominated coastal lowland of North Siberia A) Cape Mamontov Klyk and B) Lena Delta.

sion beteiligt. Gewichtet nach den Flächenanteilen der einzelnen Klassen betragen die Methanemissionen 23,7 Milligramm Methan pro Quadratmeter und Tag, was eine tägliche Emission von 690 Tonnen für das gesamte Lenadelta ergibt. Unter Einbeziehung des jahreszeitlichen Emissionsverlaufs wurde daraus ein jährlicher Methanausstoß von 78600 Tonnen bilanziert.

Abb. 22: Die auf Landsat-7-Daten, Geländemodellen und Felddaten basierende Landschaftsklassifikation des Untersuchungsgebietes zeigt Seen und Täler, die durch Tauen des Permafrostes im Frühholozän (10-8 000 Jahre v.H.) entstanden sind (Kap Mamontov Klyk Region, westliche Laptewsee).

Fig. 22: The landscape surface classification based on Landsat-7 imagery, terrain models and field data shows lakes and valleys formed by permafrost destruction during the Early Holocene (10,000-8,000 years ago) (Cape Mamontov Klyk region, western Laptev Sea).



Frühling im Weddellmeer: Biologisch-physikalische Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Eis und Ozean

Christian Haas, Gerhard Dieckmann, Hartmut Hellmer,
Michael Schröder

Das westliche Weddellmeer ist eines der wenigen Gebiete im Südpolarmeer, das auch im antarktischen Sommer weitgehend von Eis bedeckt bleibt. Von früheren Polarstern-Expeditionen ist bekannt, dass das dortige Eis im Sommer ungewöhnlich geschichtet und stark von Algen besiedelt ist, wodurch es eine besondere Rolle für die biologische Primärproduktion und den Kohlenstoffkreislauf spielt (Abb. 23). Im November 2004 brach Polarstern zum Projekt ISPOL (Ice Station POLarstern) in das Weddellmeer auf. Das multidisziplinäre Vorhaben unter Beteiligung führender Wissenschaftler aus acht Ländern sollte zu einem besseren Verständnis der physikalisch-biologischen Prozesse im schmelzenden Meereis beitragen. Fünf Wochen lang ankerte das Schiff an einer Eisscholle, um biologische, chemische, glaziologische, meteorologische und ozeanographische Messungen in Luft, Schnee, Eis und Wasser durchzuführen. Während dieser Zeit driftete die Scholle 98 Kilometer nach Norden (Abb. 2). Eisdickenmessungen ergaben, dass verschiedene Eistypen unterschiedlicher Herkunft im ISPOL-Gebiet vorherrschten (Abb. 24). Das zweijährige Eis im Westen und Osten war zwei bis vier Meter dick und mit bis zu einem Meter Schnee bedeckt. Dazwischen befand sich ein Band dünneren einjährigen Eises, das vor dem Ronne-Schelfeis entstanden und seitdem fast 1000 Kilometer ins Untersuchungsgebiet gedriftet war.

Go with the floe: biological-physical interactions between atmosphere, ice and ocean in the Weddell Sea

*Christian Haas, Gerhard Dieckmann, Hartmut Hellmer,
Michael Schröder*

The western Weddell Sea is one of the few regions of the Southern Ocean covered by perennial sea ice. Earlier Polarstern expeditions have shown a strong layering of the ice with high algal standing stocks, suggesting that the ice plays an important role for primary production and the Carbon Cycle (Figure 23). In November 2004, RV Polarstern headed towards the Weddell Sea to conduct the Ice Station POLarstern (ISPOL) experiment. This multidisciplinary project involved leading scientists from eight countries to improve our understanding of physical-biological processes during the sea ice melting season. For five weeks the ship was anchored to an ice floe to conduct biological, chemical, glaciological, meteorological, and oceanographic measurements in the air, ice and water. During the experiment, the floe drifted 98 kilometres to the North (Figure 24). Ice thickness measurements showed the presence of two major ice regimes in the study region: two to four meter thick second-year ice to the West and East covered by up to one meter of snow and a south-north extending band of thinner first-year ice in-between. Satellite imagery revealed that this ice originated from the Ronne polynya, and has drifted almost 1000 kilometres into the study region.

Despite spring/summer conditions and the low southern latitude of 67°30'S, ice and snow thickness only decreased by 20 to 30 centimetres. Low atmospheric

Trotz der Jahreszeit und der niedrigen südlichen Breite von $67^{\circ}30'S$ nahmen Eis und Schnee während ISPOL nur um 20 bis 30 Zentimeter in ihrer Dicke ab. Die geringen atmosphärischen und ozeanischen Wärmeströme von wenigen Watt pro Quadratmeter reichten nur aus, um das Eis auf -2 bis -1 °C zu erwärmen, was zu einer starken Erhöhung der Porosität des Eises führte (Abb. 23). Chemische Untersuchungen konnten zeigen, dass das Eis dadurch im Sommer zum Austausch wichtiger Klimagase wie Kohlendioxid (CO_2) und Dimethyl-Sulfid (DMS) zwischen Ozean und Atmosphäre beiträgt, obwohl nur stellenweise eine Zunahme der Algenbesiedlung festgestellt werden konnte. Zunehmendes Algenwachstum führte allerdings zu großen Krillschwärmen unter dem Eis und zu einem ständigen Fluss von gelöstem und partikulärem Kohlenstoff in das Wasser.



Abb. 23: Die beim Eisbrechen gekippte Scholle ist stark von Algen besiedelt und zeigt die sommerliche Schichtung des porösen Meereises.

Fig. 23: Small ice floe tilted during ice breaking. The ice is strongly inhabited by algae and shows the typical layering of porous summer sea ice. (Photo: C. Haas)

and oceanic heat fluxes of a few Watts per square meter lead to warming of the ice to -2 to -1 °C, resulting in increases of ice porosity (Figure 23). Chemical measurements showed that this increased the exchange of climatically relevant gases like Carbon Dioxide (CO_2) and Dimethyl-Sulfide (DMS) between ocean and atmosphere, even at low increases of algal growth. However, increased algal growth did support large swarms of krill feeding under the ice and resulted in a continuous flux of dissolved and particulate Carbon into the water.

Observations of vertical temperature and salinity distributions in the water column were performed by means of a new CTD probe deployable by helicopter. Within a region of 60 nautical miles around the Polarstern drift track, the bottom water was 0.5 °C colder than observed during a similar Russian-American drift experiment (ISW-1) in 1992. Tracer analysis showed for the first time that this water originated from the neighbouring Larsen-C Ice Shelf, and has flown down the continental slope in a sporadic event. During the drift period, surface water salinity decreased only slightly, mainly due to lateral melting of ice floes and brash ice in leads.

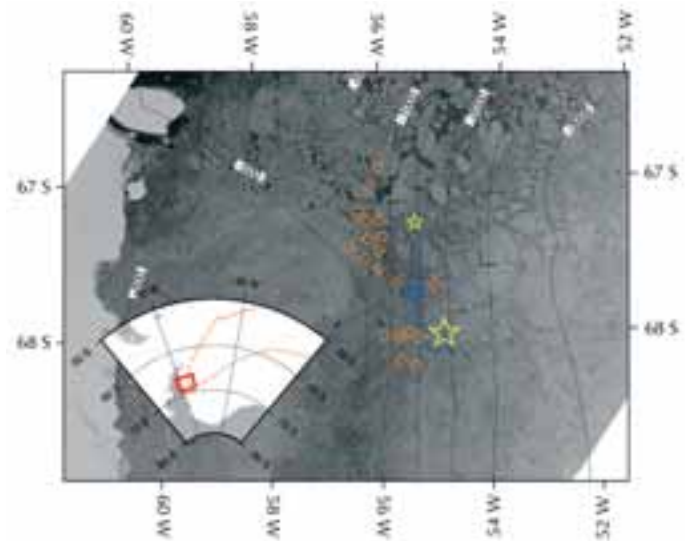
The station floe fractured twice during the observation period, but with little consequences for the scientific program. Unfortunately, the long-term Polarstern schedule required a completion of the study in early January 2005. Therefore, we plan to repeat the project to cover the complete summer melting between January and March as part of a future Polarstern drift experiment.

Zur Analyse der vertikalen Verteilung von Temperatur und Salz in der Wassersäule wurde eine neuartige Hubschraubersonde eingesetzt. Messungen in einem Umkreis von bis zu 60 Seemeilen um die Polarstern-Driftspur ergaben, dass das Bodenwasser um $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kälter war als bei dem russisch-amerikanischen Driftexperiment ISW-1 im Jahre 1992. Durch Tracer-Analyse gelang erstmalig der Nachweis, dass das benachbarte Larsen-C-Schelfeis eine Quelle für Eisschelfwasser ist, das offenbar in einem einmaligen Ereignis den Kontinentalhang hinab gegliedert war. An der Wasseroberfläche wurde nur eine geringe Salzgehaltsabnahme beobachtet, die durch seitliches Abschmelzen von Eis und Eisbruchstücken in Wasserrinnen erklärt werden kann.

Während der Drift brach die Eisscholle zweimal auseinander, was die wissenschaftlichen Arbeiten jedoch nur kurzfristig unterbrach. Leider erforderte der Polarstern-Zeitplan bereits Anfang Januar 2005 eine Beendigung der Untersuchungen. Um die Beobachtungen der sommerlichen Schmelzperiode zu vervollständigen, ist eine Fortsetzung von ISPOL für die Zeit Januar bis Februar geplant.

Abb. 24: Envisat-Radar-Satellitenbild des westlichen Weddellmeeres und des Larsen-C-Schelfeises an der Antarktischen Halbinsel. Bei 56° W ist das dunkle Band einjährigen Eises zu sehen. Darüber sind die Tiefenlinien (schwarz), die ISPOL Drift-Spur (blau) sowie Anfang (großer gelber Stern) und Ende der Drift (kleiner gelber Stern) gezeigt. Orange Rauten zeigen die Stellen, an denen Salzgehalts- und Temperaturmessungen des Wassers mit Hubschraubern durchgeführt wurden.

Fig. 24: Envisat radar satellite image of the western Weddell Sea and Larsen-C Ice Shelf east of the Antarctic Peninsula. A dark band of first-year ice is visible at 56° W . Black lines show water depth contours. The Polarstern drift track is shown by the blue line, with begin and end of the drift indicated by the large and small yellow stars, respectively. Positions of helicopter measurements of water temperature and salinity are indicated by orange diamonds.



Die Vermessung des Meeresbodens in den Polargebieten

Hans-Werner Schenke

Karten und digitale Daten der Meeresbodentopographie werden als Basis für nahezu alle meereswissenschaftlichen Forschungsarbeiten benötigt. Die Modellierung und wissenschaftliche Interpretation physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse am Meeresboden sowie die Herstellung thematischer Karten z.B. mithilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) können nur auf der Basis digitaler Geländemodelle oder ihrer Ableitungen (Karten, 3D-Ansichten) sinnvoll durchgeführt werden.

In den eisbedeckten Polarmeeren ist die Vermessung des Meeresbodens schwierig und daher sehr aufwändig. Das Forschungsschiff ‚Polarstern‘ ist mit einem speziellen eisverstärkten Fächersonarsystem ausgerüstet und führt seit 1983 alljährlich im Rahmen der Expeditionen Vermessungen des Meeresbodens durch.

Das Alfred-Wegener-Institut ist maßgeblich an der Erstellung der International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) beteiligt (Jakobbsen, M. et al.). Alle von ‚Polarstern‘ gesammelten Tiefenmessungen in der Arktis wurden in die IBCAO eingearbeitet. Sie liefern insbesondere in den Gebieten der Framstraße, des Gakkelrückens, des Yermak Plateau und des ostgrönländischen Schelfrandes neue Erkenntnisse über die dort vorherrschenden Strukturen (Abb. 1).

Für die Antarktis liegt eine komplette Meeresbodenkarte nicht vor. Die Arbeiten des Alfred-Wegener-Instituts konzentrieren sich vorwiegend auf den atlantischen Sektor der Antarktis. Seit 1983 wurden 30

Polar Coastal and Ocean Mapping Program (PCOMP)

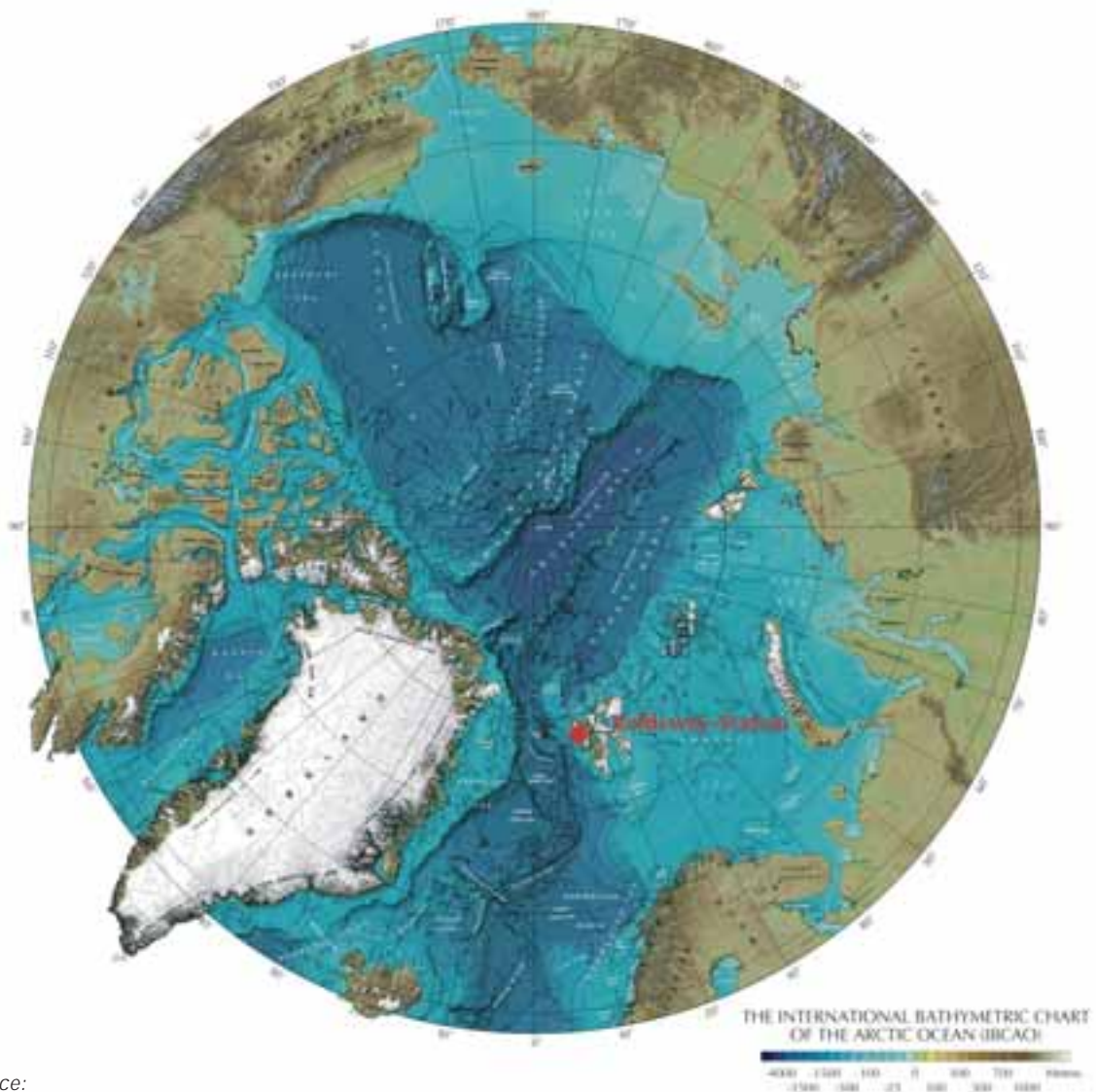
Hans-Werner Schenke

Digital data and charts of the seafloor topography serve as essential base for nearly all marine research activities. The modeling and interpretation of physical, chemical and biological processes at the seafloor and the compilation of thematic maps using Geographic Information Systems (GIS) can realistically only be accomplished by the utilization of digital terrain models (DTM) and their derivatives (e.g. maps, 3D-views).

Surveying the sea floor in the ice covered polar oceans with high accuracy is difficult and time consuming. Research vessel ‚Polarstern‘ is equipped with an ice-strengthened multibeam sonar system and has conducted a large number of surveys in unknown polar waters since 1983.

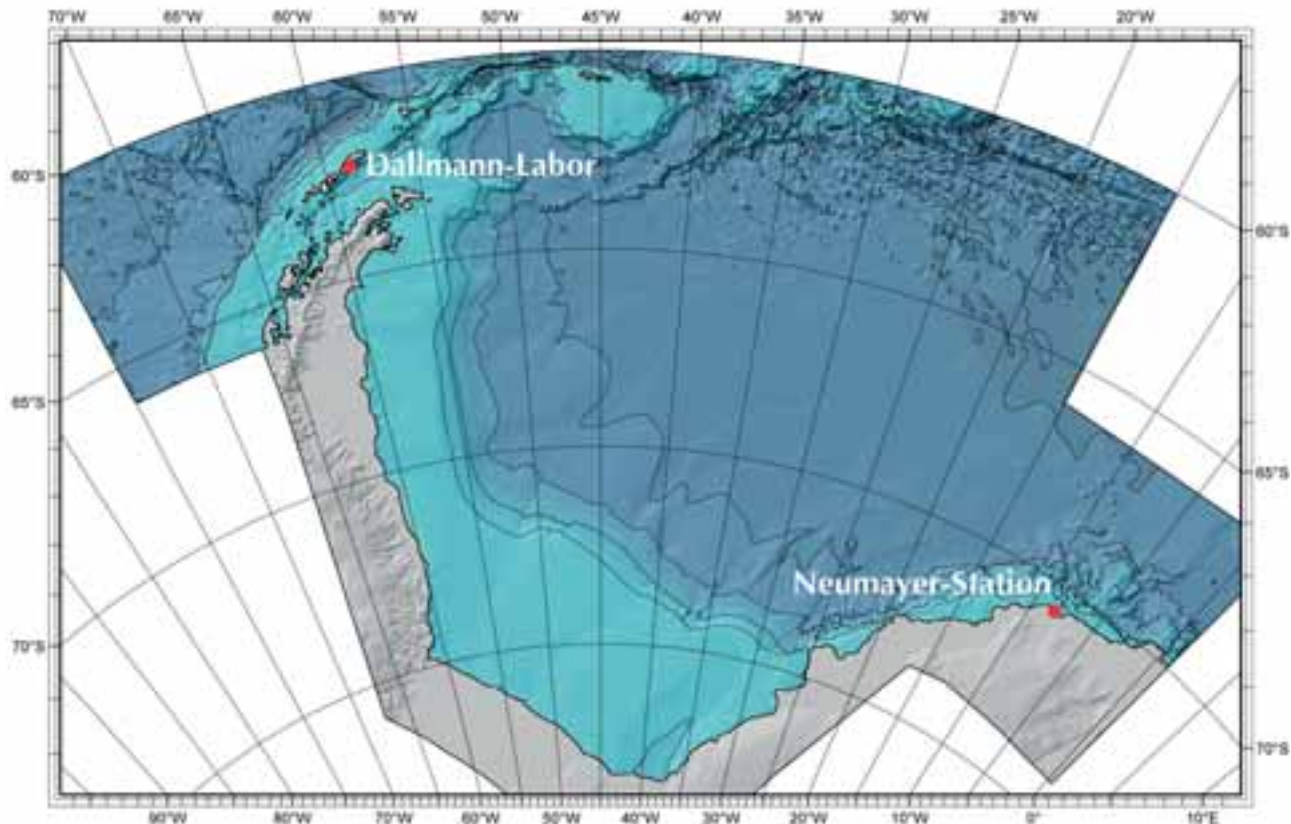
Alfred Wegener Institute collaborates within the multinational project of the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), (Jakobbsen, M. et al., 2003). All multibeam data measured by ‚Polarstern‘ are included in the IBCAO (Fig. 1) and deliver in particular in the Fram Strait, the Gakkel Ridge, the Yermak Plateau, and the Eastern Greenland Shelf a detailed insight into their morphological structures.

For the Southern Ocean, a similar plain bathymetric chart is not yet available. The scientific work of ‚Polarstern‘ was focused mainly on the Atlantic sector of Antarctica. Multibeam surveys in the year around ice covered region of the Weddell Sea were conducted about 30 expeditions. On the basis of these



Reference:

Jakobsson, M., et al., 2004. *The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)*. Research Publication RP-2, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, USA 80305, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/html>.



AWI Bathymetric Chart of the Weddell Sea

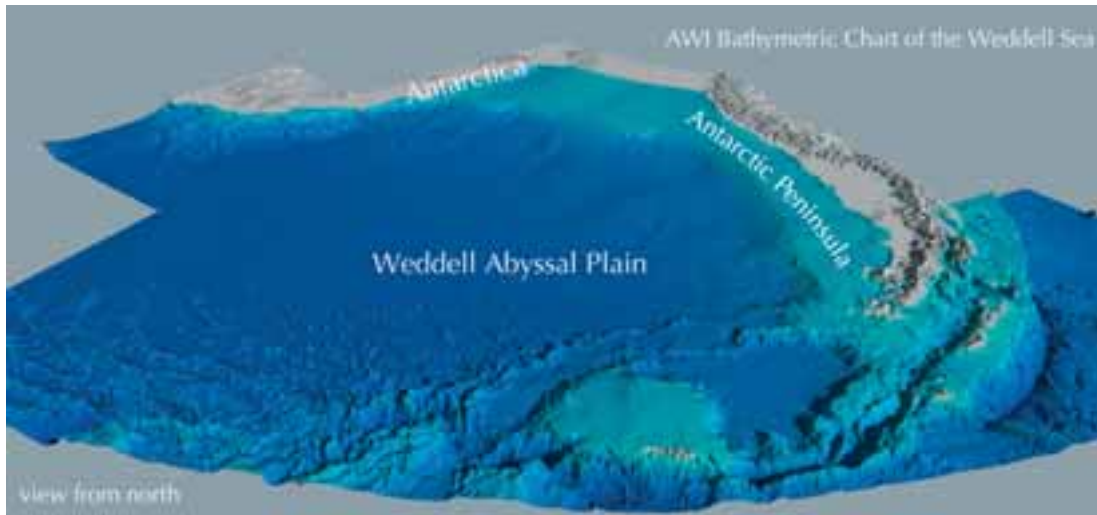


- Topography
- Research Station

Scale: 1: 20 000 000
Map Projection: Lambert Conformal Conic
Standard Parallels: 54°30'00" S 73°30'00" S

Sheet Index of the AWI BCWS





Expeditionen mit Meeresbodenvermessungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Vermessungen sind in der AWI Bathymetric Chart of the Weddell Sea (AWI BCWS) im Maßstab 1:1 Mio zusammengefasst (Abb. 2, Schenke, H.W. et al., 1998). Die Karte deckt das Gebiet zwischen der Antarktischen Halbinsel und der östlichen Grenze des Weddellmeeres ab. Sie umfasst damit nahezu ein Viertel des gesamten Südozeans. In Zusammenarbeit mit dem Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) und anderen internationalen Organisationen soll eine Gesamtkarte des Südozeans erstellt werden. Die International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO) wird auf Basis aller international verfügbaren Daten in den kommenden Jahren angefertigt.

measurements and with sonar data supplied by other nations, 9 bathymetric charts in the scale of 1:1 Mio were compiled (Schenke, H.W. et al., 1989) partly in cooperation with the Vernadsky Institute in Moscow, (Fig. 2). These charts, the AWI Bathymetric Chart of the Weddell Sea (AWI BCWS), showing the region between the Antarctic Peninsula and the eastern Weddell Sea, cover nearly a quarter of the Southern Ocean. Under the aegis of the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) and other international organizations a new International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO) shall be developed and compiled utilizing all available international bathymetric data similar to the IBCAO. This international effort will be done under a rank involvement of AWI.

Mehr Informationen...

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) gibt einen ‚Zweijahresbericht‘ heraus, in denen es über wissenschaftliche Projekte berichtet.

Ferner erscheinen die ‚Berichte zur Polar- und Meeresforschung‘ mit wissenschaftlichen Ergebnissen der Expeditionen und Forschungsarbeiten. Die ‚Polarstern Abstracts‘ enthalten Zusammenfassungen aller Veröffentlichungen, die auf ‚Polarstern‘-Expeditionen zurückgehen. Mitarbeiter des AWI sind Herausgeber der Fachzeitschrift ‚Helgoland Marine Research‘ (früher Helgoländer Meeresuntersuchungen), die im Springer-Verlag erscheint.

Das AWI veröffentlicht, neben diesen wissenschaftlichen Publikationen, auch allgemeines Informationsmaterial. Aktuelle und umfassende Informationen können Sie zudem über das Internet erhalten:
<http://www.awi.de>

More information...

The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) publishes a ‘Report’ every two years with reports on scientific projects.

AWI publishes the ‘Reports on Polar and Marine Research’ containing scientific results obtained from expeditions and research work. ‘Polarstern Abstracts’ provides summaries of all publications resulting from ‘Polarstern’ expeditions. Staff at AWI are the editors of ‘Helgoland Marine Research’ journal (formerly Helgoländer Meeresuntersuchungen), published by Springer-Verlag.

*In addition to these scientific articles, AWI also publishes general information material. The AWI website on the Internet provides extensive and up-to-date information:
<http://www.awi.de>*



**Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Am Handelshafen 12
D-27570 Bremerhaven**

Telefon +49(0)471/48 31-0
Telefax +49(0)471/48 31-11 49
Telex 238695 polar d
E-Mail: info@awi.de
<http://www.awi.de>

Bearbeitung der Texte:
Dr. Ude Cieluch
Susanne Diederich
Dr. Angelika Dummermuth
Dr. Jens Kube
Dr. Andreas Wohltmann

Redaktion:
Claudia Pichler
Margarete Pauls (verantwortlich)

Copyright:
**2006, Alfred-Wegener-Institut,
Bremerhaven**

Gestaltung:
**Klemm Werbeagentur,
Bremen**

Fotografie:
Umschlag und Kapitelseiten
Ingo Arndt

Druck:
**Weserdruckerei Grassé GmbH,
Bremerhaven**

