



Beispiele aus unserer Forschung 2001

Research Highlights 2001



Stiftung Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung

Research Highlights 2001

*Alfred Wegener Institute Foundation
for Polar and Marine Research*

Beispiele aus unserer Forschung 2001

Stiftung Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung

Inhalt | *Content*

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)	4	<i>The Alfred Wegener Institute Foundation for Polar and Marine Research (AWI)</i>
Zu dieser Broschüre	8	<i>About this brochure</i>
Polar- und Meeresforschung – Beobachtungen, Modellierung, Anwendungen	10	<i>Polar and Marine Research – Observations, Modelling, Applications</i>
Wenn ein Eisrücken dem Wind im Weg steht Thomas Garbrecht, Christof Lüpkes	18	<i>An ice ridge being an obstacle to the wind</i>
Das Klima hat seine ganz eigene Dynamik Dörte Handorf, Antje Weisheimer, Klaus Dethloff	22	<i>The climate has its own dynamics</i>
Wenn die großen Gletscher kommen Katrin Meissner, Rüdiger Gerdes	27	<i>The appearance of large glaciers</i>
Molekularbiologen auf der Jagd nach toxischen Algenblüten Linda Medlin, Christian Schütt	31	<i>Development of methods for early warning systems</i>
Schlechte Aussichten für Kalkbildner im Meer Ulf Riebesell, Ingrid Zondervan, Björn Rost	36	<i>Poor prospects for marine calcifying organisms</i>
Der etwas andere Krill: Leben im kalten wie im warmen Wasser Friedrich Buchholz, Reinhard Saborowski, Markus Salomon	41	<i>Krill, a bit different: Life in both cold and warm waters</i>
Multidrug Resistenz – eine alte Überlebensstrategie von Meeresorganismen Angela Köhler-Günther, Alexander Lüdeking, Tilman Alpermann	45	<i>Multidrug-Resistance – an ancient survival strategy for marine organisms</i>
Nährstoffbelastung des Wattenmeeres und der angrenzenden Küstengewässer Justus van Beusekom, Ragnhild Asmus, Victor de Jonge (RIKZ, NL), Eike Rachor	49	<i>Eutrophication of the Wadden Sea and adjacent coastal zone</i>

Magnesium als Faktor für die Verbreitung von Krebsen in den Polarmeeren	53	<i>Magnesium as a factor limiting the distribution of polar crustaceans</i>
Franz-Josef Sartoris, Markus Frederich, Hans-Otto Pörtner		
Gebirge unter dem antarktischen Eis entdeckt	56	<i>Discovery of a mountain range under the ice</i>
Daniel Steinhage, Uwe Nixdorf, Uwe Meyer, Heinrich Miller		
Seesedimente Ostgrönlands als Zeugen von Klimaschwankungen und veränderten Meeresströmungen	61	<i>Lacustrine sediments of East Greenland give evidence for changes in the climate and in the oceanic circulation pattern</i>
Bernd Wagner, Martin Melles, Holger Cremer, Hans-W. Hubberten		
Östliche Karasee bereits früh eisfrei	65	<i>Early deglaciation in the eastern Kara Sea</i>
Hans-Peter Kleiber, Frank Niessen		
Mehr Information...	69	<i>More information...</i>
Impressum	72	<i>Impressum</i>

Die Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)

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 Polarexpeditionen erforderliche Ausrüstung und Logistik zur Verfügung. Zu den Aufgaben in der Meeresforschung gehören die Nordseeforschung, Beiträge zum biologischen Monitoring in der hohen See, Untersuchungen zur Meeresverschmutzung und zu marinen Naturstoffen sowie meeresstechnische Entwicklungen.

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 2000 einen Etat von etwa 170 Mio. DM und 750 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Sie ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) und wird zu 90 % vom Bundesministerium für Bildung

The Alfred Wegener Institute Foundation for Polar and Marine Research (AWI)

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. Marine research activities include North Sea research, biological monitoring on the high seas, studies on marine pollution and natural marine resources as well as developments in the field of marine technology.

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 2000, the foundation had a staff of 750 and a total budget of about DM 170 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

und Forschung (BMBF) finanziert. Das Land Bremen ist mit 8% beteiligt, die Länder Brandenburg und Schleswig-Holstein mit je 1%.

Das AWI betreibt die Forschungsschiffe ‚Polarstern‘, ‚Heincke‘, ‚Uthörn‘, ‚Diker‘, ‚Aade‘, ‚Mya‘, die Flugzeuge ‚Polar 2‘ und ‚Polar 4‘, 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.

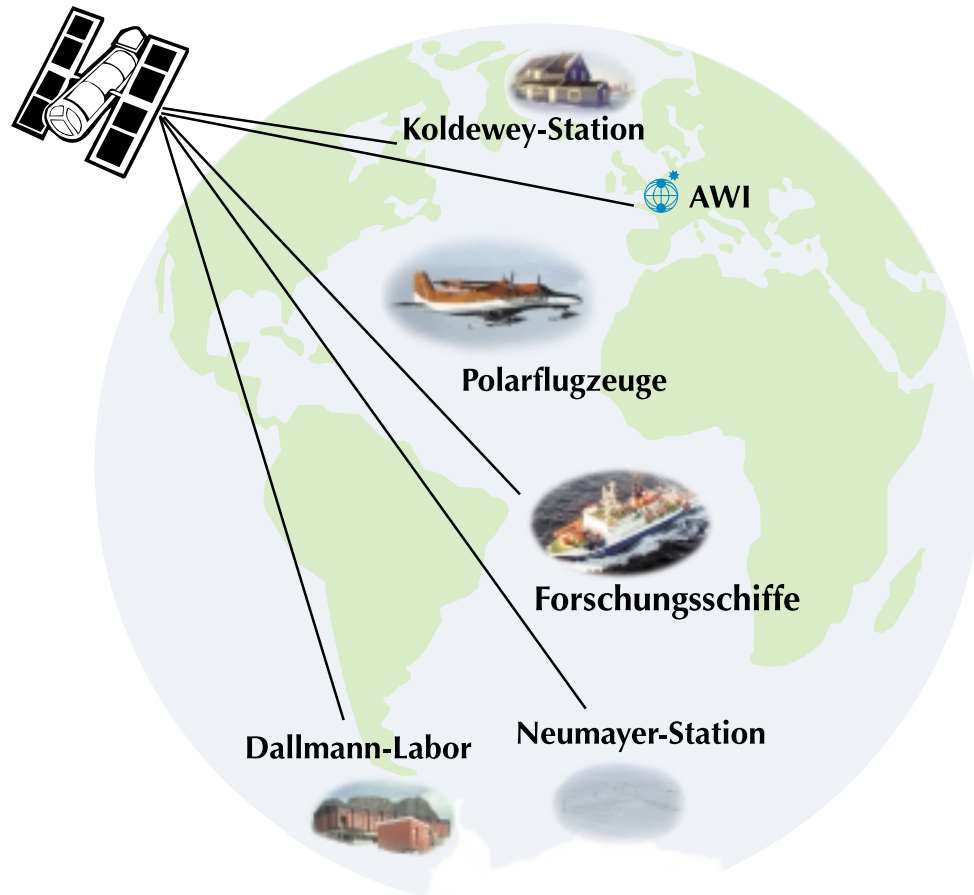
state of Bremen provides 8% of total funds, with the states of Brandenburg and Schleswig-Holstein adding a further 1% each.

AWI operates the ‘Polarstern’, ‘Heincke’, ‘Uthörn’, ‘Diker’, ‘Aade’ and ‘Mya’ research ships, the ‘Polar 2’ and ‘Polar 4’ research aircraft, one overwintering and several summer stations in the Antarctic, as well as a research station on Spitsbergen.

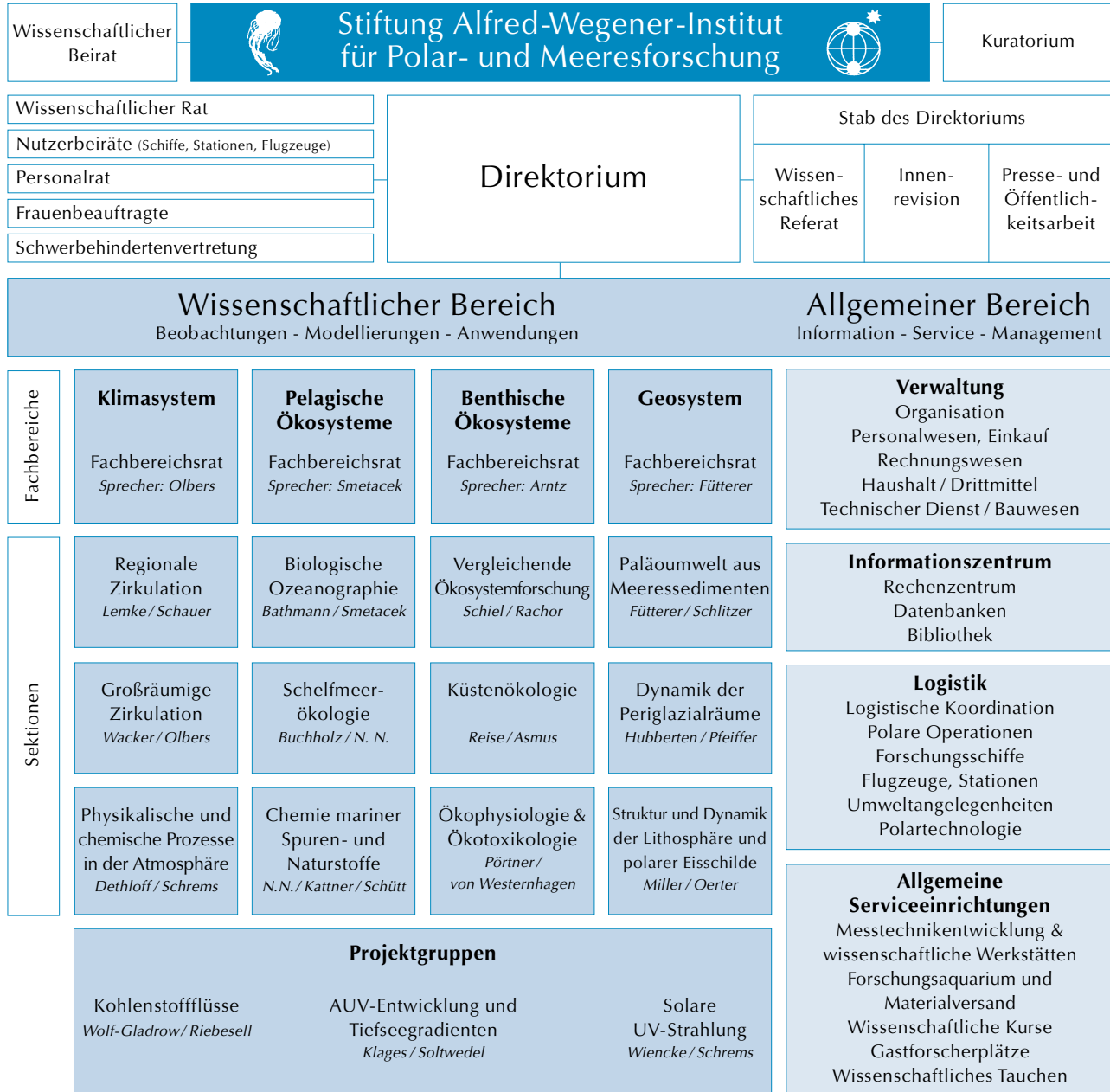
The research mission of the Alfred Wegener Institute is to improve our understanding of the complex relations between the oceans, ice, atmosphere, the ocean floor and the plant and animal kingdoms. Earth management based on scientific understanding can only be carried out effectively if the research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



Standorte und wichtigste Gebäude der Stiftung AWI in Deutschland
Sites and key buildings of the AWI Foundation in Germany



Wichtige stationäre und mobile Forschungsplattformen der Stiftung AWI.
Important stationary and mobile research platforms of the AWI Foundation.



Zu dieser Broschüre

Die Stiftung AWI nimmt mit ihren Fachbereichen Benthische Ökosysteme, Pelagische Ökosysteme, Geosystem und Klimasystem, die insgesamt zwölf Sektionen und mehrere Projektgruppen umfassen, an Arbeiten zahlreicher naturwissenschaftlicher Disziplinen der Polar- und Meeresforschung teil. 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

The AWI Foundation's four main divisions – Benthic Ecosystems, Pelagic Ecosystems, Geosystem and Climate System – are organised into twelve Sections as well as several Project Groups, and are 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

Die Polargebiete der Erde haben in der modernen Umweltforschung und der wissenschaftlichen Bewertung möglicher Klimaänderungen und ihrer Auswirkungen eine zentrale Bedeutung. Deutsche Forscher nehmen daher seit vielen Jahren Anteil an der internationalen Polarforschung und das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) spiegelt das Interesse Deutschlands an der Polar- und Meeresforschung wider. Das AWI ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) und leistet im Verbund mit anderen HGF-Zentren, mit universitären und nicht-universitären Forschungsinstitutionen einen gewichtigen Beitrag zur globalen Umweltforschung.

Die moderne Polar- und Meeresforschung erfordert einen hohen technischen und personellen Aufwand, sowie eine enge Zusammenarbeit mit anderen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen, die sich der Polar- und Meeresforschung widmen. Im nationalen Rahmen spielen dabei die Universitäten in den Bundesländern, die das AWI mitfinanzieren, eine besondere Rolle; hervorzuheben sind die Universität Bremen, die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und die Universität Potsdam. Die für eine moderne Polar- und Meeresforschung erforderlichen finanziellen Mittel sind politisch nicht immer einfach durchzusetzen; unser besonderer Dank gebührt daher dem Bundesministerium für Bildung und

Polar and Marine Research – Observations, Modelling, Applications

The polar regions of Planet Earth are of great importance in modern global change research and in the scientific assessment of potential climate changes and their impacts. German researchers have been participating in international polar research for many years, and since 1980 the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) has symbolised Germany's interest in the polar and marine sciences. The AWI is a member of the Helmholtz Association of German Research Centres (HGF) and provides a major contribution to global environmental research in conjunction with other HGF centres as well as university and non-university research institutions.

Modern polar and marine research requires an intensive effort in terms of technical methods and the investment of research time, as well as close collaboration with other national and international research institutions devoted to polar and marine sciences. Within Germany, an important role is played by universities in those Bundesländer that co-finance AWI and where the AWI research institutions are located – Bremen University, the Christian Albrechts University in Kiel and Potsdam University are outstanding examples in this regard. The financial resources necessary for modern polar and marine research are not easy to acquire; we are therefore very grateful for the support provided by the Federal Ministry of Education and Research by

Forschung sowie den zuständigen Ministerien der Länder Bremen, Brandenburg und Schleswig-Holstein.

Das AWI trägt als interdisziplinäre naturwissenschaftliche Forschungseinrichtung dazu bei, die natürliche Veränderlichkeit des Klimas über kurze und lange Zeitskalen zu erfassen. Die Arktis und die Antarktis sind die klimatisch empfindlichsten Gebiete unseres Systems Erde und daher besonders geeignet, mögliche Umweltveränderungen in der Zukunft abzuschätzen. Die wesentlichen Datengrundlagen hierzu liefern die Forschungsergebnisse aus den Untersuchungen der modernen Veränderlichkeit von Ozeanographie und Klima, aus der Erfassung ihrer historischen Veränderlichkeit in der jüngsten geologischen Vergangenheit und aus der Rekonstruktion der langfristigen Klimageschichte, die von relativ warmen Polargebieten zur Bildung der Inlandeismassen in der Antarktis und auf Grönland geführt hat. Das Spektrum der eingesetzten Methoden reicht von modernster satellitengestützter Fernerkundung bis zu Tiefseebohrungen. Neueste ozeanographische Messungen lassen vermuten, dass sich die Tiefenwassererneuerung, der Anfangspunkt der globalen Tiefenwasserzirkulation, sowohl auf der südlichen als auch auf der nördlichen Hemisphäre verlangsamt. Dies ist ein aufregendes und in seiner Veränderlichkeit über kurze Zeiten hinweg zu betrachtendes Phänomen, das vermutlich Ausdruck von zur Zeit laufenden globalen Umweltveränderungen ist.

Das AWI legt einen besonderen Schwerpunkt auf Untersuchungen der polaren Meeresgebiete mit ihren Lebewesen. Daneben betreibt das AWI

the relevant ministries in the German Länder of Bremen, Brandenburg and Schleswig-Holstein.

As an interdisciplinary research institution for the natural sciences, AWI studies the natural variability of the climate system over time scales of small and large magnitude. The Arctic and the Antarctic are climatically the most sensitive regions in the Earth System and to that extent are valuable sources of information on possible changes in the global environment of the future. Key data are obtained in the form of research results on the present-day variability of ocean systems and climate, records of their historic variability in the most recent geological past and in the reconstructions of climate history, from relatively warm polar regions to the formation of inland ice sheets on Antarctica and Greenland. The methods applied range from modern satellite-based remote sensing to deep sea drilling. The latest oceanographic observations suggest that deep water renewal, the source of global deep water circulation, is slowing down in both the southern and the northern hemisphere. This phenomenon, observable over short time scales, is one of the most unsettling indications of ongoing global change.

A priority focus at AWI is to conduct research on the polar marine regions and their biotas. AWI also conducts terrestrial polar research, making key research contributions in the fields of atmosphere physics and chemistry, the palaeoclimatic history of periglacial regions, and their permafrost soils. Under the umbrella of AWI's research institutions, investigations into marine and terrestrial polar regions can be linked up for maximum efficiency.

auch terrestrische Polarforschung und liefert wichtige Beiträge zur Atmosphärenforschung, zur Paläoklimageschichte polarer Randgebiete und deren Permafrostböden. Unter dem Dach des AWI können die Untersuchungen mariner und terrestrischer Polargebiete eng miteinander vernetzt werden.

Die Lebensgemeinschaft der Polargebiete musste schon immer an extreme Lebensbedingungen angepasst sein, sei es unter den Bedingungen des Erdmittelalters oder zu Beginn der Erdneuzeit, als die Polargebiete noch relativ warm waren, oder unter den extremen Kälteverhältnissen während der jüngsten geologischen Vergangenheit. Weil die Polargebiete der südlichen und der nördlichen Hemisphäre weit voneinander entfernt sind, konnten die rezenten polaren marinen und terrestrischen Faunen und Floren nicht von anderen Gebieten der Erde in die Polarregionen einwandern, sondern mussten sich vor Ort an die sich schnell verändernden Umweltbedingungen anpassen. Dieses führte dazu, dass Organismenvergesellschaftungen in beiden Polargebieten zum Teil bipolare Ähnlichkeiten aufweisen, sich andererseits aufgrund der unterschiedlichen geographischen und physischen Eigenschaften ihrer Habitate erheblich unterscheiden. Für die Polargebiete charakteristische biologische Prozesse und Eigenschaften und die an die extremen Lebensbedingungen angepassten Organismen im marinen Benthos und Plankton sowie bei den terrestrischen Faunen und Floren stellen daher besondere Schwerpunkte der Untersuchungen am Alfred-Wegener-Institut dar.

The biota of the polar regions have always had to adapt to extreme conditions, be they the conditions of the Mesozoic and the beginning of the Cenozoic, when the polar regions were relatively warm, or the extremely cold conditions that developed during the most recent geological past. Because the polar regions of the southern and northern hemisphere are so far apart, recent polar marine fauna and flora have not been able to migrate to the polar regions from other parts of the planet, but have had to adapt in situ to rapidly changing environmental conditions. This led to the biota in both polar regions exhibiting some bipolar similarities, but also to substantial divergencies due to the differences in geographical and physical characteristics of their respective habitats. Biological processes and properties characteristic of the polar regions, organisms of the marine benthos and plankton adapted to extreme conditions, as well as terrestrial fauna and flora, are focal points of research work at AWI.

Since its establishment 20 years ago, the main location of AWI has been Bremerhaven. The scientific benefits derived from this location have been further reinforced over the past two years following relocation of the central unit of the Biological Institute on Helgoland (BAH); the marine biology sections have benefited most from this addition. There is a strong tradition of terrestrial polar research on the Telegrafenberg in Potsdam, where these activities are continued by the external AWI research unit located there. The facilities provided in Potsdam have been greatly improved since the new laboratory building was erected and inaugurated in

Der Hauptstandort des AWI ist seit seiner Gründung 1980 Bremerhaven. Die wissenschaftliche Schlagkraft dieses Standortes wurde in den vergangenen zwei Jahren durch den Umzug der Zentrale der Biologischen Anstalt Helgoland weiter gestärkt, wovon vor allem die meeresbiologischen Arbeitsgruppen profitieren. Die terrestrische Polarforschung hatte ihre Tradition und ihren Standort auf dem Telegrafenberg in Potsdam und wird dort im Rahmen der Forschungsstelle des Alfred-Wegener-Instituts weitergeführt; die Arbeitsmöglichkeiten dieses Standortes sind durch die Errichtung und Einweihung eines neuen Laborgebäudes im Jahr 1999 wesentlich verbessert worden. Durch die Angliederung der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) wurde die Stiftung Alfred-Wegener-Institut auch durch die eigentliche BAH auf Helgoland und die Wattenmeerstation in List auf Sylt bereichert.

Wichtige Werkzeuge der Polarforschung sind die permanent besetzten Stationen in der Antarktis (Neumayer-Station) und in Ny-Ålesund auf Spitzbergen (Koldewey-Station) sowie die Schiffe und Flugzeuge, die der Stiftung zugeordnet sind und von ihr für die deutsche Polar- und Meeresforschung betrieben werden. Dabei ist der Forschungsseisbrecher ‚Polarstern‘ das wichtigste Großgerät, das durch ein technisches Erneuerungsprogramm in den Jahren 1998 bis 2001 wieder auf den modernsten Stand gebracht wird. Die der BAH zugeordnete ‚Heincke‘ erlaubt meereskundliche Arbeit in nah- und fernliegenden Gebieten der subpolaren bis tropischen Breiten; das letztgenannte Schiff gehört seit 1997 dem wissenschaftlichen Pool mittelgroßer deutscher Forschungs-

1999. Incorporation into the Alfred Wegener Institute Foundation of the BAH, the BAH facilities on Helgoland and the Wadden Sea Station in List on Sylt are an enrichment of AWI's activities.

Key facilities for polar research are provided by the permanently manned stations in the Antarctic (Neumayer Station) and in Ny Ålesund on Spitsbergen (Koldewey Station), as well as the research ships and aircraft managed by the Foundation on behalf of the German polar and marine research effort. The most important resource is the research icebreaking vessel, the 'Polarstern', which will be successively modernised between 1998 and 2001. The 'Heincke', operated by the BAH, enables marine research to be conducted at subpolar to tropical latitudes. The latter vessel has been administered as one of the pool of medium-sized German research vessels since 1997 and receives its work programme through this pool. Besides our research vessels, the AWI survey aircraft are an important platform for German polar research; they are deployed in both the Arctic and the Antarctic, where they enable airborne measuring equipment to be used in the fields of glaciology, geophysics and meteorology.

The Filchner Station on the Weddell Sea ice shelf came adrift in autumn 1998 after a huge table iceberg broke loose. During January 1999 it was possible to remove the Filchner Station entirely from this iceberg, thanks to the excellent efforts of the AWI logistics department. The AWI has received international acclaim for this successful recovery of the Filchner Station.

The most important scientific event within the

schiffe an und wird von diesem in seinem wissenschaftlichen Einsatz verplant. Neben den Forschungsschiffen stellen die Messflugzeuge des AWI ein wichtiges Werkzeug der deutschen Polarforschung dar; sie werden sowohl in der Arktis wie in der Antarktis eingesetzt und ermöglichen die Nutzung zahlreicher flugzeuggebundener Messmethoden für die Glaziologie, die Geophysik und die Meteorologie.

Aus den Ereignissen der Jahre 1998/99 ist die Bergung der Filchner-Station besonders zu erwähnen. Durch den Abbruch eines großen Tafeleisberges war die Filchner-Station im Herbst 1998 in Drift geraten. Im Januar 1999 gelang einer Arbeitsgruppe der Logistik des AWI unter großen Mühen und mit herausragendem Einsatz die vollständige Bergung der Filchner-Station von diesem Eisberg. Das AWI hat international für die erfolgreiche Durchführung dieser Aktion großes Lob geerntet.

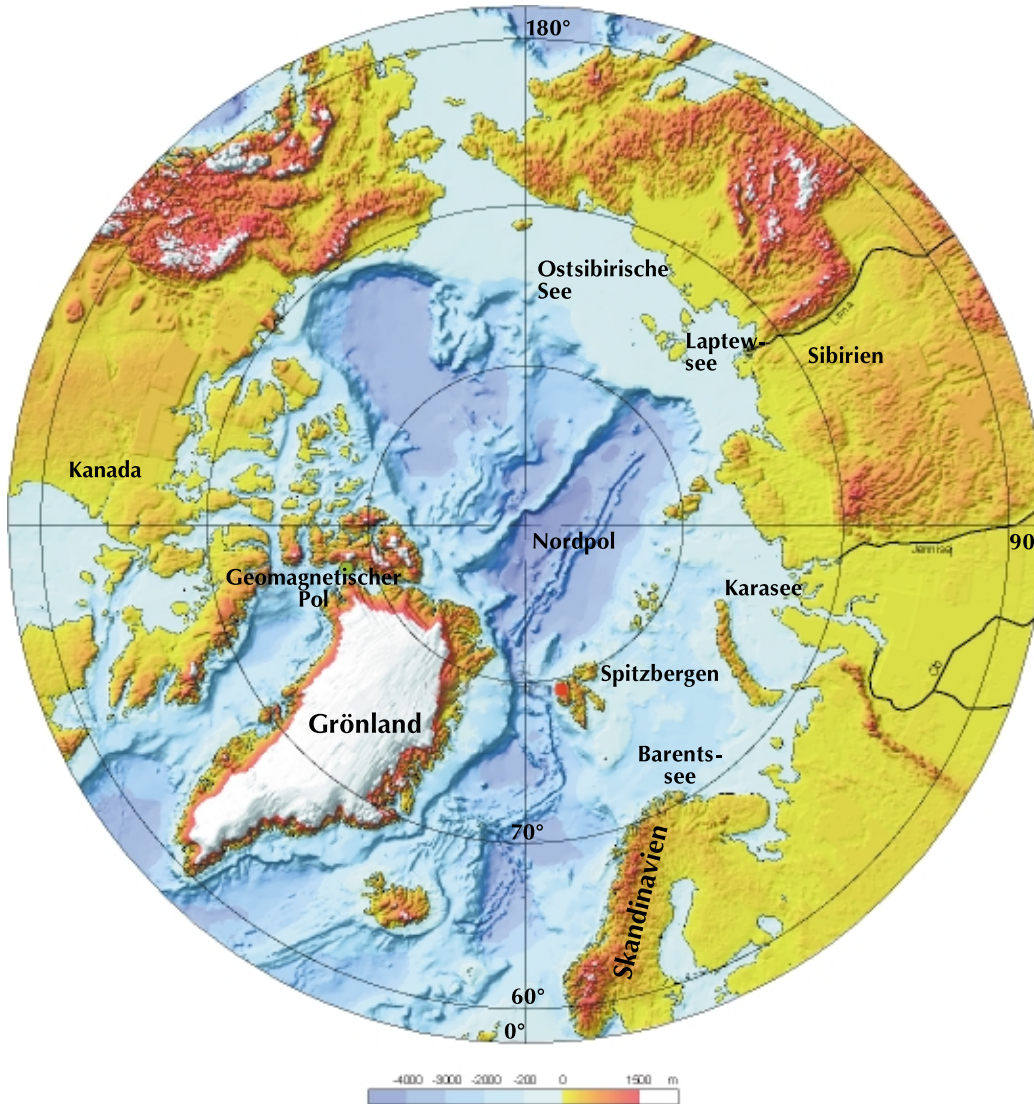
Ein wichtiges Ereignis im wissenschaftlichen Bereich war die Entwicklung einer neuen Struktur der Arbeitsgebiete unter dem übergeordneten Thema Polar- und Meeresforschung (Beobachtungen - Modellierungen - Anwendungen) für die Einrichtungen unter dem Dach der Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. Die Diskussion darüber wurde sehr intensiv geführt. Die neue Struktur hat die Billigung aller beratenden und entscheidenden Gremien des AWI gefunden. Sie ist formal umgesetzt. Jetzt kommt es darauf an, diese neue Struktur mit Leben zu füllen, das innovative wissenschaftliche Potential des AWI weiterzuentwickeln und seinen Wert durch die Erarbeitung weitreichender wissenschaftlicher Ergebnisse zu dokumentieren.

Foundation concerned the new organisation structure for the various research disciplines within the Alfred Wegener Institute Foundation for Polar and Marine Research, under the broad heading of 'Polar and Marine Research – Observations, Modelling, Applications'. Heated debate preceded these changes, which have now been implemented with the approval of all advisory and decision-making committees in and around AWI. Key objectives for the years ahead are to fill this new structure with life, to achieve further enhancements of AWI's innovative scientific profile and to document its value by generating far-reaching scientific results.



Der Kastengreifer hat ein Stück Sedimentoberfläche an Deck geholt
Recovery of sediment surface with a box corer

Arktis



Datenquellen:

Antarktis:

ETOPO5, NGDC, USA
Dr. J.L. Bamber, MSSL, UK

Arktis, Bathymetrie:

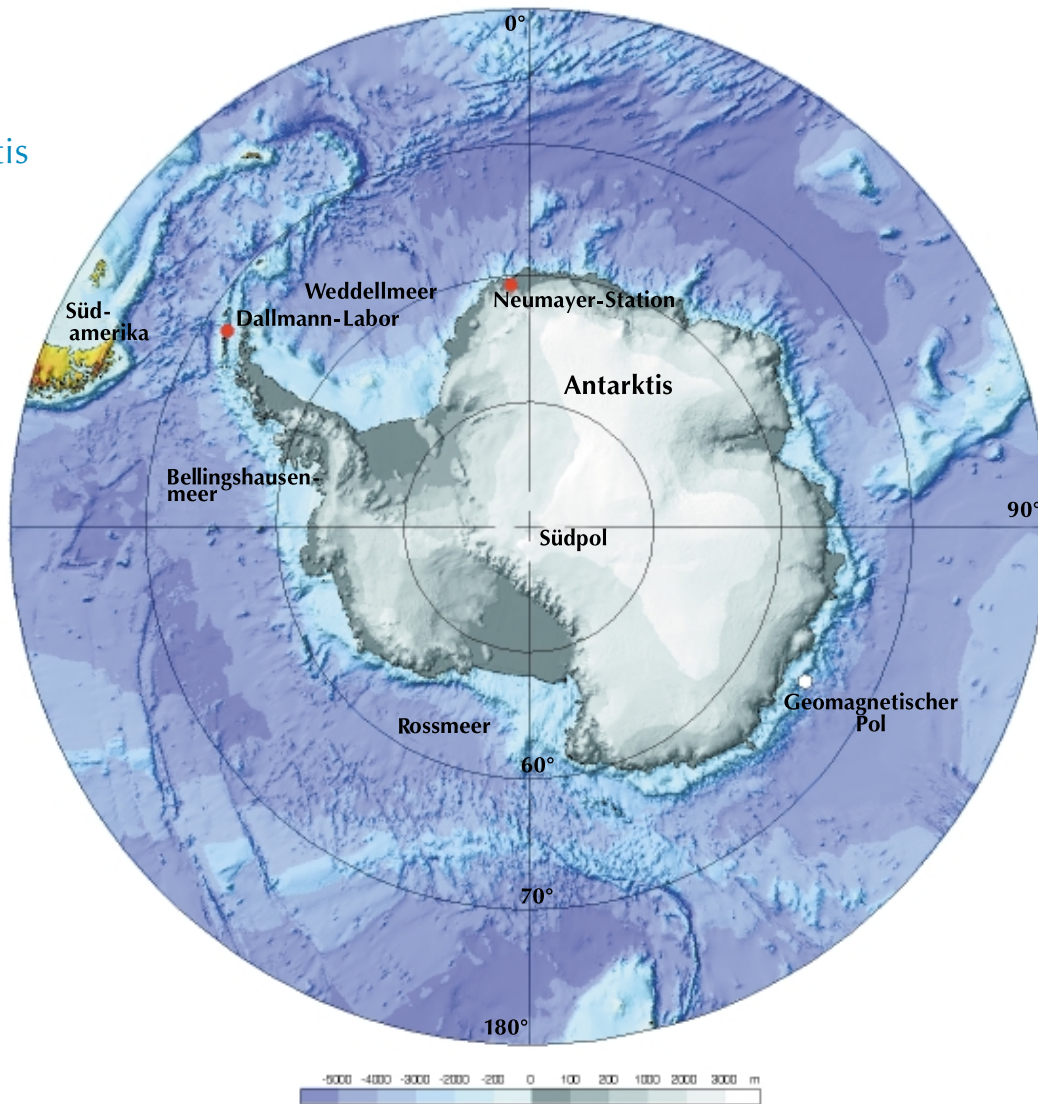
M.Jacobsson, Uni Stockholm, EB-IBCAO

Arktis, Landmassen:

GTOPO30, NGDC, USA

Im AWI-Rechenzentrum wurden die Daten zusammengefügt, interpoliert und mit Hilfe einer Workstation für Hochleistungsgrafik (ONYX2) bildlich dargestellt.

Antarktis



Data sources:

Antarctic:

ETOPO5, NGDC, USA

Dr. J.L. Bamber, MSSL, UK

Arctic, bathymetry:

M.Jacobsson, Uni Stockholm, EB-IBCAO

Arctic, land masses:

GTOPO30, NGDC, USA

At the AWI Computing Centre, the data were collated, interpolated and visually displayed with the help of a high-performance graphics workstation (ONYX2).

Wenn ein Eisrücken dem Wind im Wege steht

Thomas Garbrecht, Christof Lüpkes

Die Bewegung des Meereises in den Polarmeeren wird durch ein Gleichgewicht verschiedener Kräfte gesteuert. Luft- und Wasserströmungen sind hierbei der wichtigste Antrieb. Schwächere Effekte üben die Corioliskraft und die Neigung der Meeresoberfläche aus. Der aerodynamische Strömungswiderstand des Meereises setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: dem Oberflächenwiderstand, der durch die kleinskalige Eisrauigkeit bewirkt wird, und dem Formwiderstand einzelner Schollenkanten, Presseisrücken oder Eiskiele. Um die räumliche Verteilung des Meereises vorherzusagen zu können, muss die Wirkung dieser Kräfte auf ein Feld von Eisschollen möglichst genau bestimmt und in geeigneten Rechenmodellen abgebildet werden.

Presseisrücken und Eiskiele entstehen, wenn Eisschollen miteinander kollidieren, sich aufeinander schieben oder sich aufwölben. In Einzelfällen können solche Rücken bis zu zehn Meter Höhe anwachsen, die mittlere Höhe beträgt in weiten Teilen der arktischen Meereisgebiete etwa 1,5 Meter. Derartige Hindernisse üben einen deutlichen Einfluss auf die bodennahe Luftströmung aus.

Mit Hilfe des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ konnte erstmals detailliert untersucht werden, wie ein viereinhalb Meter hoher Presseisrücken das bodennahe Windfeld verändert und der Luftströmung den Horizontalimpuls entzieht. Hierzu wurden in der zentralen Arktis Messungen entlang

An ice ridge being an obstacle to the wind

Thomas Garbrecht, Christof Lüpkes

The motion of sea ice in the polar ocean is governed by a balance of several forces. Friction caused by air and water currents contribute the most significant part, but there are also minor effects such as the Coriolis force or the tilt of the ocean's surface. The aerodynamical resistance of sea ice on the flow is considered to be set up by the sum of two different processes.

The 'skin drag' represents the microscale roughness of the sea ice surface, whereas the 'form drag' summarizes the contribution of isolated and distinct obstacles such as pressure ice ridges, floe edges and ice keels. All forces acting on a field of ice floes need to be parameterized exactly in order to predict the spatial distribution of the ice cover in model calculations.

Ice ridges and ice keels develop when ice floes deform due to mutual collisions. In extreme cases, ice ridges may grow up to heights of 10 meters, but in large parts of the Arctic Ocean their average height may be estimated to be 1.5 meters. Obviously, obstacles of that size may strongly influence the structure of the low-level airflow.

The influence of a 4.5 meters high pressure ice ridge on the atmospheric flow was studied in the central Arctic. Measurements of wind speed, air temperature and the turbulent fluxes of heat and momentum were performed continuously in the height range between 4 and 20 meters, whilst the research vessel 'Polarstern' was moving slowly



Abb. 1: Der Bug der ‚Polarstern‘ mit der Turbulenzmessanlage (hervorgehoben). Im Vordergrund links ein kleiner, stark zerklüfteter Presseisrücken. (Foto: Lüpkes)

Fig. 1: Frontal view of RV ‚Polarstern‘ with the Turbulence Measuring System TMS. The foreground of the figure shows a typical ice ridge with a very rough surface.

einer 400 Meter langen Strecke im Lee des Eisrückens durchgeführt. Eine am Bug angebrachte Turbulenzmessanlage (Abbildung 1) ermittelte kontinuierlich Windrichtung und -geschwindigkeit, die Lufttemperatur sowie die turbulenten vertikalen Flüsse von Impuls und Wärme. Während das Schiff sich langsam dem Eishindernis näherte, wurde jeweils in fünf Höhen zwischen vier und zwanzig Meter über Grund gemessen. Am Ende wurde seitlich des Eisrückens, über glattem Eis, die ungestörte Anströmung bestimmt.

Die Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen und die jeweilige turbulente kinetische Energie, TKE, sind in der Abbildung 2 entlang der

about 400 meters through open water toward the ice ridge. The turbulence measuring system, mounted on the bow crane of the ship, is shown in Figure 1. Values of the undisturbed flow, representing atmospheric conditions upstream of the ridge, were measured several 100 meters aside of the ice ridge over smooth ice.

Figure 2 shows a cross section of the wind speed and the turbulent kinetic energy TKE as function of distance to the ice ridge. The wind field is signi-

ificantly deformed downstream of the obstacle. Compared with the undisturbed flow, there is an acceleration of the wind speed by 25 percent above and a deceleration by 25 percent behind the ridge. Obviously, there is a strong coincidence between the highest deformation of the wind field and the maximum of the turbulent kinetic energy. Maximum values of the TKE are 10 times higher than measured upstream, but there is a strong decrease with

13. August 1996: Überströmung eines Presseisrückens

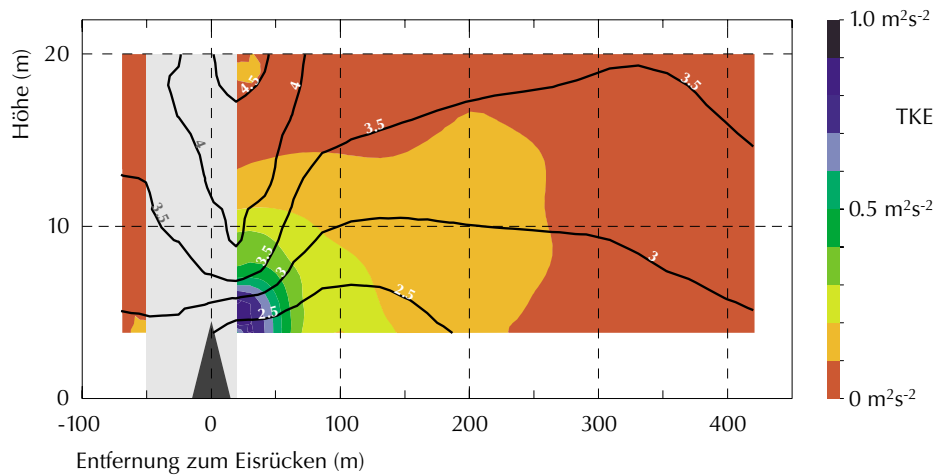


Abb. 2: Windgeschwindigkeit (Isolinien) und turbulente kinetische Energie, TKE, (farbig unterlegt) vor und hinter dem Eisrücken, dessen Position durch ein schwarzes Dreieck markiert ist. Die Windanströmung erfolgte von links. Zur Veranschaulichung wurden für den grau schraffierten Bereich zusätzliche Werte berechnet und eingefügt.

Fig. 2: Wind speed (as isolines) and turbulent kinetic energy TKE (in color) as function of distance to the ice ridge. The position of the ridge is indicated by the black triangle and the mean flow was directed from the left to the right. Note that the values, indicated within the shaded area do not result from measurements but from a linear interpolation.

Fahrtrichtung dargestellt: Im Lee des Eisrückens ist das Windfeld stark deformiert. Oberhalb des Eisrückenkammes ist die Windgeschwindigkeit gegenüber der Anströmung um etwa 25% erhöht und hinter dem Rücken um den gleichen Prozentsatz reduziert. Wo die Störung des Windfeldes am stärksten ist – direkt hinter dem Rücken – ist die Turbulenzenergie am größten. Dort entstehen verstärkt kleinere Wirbel, durch die Impuls und Wärme abwärts transportiert werden. Etwa 350 Meter hinter dem Rücken, dies entspricht seiner 80-fachen Höhe, ist keine Auswirkung auf die Luftströmung mehr erkennbar. Das Windfeld ist wieder ungestört.

Aus den Daten lässt sich der sogenannte Widerstandsbeiwert des Eisrückens $c_w = 0,68$ abschätzen. Dieser ist ein gängiges Maß für den Strömungswiderstand eines Körpers und hängt wesentlich von seiner Form, der Höhe und der Oberflächenbeschaffenheit ab. Erkennbar wird auch, dass 75% des gesamten Impulsflusses von der Atmosphäre zur Meereisfläche im Störfeld hinter dem Presseisrücken durch den Formwiderstand herbeigeführt werden. Um die Wirkung einer Eisregion auf die Impulsübertragung zwischen der Atmosphäre und dem Meereis zu berechnen, benötigt man zusätzlich die durchschnittliche Höhe der Eisrücken und ihren Abstand voneinander. Die Beziehung zwischen der Höhe eines Rückens und seinem Widerstandsbeiwert c_w erlaubt die Übertragung des Ergebnisses auf ein großflächiges Gebiet. Erste Vergleiche mit Flugzeugmessungen in der Umgebung Spitzbergens bestätigen die Ergebnisse.

growing distance downstream of the ridge. The fields of both wind speed and TKE are restored to their upstream values after about 350 meters downstream of the ice ridge.

By means of the data, the coefficient of resistance of the ice ridge can be estimated to be $c_w = 0.68$. In hydrodynamical applications, the coefficient of resistance represents a measure of the obstacle's resistance on the flow. The value of c_w depends on the shape of the obstacle as well as on its height and surface characteristics. Based on the data, the contribution of the form drag of the single ridge to the total downward flux of momentum can be estimated to be 75 percent, but generally speaking, its contribution depends on both mean ridge heights and mean distances between ice ridges. Using an empirical relationship between the coefficient of resistance and a ridge's height, the results of the case study may be generalized toward an ensemble of ridges of different heights and spacings. Measurements performed by air-craft in a region South of Svalbard seem to confirm the applicability of the concept.

Das Klima hat seine ganz eigene Dynamik

Natürliche, dekadische Klimavariabilität
in einer Hierarchie vereinfachter
Klimamodelle

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff, Antje Weisheimer

Um künftige Klimaänderungen zuverlässig vorhersagen zu können, ist ein besseres Verständnis der natürlichen Klimavariationen erforderlich. Die Vorgänge in der Atmosphäre unterliegen generell starken Schwankungen auf einer zeitlichen Skala von Jahren bis Jahrzehnten, hervorgerufen durch externe oder interne Faktoren. Externe Einflüsse, wie Veränderungen der Sonneneinstrahlung oder der Einfluß des Menschen, sind bereits ausführlich untersucht. Wenig bekannt ist jedoch über dekadische Klimaänderungen, die durch die Dynamik in der Atmosphäre selbst erzeugt werden. Das hier vorgestellte Projekt untersucht diese internen Veränderungen mit einer Hierarchie von vereinfachten Klimamodellen. Dazu werden alle externen Faktoren bei Rechnungen mit diesen Modellen konstant gehalten.

Vereinfachte Modelle ermöglichen schnelle Berechnungen über mehrere Jahrtausende und liefern neue Erkenntnisse über die grundlegenden physikalischen Mechanismen von Klimavariabilität. Angewendet wurden mehrere vereinfachte Atmosphärenmodelle unterschiedlicher räumlicher Auflösung, sogenannte Modelle niederer Ordnung, sowie ein Modell des gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Systems mittlerer Komplexität. Erstere beschreiben die großräumige Zirkulation in der

The climate has its own dynamics

Decadal climate variability in a
hierarchy of simplified climate models

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff, Antje Weisheimer

The aim of our study is to improve the understanding of natural low-frequency climate variability as a necessary assumption for more reliable future climate change predictions. Atmospheric processes are affected by strong variations on time scales of years to decades. The sources of this climate variability can be divided into external and internal processes. While external factors, including solar influence and anthropogenic effects, had been investigated in detail, our knowledge of decadal climate variability generated by internal atmospheric dynamics is rather poor. The approach used here is to study internal climate variability with a hierarchy of climate models with reduced complexity by longterm integrations with fixed external conditions. The use of simplified models enables the performance of fast numerical integrations over thousands of years and may give new insights into the physical basic mechanisms of climate variability. Our hierarchy of climate models includes low-order atmospheric models with different spatial resolutions and a model of the atmosphere-ocean system of moderate complexity. Low-order models resolve the large-scale atmospheric general circulation features, i.e. the mid latitude zonal flow and planetary waves with wavelength of thousands of km. The latter model simulates explicitly the basic features of the large-scale atmospheric and oceanic fields with a horizontal resolution of ~ 500 kilo-

Atmosphäre, d. h. die westliche Strömung in den mittleren Breiten, und planetare Wellen mit Wellenlängen von Tausenden Kilometern. Das komplexere Modell simuliert sowohl atmosphärische als auch ozeanische Größen wie Wind, Temperatur, Feuchte oder Druck mit einer horizontalen Auflösung von 500 Kilometern. Kleinräumigere Prozesse werden durch zusätzliche Modellgleichungen dargestellt.

Mit Hilfe der verschiedenen Modelle wurden für einen Zeitraum von 1000 Jahren Klimavariationen in allen Atmosphärenschichten, bis hinauf in die Stratosphäre, analysiert. In den Abbildungen 3 und 4 ist die zeitliche Entwicklung der dominanten Strömungsmuster nahe der Erdoberfläche dargestellt. Die sogenannte Wavelet-Methode liefert Informationen über charakteristische Perioden sowie den Zeitpunkt ihres Auftretens.

In den Modellen niederer Ordnung ist die atmosphärische Zirkulation durch stark wechselnde und zeitweilig aussetzende Variationen gekennzeichnet (Abbildung 3). In einem breiten Periodenbereich treten Maxima der spektralen Energie auf, es existiert jedoch keine bevorzugte Zeitskala. Das gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Modell (Abbildung 4) zeigt ein dominierendes Muster mit starken, bevorzugt dekadischen Variationen. Ein zweites Muster ähnelt der Nord-Atlantik-Oszillation (NAO), einem bekannten Fernwirkungsmuster der nördlichen Hemisphäre. Die NAO bestimmt zu einem großen Teil das Winterklima in West- und Mitteleuropa. Dieses zweite Muster ist charakterisiert durch fünfjährige Perioden, die mit Unterbrechungen auftreten, und Variationen, die zwischen einer 30-jährigen und einer 18-jährigen Schwingung wechseln.

meters. All processes on smaller scales are expressed by additional model equations.

Climate variability in the atmosphere up to stratospheric heights was analyzed by applying different model simulations over 1000 years. Figures 1 and 2 illustrate the dominant temporal development in flow patterns near the earth's surface. The wavelet method applied provides information about both the period and time of appearance of characteristic structures.

Atmospheric circulation in low-order models is characterized by strong oscillating and sporadically suspended periods of analysed signals (Figure 3). Thus spectral peaks on a broad frequency range become significant, but no preferred time scale exists. Analysis of the coupled atmosphere-ocean system (Figure 4) shows considerable fluctuations of the first dominant pattern with preferred decadal variations. The second mode of variability resembles the North Atlantic Oscillation (NAO), one of the well-known teleconnection patterns which considerably influences the western and mid-european winter climate. This pattern reveals highly intermittent variations with periods of ~5 years, and long-period variations varying between a 30-year- and an 18-year-oscillation.

We propose that a large amount of the climate variations on decadal time scales can be traced back to nonlinear dynamic processes in the atmosphere. The low-order models identified orographically and thermally induced instabilities, internal coupling between the waves of different spatial scales or nonlinear chaotic transitions between circulation anomalies, as sources for decadal atmospheric variability. In the coupled system, signals

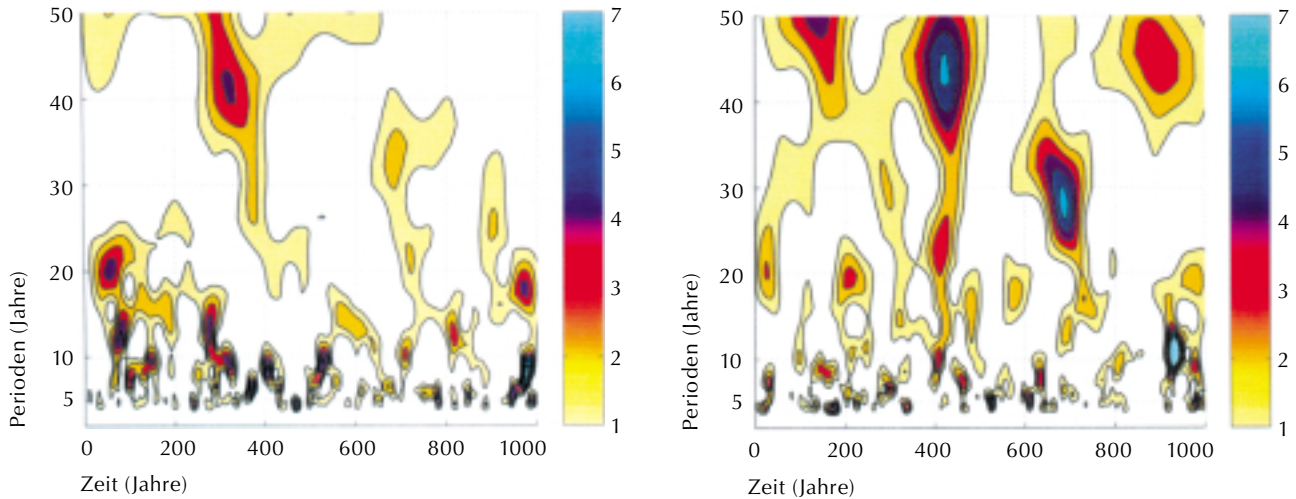


Abb. 3: Analyse der zeitlichen Entwicklung des ersten (links) und zweiten (rechts) dominierenden Musters der atmosphärischen Zirkulation nahe der Erdoberfläche (Wavelet-Methode). Hohe Werte (siehe Farbbalken) zeigen Maxima der spektralen Energie in Abhängigkeit von der Periode und der Integrationszeit an und entsprechen starken Klimavariationen. Die analysierten Daten wurden mit einem Modell niedriger Ordnung simuliert.

Fig. 3: Time-frequency-analysis (wavelet analysis) of the temporal development of the first (left) and second (right) dominant pattern of the atmospheric circulation near the Earth's surface. The analysed data have been simulated with a low-order model. High values of the diagrammed wavelet coefficients (see colour bar) indicate maxima of spectral energy in dependence on the period and the integration time. These maxima correspond to strong climate variations.

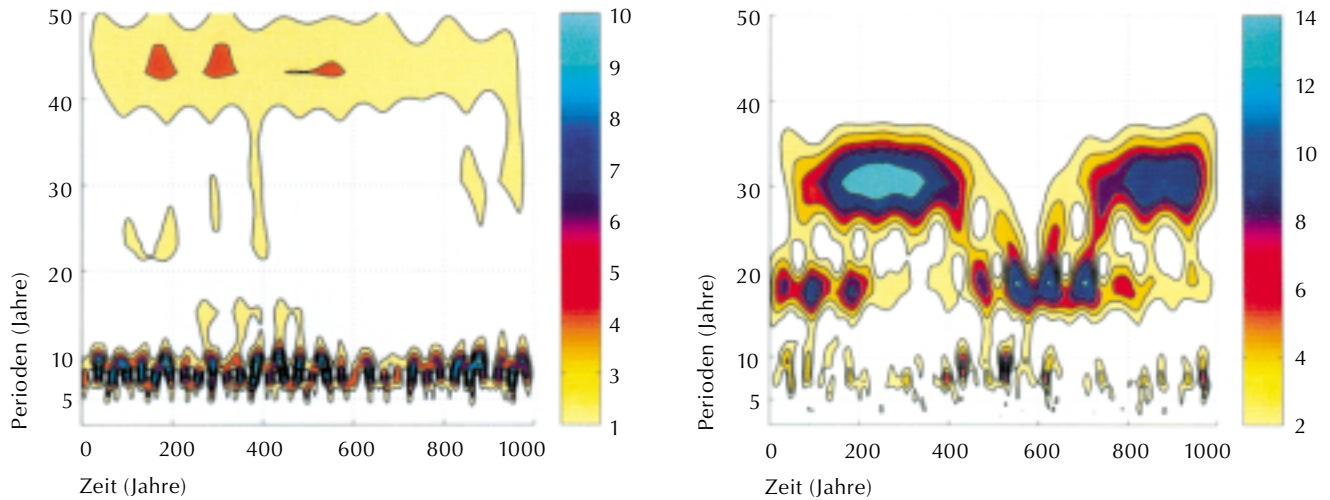


Abb. 4: Die gleiche Analyse für Daten, die mit dem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell berechnet wurden. Auch hier signalisieren hohe Werte maximale spektrale Energie und zeigen starke Klimavariationen an.

Fig. 4: Time-frequency-analysis (wavelet analysis) of the temporal development of the first (left) and second (right) dominant pattern of the atmospheric circulation near the Earth's surface. The analysed data have been simulated with the model of the atmosphere-ocean system of moderate complexity. High values of the diagrammed wavelet coefficients (see colour bar) indicate maxima of spectral energy in dependence on the period and the integration time. These maxima correspond to strong climate variations.

Ein Großteil der dekadischen Klimaänderungen ist vermutlich auf nichtlineare dynamische Entwicklungen in der Atmosphäre zurückzuführen. Die Modellrechnungen niederer Ordnung weisen auf topographische und thermische Ursachen hin. Möglich sind aber auch interne Wechselwirkungen zwischen Wellen verschiedener Reichweite oder schnelle Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der atmosphärischen Strömung. Im gekoppelten Modell werden die längerperiodischen Signale durch die Zirkulation im Ozean noch verstärkt. Großräumige Wellenanomalien bestimmen die Entwicklung von Fernwirkungsmustern wie der NAO und die Häufigkeit bevorzugter Strömungsmuster.

Bei der Suche nach Erklärungen für Klimaschwankungen wurde die Möglichkeit, dass in der Atmosphäre selbst natürliche, längerfristige Veränderungen entstehen, bislang kaum beachtet. Die neuen Untersuchungen zeigen jedoch, dass solche nicht-linearen dynamischen Prozesse für realistische Vorhersagen dringend zu berücksichtigen sind. Nur so lassen sich gegenwärtige und zukünftige Klimaänderungen seriös bewerten.

with longer periods are reinforced by variations in oceanic circulation. Furthermore, large scale wave anomalies determine the development of teleconnection patterns, such as NAO and the frequency of occurrence of preferred circulation states.

To date the atmospheric potential for producing natural, significant, low-frequency climate fluctuations has hardly been considered, when explaining long-term variations in the climate system. However, these studies have demonstrated the necessity of the inclusion of such non-linear dynamic processes in realistic forecasts applicable to the assessment of recent and future climate changes.

Wenn die großen Gletscher kommen

Gletscherbildung und veränderte
Meeresströmungen im Klimamodell

Katrin Meissner, Rüdiger Gerdes

Der Schweizer Naturforscher Louis Agassiz stellte 1837 zum erstenmal seine Eiszeittheorie vor. Er erklärte die scheinbar willkürliche Verteilung von Findlingen als ein Überbleibsel einer Ära, in der ein beträchtlicher Teil des Planeten mit Eis bedeckt war. Heute ist dies durch Sedimentproben, Eisbohrkerne und andere Klimadatenträger belegt. Weitgehend ungeklärt ist allerdings, welche einzelnen Mechanismen derartige Klimaschwankungen ausgelöst haben.

Mit Hilfe eines neuen Klimarechenmodells, dessen Antrieb weitgehend unabhängig von externen Datensätzen ist, konnte der Übergang von einer Warmzeit zu einer Eiszeit simuliert werden. Ein neuentwickeltes Energie- und Feuchtbilanzmodell der Atmosphäre und ein Meereismodell wurden hierfür mit einem bereits existierenden Ozeanmodell gekoppelt. Das gekoppelte System wird während eines Rechenlaufs lediglich von der Sonneneinstrahlung angetrieben, die Ozeankomponente zusätzlich noch vom Wind.

In Zeitreihen von Klimadaten lassen sich deutlich die Veränderungen in der Stellung der Erde zur Sonne erkennen. Wenn auch die Amplitude dieser natürlichen Variabilität der solaren Einstrahlung nicht ausreichend ist, derartige Temperaturschwankungen hervorzurufen, so scheint sie doch zumindest einer der Auslöser zu sein. Denkbar ist, dass bei einer reduzierten Einstrahlung der im Winter auf den Kontinenten angesammelte Schnee

The appearance of large glaciers

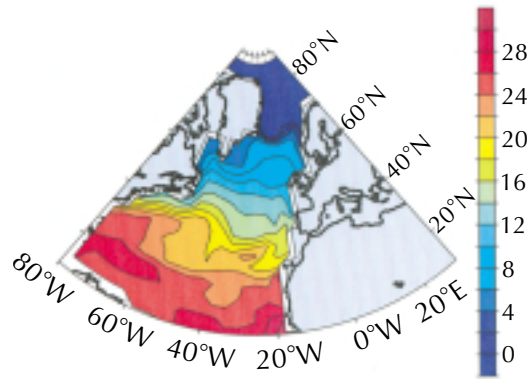
Glacier formation and changes in
oceanic circulation in climate models

Katrin Meissner, Rüdiger Gerdes

The swiss scientist Louis Agassiz presented his ice theory for the first time in 1837. He explained the apparently arbitrary distribution of erratic blocks as a leftover of an era in which a considerable part of the planet was covered with ice. Today, the existence of ice ages is proved by sediment samples and ice drill cores. However, the individual mechanisms responsible for such climatic fluctuations are still unknown.

The transition from an interglacial period to an ice age was simulated, using a new computer model which is to a large extent independant of external data. A new energy and moisture balance model of the atmosphere (EMBM) and a sea ice model were coupled to an existing ocean model. The coupled system is driven only by solar radiation, the oceanic component additionally by wind.

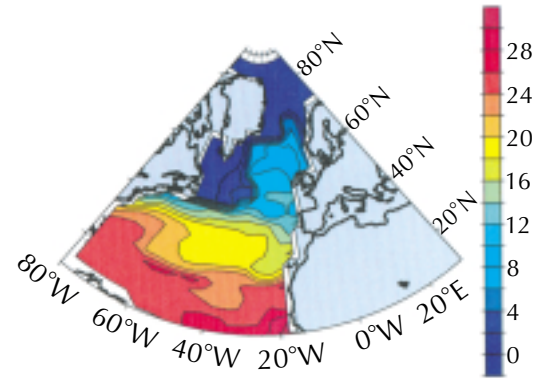
Changes in the position of the earth in relation to the sun can clearly be seen in climate data time series. Even if the magnitude of this natural variability is not large enough to cause such dramatic temperature variations, it nevertheless seems to be a trigger. It is, for example, conceivable that when radiation is reduced, the snow accumulated on the continents during winter does not melt completely during the summer months. This would result in a storage of snow or ice, which would lead to a locally increased surface albedo and thus to further cooling. Precipitation would be stored in the accumulation of inland ice and would no longer be



a

in den Sommermonaten nicht mehr gänzlich abtaut. Es käme dann zu einer Akkumulation von Schnee bzw. Eis, die die lokale Oberflächenalbedo erhöhen und zu einer weiteren Abkühlung führen würde. Durch den Aufbau von Inlandeis wird der Niederschlag gespeichert und nicht mehr über die Flüsse dem Meer zugeführt. Eine solche Speicherung von Süßwasser führte im letzten Hochglazial zu einem weltweiten Anstieg des Salzgehalts im Meer.

Im Experiment mit dem gekoppelten Modell wurde daher über einige tausend Jahre der Aufbau von Inlandeisschilden simuliert, indem ein Teil des über Nordamerika, Skandinavien und Nord-Westasien gefallenen Niederschlags gespeichert und die lokale Albedo in diesen Regionen erhöht wurde. Die Folge ist ein Anstieg des Salzgehalts im Nordatlantik, der die Schichtung in der Wassersäule destabilisiert. Die thermohaline Zirkulation wird somit stärker, und das Nordatlantische Tiefenwasser dringt in große Tiefen vor. Weil verstärkt warmes Wasser aus mittleren Breiten nachfließt,

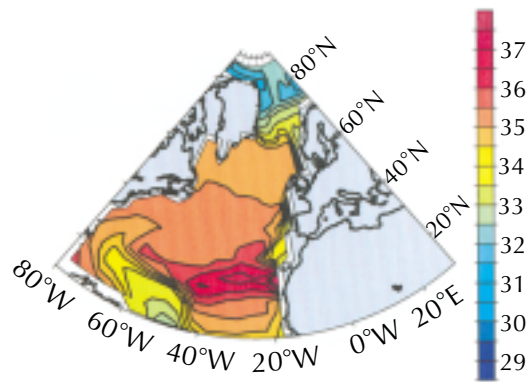


c

recycled to the oceans via run-off. During the last glacial maximum such a storage of fresh water led to a global increase in ocean salinity.

The build-up of inland ice sheets over a few thousand years was simulated, using the coupled model. This was achieved by storing a part of the precipitation which fell on North America, Scandinavia and North West Asia, and simultaneously increasing the local albedo in these regions.

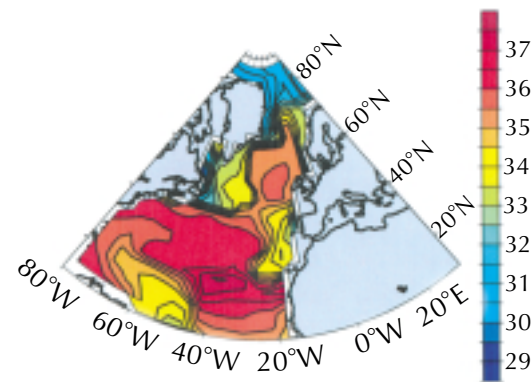
The result is an increase in salinity in the North Atlantic which in turn destabilizes the water column. The Thermohaline Circulation thus becomes stronger and the North Atlantic Deep Water penetrates to greater depths. More saline and warm water from middle latitudes is transported to the sites of deep water formation. This leads to a global increase of temperature and salinity of deep waters.



b

erhöht die Ausbreitung des Tiefenwassers aus dem Nordatlantik letztlich die globalen Temperaturen und Salzgehalte.

Nach dieser Aufbauphase des Inlandeises gelangt daher wieder der gesamte Niederschlag in das Meer. Lediglich das bestehende Inlandeis und die erhöhte Oberflächenalbedo bleiben erhalten. Zu diesem Zeitpunkt stellt sich eine für das Glazial typische Meeresströmung ein: Durch die vorhergehende Umverteilung des Salzgehalts verstärkt sich die Schichtung im Nordatlantik, und die meridionale Umwälzbewegung im Ozean wird schwächer und flacher. Auch die simulierten hydrographischen Daten entsprechen in vielen Aspekten bekannten glazialen Verhältnissen. Die schwache meridionale Umwälzbewegung transportiert weniger warmes Wasser aus den Subtropen in den Nordatlantik, und die Oberflächentemperaturen sinken. Es bildet sich Meereis in der Labradorsee und vor der Nordostküste Nordamerikas. Die Gebiete, in denen neues Tiefenwasser gebildet wird, haben sich in der Simulation südöstlich verlagert.



d

Abb. 5: Oberflächentemperaturen des Wassers im Nordatlantik (a) während der Aufbauphase des Inlandeises und während der simulierten Eiszeit (c). Daneben die Salzgehalte an der Oberfläche während der Aufbauphase (b) und während der Eiszeit (d).

Fig. 5: The sea surface temperatures in the North Atlantic during the build-up of an inland ice sheet (a) and during the simulated ice age (c). Sea surface salinities are represented for the build-up period (b) and the ice age (d).

Mit Hilfe der Computersimulation konnte nachgewiesen werden, dass die Speicherung von Süßwasser auf den Kontinenten große Auswirkungen auf die Meeresströmungen hat. Die von Agassiz angesprochenen großen Gletscher im Landesinnern spielten bei den gewaltigen Klimaschwankungen der letzten 110 000 Jahre offenbar eine entscheidene Rolle.

After this transition period precipitation is re-diverted to the ocean. Only the existing inland ice sheet and the increased surface albedo remain and an ocean circulation typical for the ice ages is established. Due to the preceeding redistribution of salinity, the water column in the North Atlantic is stabilized and the meridional overturning cell in the ocean becomes weaker and shallower. The simulated hydrographic data are in many aspects also in accordance with known glacial conditions. The weak meridional overturning cell transports less warm water out of the subtropics into the North Atlantic and the surface temperatures decrease. Sea ice forms in the Labrador Sea and on the northeastern coast of North America. The model shows a south easterly shift of the convection sites.

Using this computer simulation it could be proved that the storage of fresh water on the continents has large effects on the oceanic circulation. The large inland glaciers mentioned by Agassiz played a crucial role during the enormous climatic fluctuations of the last 110 000 years.

Molekularbiologen auf der Jagd nach toxischen Algenblüten

Entwicklung von Methoden für Frühwarnsysteme

Linda K. Medlin, Christian Schütt

Angesichts der steigenden Popularität von Nahrungsmitteln aus dem Meer (u. a. Muscheln) und der großen Verbreitung der Aquakultur, stellen toxische Algen nicht nur eine wachsende Bedrohung für die menschliche Gesundheit dar, sondern führen auch zu schweren wirtschaftlichen Verlusten. Wissenschaftler haben inzwischen eine Reihe von Toxinen identifiziert, die ein Massensterben von gefangenen Fischen hervorrufen oder Fische und Meerestiere stark mit Toxinen kontaminieren. Heute sind um die 100 Algenarten bekannt, die solche Toxine produzieren, und diese Zahl steigt mit jedem neuen Toxin, das ans Licht kommt, weiter an. Die Überwachung schädlicher Algenblüten („Harmful Algal Blooms“, HABs) ist eine Forderung der EU-Direktive 91/492/CEE. Die meisten europäischen Länder haben daher Monitoringprogramme, um beispielsweise den Muschelfang während des Auftretens von schädlicher Algenblüten oder wenn die Toxine in den Muscheln ein Maß erreicht haben, das potentiell schädlich für den Menschen ist, zu verbieten. Es ist nicht einfach festzustellen, wie giftig eine bestimmte Algenblüte ist, weil der Grad der Toxizität stark zwischen verschiedenen Stämmen und Regionen schwankt. Bakterien sind ebenfalls an der Produktion bestimmter Toxine beteiligt. Anhand neuerer Studien der Bakterien-Algen-Interaktion

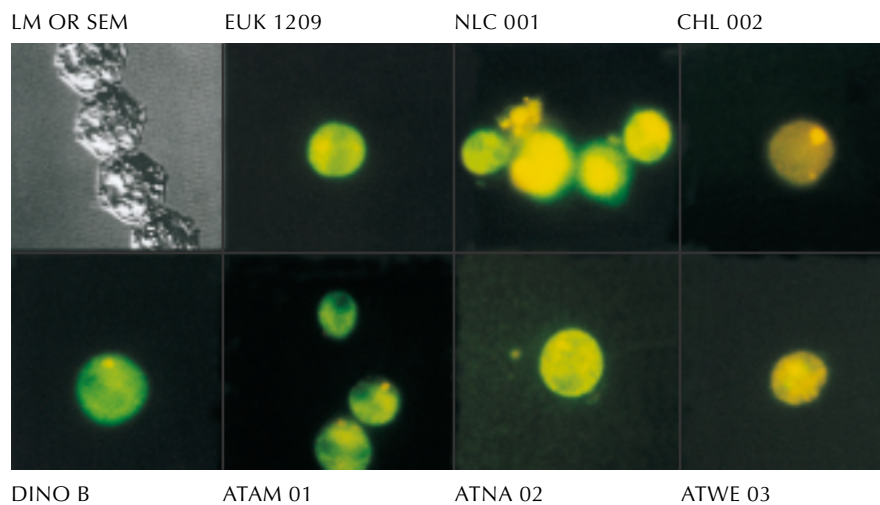
Molecular biology in the pursuit of toxic algal blooms

Development of methods for early warning systems

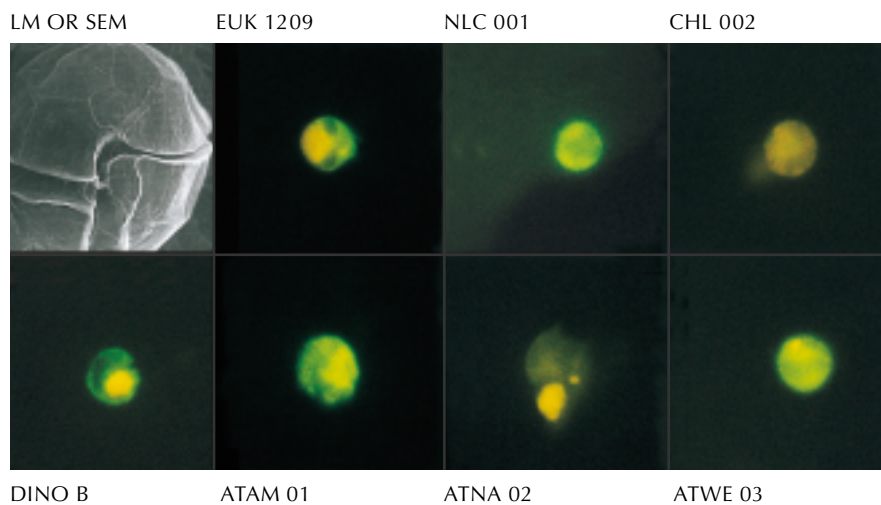
Linda K. Medlin and Christian Schütt

With the spread of aquaculture and the increasing popularity of seafood, toxic algae not only pose a growing menace to human health, but can also cause heavy economic losses. So far a number of different toxins have been identified that cause mass mortality of caged fish and render seafood highly poisonous. About 100 algal species are known to produce toxins, and the number is rising as new toxins come to light. Monitoring for ‘Harmful Algal Blooms’ (HAB) is a requirement of EU directive 91/492/CEE and most European countries have monitoring programmes to ban shellfish harvesting during harmful algal bloom events or when shellfish reach a specified level of toxicity that is potentially harmful to humans. However, it is not easy to establish how toxic a given bloom is, because the degree of toxicity appears to vary widely between strains and regions. Bacteria have been implicated in the production of some toxins, and recent studies of bacterial-algal interactions have begun to reveal the complexity of these associations.

The Ministry for Education and Research funded the TEPS project, which is a multidisciplinary, collaborative project investigating the production of toxins in prokaryote/eukaryote systems. One of the aims of the project is to create the tools necessary for developing an early warning system for



Alexandrium tamarense North American Clade



Alexandrium tamarense Western European Clade

beginnt man, die Komplexität dieser Beziehungen besser zu verstehen.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierte TEPS-Projekt ist ein multidisziplinäres Projekt, in dem verschiedene Wissenschaftler gemeinsam die Produktion von Toxinen in Prokaryonten/Eukaryonten-Systemen untersuchen. Eines seiner Ziele ist die Entwicklung von Werkzeugen, die als Frühwarnsystem für toxische marine Algen geeignet sind. Für diesen Zweck wurde eine Population des toxischen Dinoflagellaten *Alexandrium*, die nördlich von Großbritannien vorkommt, ausgewählt. Diese Gattung produziert Saxitoxin, welches sich in Muscheln anreichert, die Krankheit Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) hervorruft und daher bei der Überwachung besonders beachtet werden muss. *Alexandrium tamarense* ist in den nördlichsten europäischen

Abb. 6: In-situ-Hybridisierung von *A. tamarense* mit spezifischen, Fluoreszenzfarbstoff-markierten Sonden. Positive Signale sind grün, negative gelb. Sonden für höhere Gruppen wie Eukaryonten, ‚Nicht-Chlorophyta‘ und Dinoflagellaten, sowie die Art *A. tamarense* erkennen beide Stämme, während die stammspezifischen Sonden ATNA 02 und ATWE 03 nur entweder den toxischen nordamerikanischen oder nicht-toxischen west-europäischen Stamm erkennen.

*Fig. 6: In-situ-hybridisation of *A. tamarense* with specific fluorescent-labelled probes. Positive signals are green, negative are yellow. Probes for higher groups like eukaryotes, non-chlorophytes, dinoflagellates and the species *A. tamarense* recognizes both strains, but the strain species probes ATNA 02 and ATWE 03, recognize only the toxic North American and non-toxic Western European strains, respectively.*

*toxic marine algae. A population of the toxic dinoflagellate *Alexandrium* that occurs off northern Great Britain was selected for the purpose. This genus produces saxitoxin, which is concentrated by mussels and causes paralytic shellfish poisoning (PSP) and hence requires special attention in monitoring programmes. *A. tamarense* has been found to be toxic in the northernmost European waters, but elsewhere in Europe it is non toxic, although morphologically indistinguishable. Molecular genetic investigations into *Alexandrium* isolates have shown that the northern population is a relict flora belonging to the toxic North American clade. Blooms in the Firth of Forth and in the Orkney Islands, studied on two research cruises with RV ‘Heincke’, were shown to be initiated in other regions and subsequently concentrated in the Orkneys by the ocean currents. Toxin analyses in collaboration with the University of Jena were done directly on board ship for the first time with an HPLC. Using a tissue culture assay that tests for sodium channel blocking activity indicating PSP toxins, TEPS researchers demonstrated that ca. 1 % of bacteria isolated from the blooms were capable of producing PSP-like compounds. The chemical nature of these compounds – apparently a new class of toxins - is presently being clarified in collaboration with the University of Jena.*

Although toxin production is a key feature of nearly all HAB species, some toxins remain unknown or poorly characterised chemically, e.g., from Pfiesteria or Chrysochromulina. The determination of the genetic basis for toxin production will provide a better understanding of the mechanisms involved and the reasons for toxin production by

Gewässern toxisch, im übrigen Europa aber nicht-toxisch, obwohl beide Formen morphologisch nicht unterscheidbar sind. Molekulargenetische Untersuchungen von *Alexandrium*-Isolaten haben gezeigt, dass die nördliche Population eine Reliktflora ist, die zu der toxischen nordamerikanischen Gruppe gehört. Für Algenblüten im Firth of Forth und bei den Orkney Inseln, die während zweier Forschungsfahrten mit der FS ‚Heincke‘ untersucht wurden, konnte gezeigt werden, dass sie von anderen Regionen ausgingen und erst anschließend durch Meeresströmungen bei den Orkney Inseln konzentriert wurden. In Zusammenarbeit mit der Universität Jena wurden das erste Mal direkt an Bord Toxinuntersuchungen mittels Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) durchgeführt. Durch die Verwendung eines Zellkultur-Tests für die natriumkanalblockierende Wirkung von PSP-Toxinen haben TEPS-Forscher nachgewiesen, dass ca. 1% der Bakterien, die aus der Blüte isoliert worden waren, PSP-artige Komponenten produzieren konnten. Die chemische Natur dieser wohl neuen Klasse von Toxinen wird derzeit in Zusammenarbeit mit der Universität Jena aufgeklärt.

Obwohl die Toxinproduktion ein Schlüsselement nahezu aller Arten mit schädlichen Algenblüten ist, blieben einige Toxine bisher unbekannt oder nur unzureichend charakterisiert, zum Beispiel von *Pfisteria* oder *Chrysochromulina*. Die Bestimmung der genetischen Grundlage für die Toxinproduktion hilft, die beteiligten Mechanismen und die Gründe für die Produktion durch die Alge besser zu verstehen. Neue molekulare Methoden bieten interessante Möglichkeiten, Gene/

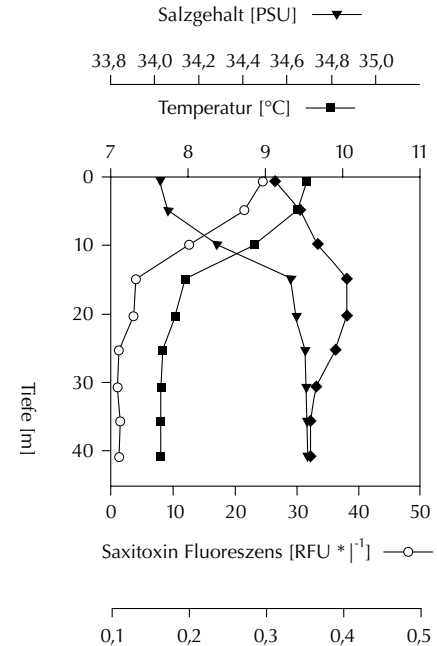


Abb. 7: Tiefenprofil der verschiedenen Parameter an einer Station im Gebiet der Orkney Inseln. Saxitoxin-gehalt, bestimmt durch den fluorimetrischen Schnelltest (○). Temperatur (■), Chlorophyllgehalt (◆), Salzgehalt (▼), Tiefe von 0 – 40 Meter.

Fig. 7: Depth profile of various parameters measured at a station in the area of the Orkney Island. Saxitoxin content as measured by the rapid fluoreometric test (○). Temperature (■), Chlorophyll content (◆), Salinity (▼), Depth from 0 – 40 meters.

Proteine zu isolieren, die bevorzugt während Zeiten hoher Toxinproduktion im Zellzyklus produziert werden. TEPS-Wissenschaftler verwenden diese Techniken dazu, Toxingene in *C. polyilepis* und *A. ostenfeldii* zu suchen.

Ribosomale RNA Gene wurden sequenziert. Diese Informationen konnten verwendet werden, um molekulare Sonden zu entwickeln, die selbst in natürlichen Populationen spezifisch *A. tamarensis* detektieren und die toxischen nordamerikanischen von den nicht-toxischen westeuropäischen Stämmen unterscheiden können, entweder über in-situ-Hybridisierungen (Abbildung 6) oder über Durchflußzytometrie. Diese empfindliche und schnelle Art der Detektion schädlicher Algen reduziert die Zeit, die zur Analyse der Proben notwendig ist, von Tagen auf Stunden. Ein solches Verfahren ist somit als Frühwarnsystem für Betreiber von Aquakulturen einsetzbar.

Im TEPS-Projekt wurde außerdem ein fluorimetrischer Schnelltest entwickelt, der Muschelfarmen eine schnelle und preiswerte Methode bietet, PSP-Toxine zu festzustellen. Der Test zeigt eine gute Korrelation mit den HPLC-Daten (Abbildung 7). Die Toxinkonzentrationen nehmen in den *Alexandrium*-Blüten mit zunehmender Tiefe ab und sind nicht korreliert mit dem Chlorophyllmaximum der Algen.

the alga. Novel molecular methodologies offer exciting possibilities to isolate genes/proteins that are preferentially expressed during maximum periods of toxin production in the cell cycle. TEPS researchers are using these techniques to search for toxic genes in C. polyilepis and A. ostenfeldii.

Ribosomal RNA genes have been sequenced and the sequence information used to develop molecular probes that specifically detect A. tamarensis or distinguish the toxic North American strains from non-toxic Western European strains even in natural populations with in-situ hybridisation (Figure 6) or flow cytometry. This sensitive and rapid means of detecting harmful algae reduces the sample analysis time from days to hours, thus bringing an early warning system within reach of aquaculturists.

Also a rapid fluorometric test has been developed in the TEPS project, which will offer the shellfish farmers a rapid and cheap means to detect PSP toxins. The test shows a good correlation with HPLC data (Figure 7). Measurements of toxin concentrations decrease with depth in the Alexandrium blooms and are not correlated with the chlorophyll maximum of the alga.

Schlechte Aussichten für die Kalkbildner im Meer

Steigende Kohlendioxid-Konzentration
vermindert die biologische Kalkproduktion

Ulf Riebesell, Ingrid Zondervan, Björn Rost

Viele Organismen im Meer verwenden Kalk (Kalziumkarbonat), um sich daraus Schalen und Skelette zu bauen. Die wohl prominentesten Kalkbildner im Meer sind die Korallen. Die Schönheit der von ihnen gebildeten Strukturen und die Farbenpracht und Artenvielfalt der von ihnen unterhaltenen Ökosysteme fesseln jeden Betrachter. Von nicht minderer Schönheit – wenn auch mit bloßem Auge nicht zu erkennen – sind die filigranen Kalkstrukturen der sogenannten Coccolithophoriden, der Kalkplättchenträger (Abbildung 8a, b). Diese nur wenige tausendstel Millimeter großen Kalkalgen sind die mit Abstand produktivsten Kalkbildner im Ozean und eine der Schlüsselgruppen im Meeresplankton. Sie bilden über weite Areale ausgedehnte Algenblüten und sorgen durch ihr anschließendes Absinken zum Meeresboden für eine beträchtliche Anreicherung von Kalk in den marinen Sedimenten. Große Kalkablagerungen, wie zum Beispiel die weißen Klippen von Dover und auf Rügen, gehen auf die Rechnung dieser mikroskopisch kleinen Kalkalgen.

Die Kalkbildner machen sich eine für sie hilfreiche Eigenschaft des Meerwassers zunutze: Obgleich die im Meerwasser gelösten Mengen an Kalzium und Karbonat weit über ihrem Löslichkeitsprodukt liegen, fällt auf rein chemischem Wege kaum Kalziumkarbonat aus. Erst durch das gezielte Einwirken der Organismen kommt es zur

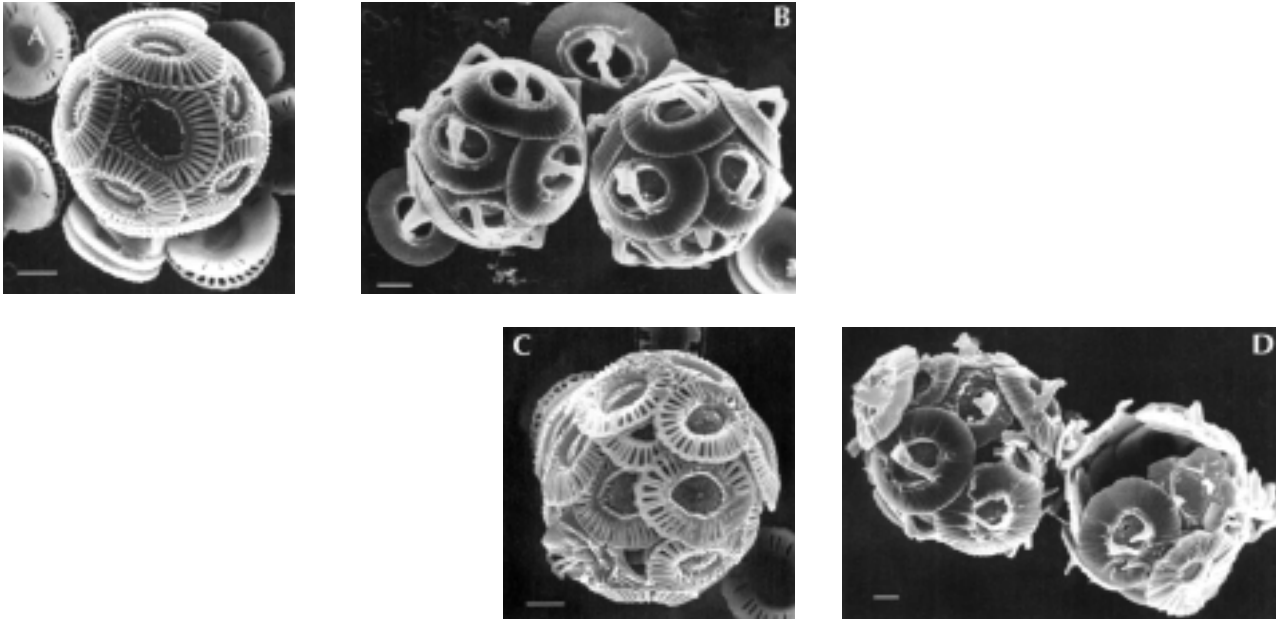
Poor prospects for marine calcifying organisms

Rising atmospheric carbon dioxide slows
down carbonate production in the sea

Ulf Riebesell, Ingrid Zondervan, Björn Rost

Numerous marine organisms use lime (calcium carbonate) to build their shells and skeletons. Certainly the most noticeable calcite producers in the sea are the corals. The beauty of their calcareous structures and the often colourful and highly diverse plant and animal communities living in their auspices are bound to fascinate every observer. Of no lesser beauty – albeit invisible to the naked eye – are the delicate calcite structures of coccolithophorids (Figure 8a, b). These minute microalgae, measuring only a few thousandth of a millimeter in size, are by far the most productive calcite producers in the ocean and are key organisms in marine pelagic ecosystems. Coccolithophorids can form dense algal blooms over large expanses in the ocean, eventually causing a rain of calcareous platelets to the deep ocean. Over geological time, this can result in massive accumulations of calcite in marine sediments, as manifested in the white cliffs of Dover or on the island of Rügen.

Calcifying organisms take advantage of a specific property of seawater: although the concentrations of calcium and carbonate ions in seawater are far above their solubility product, chemical precipitation of calcium carbonate does practically not occur. Only through the involvement of lime-producing organisms does the formation of calcareous structures become possible. As long as seawater



Bildung von festen Kalkstrukturen. Solange das die Organismen umgebende Wasser kalkübersättigt bleibt, findet eine Rücklösung des biogenen Kalks praktisch nicht statt.

Der gegenwärtige Anstieg der Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre führt dazu, dass in der oberflächennahen Schicht der Meere zusätzlich Kohlendioxid in Lösung geht. Dadurch wird das Meerwasser saurer, und die Kalkübersättigung nimmt ab. Bei einem unverändert fortschreitenden Anstieg des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre wird sich die Karbonatkonzentration bis zum Jahre 2100 gegenüber dem vorindustriellen Wert etwa halbiert haben, die Kalkübersättigung wird um ca. 35% gesunken sein. Die Voraussetzungen für die Kalkbildung werden damit zunehmend ungünstiger. Da liegt die Frage nahe, inwieweit dies Konsequenzen für die marinen Kalkbildner haben könnte.

Abb. 8: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Kalkalgen *Emiliana huxleyi* (a, c) und *Gephyrocapsa oceanica* (b, d). Die Zellen (a) und (b) sind unter CO_2 -Bedingungen gewachsen, wie sie heute vorherrschen, Zellen in (c) und (d) unter Bedingungen, wie sie für das Jahr 2100 zu erwarten sind.

*Fig. 8: Scanning electron micrographs of the calcareous microalgae *Emiliana huxleyi* (a, c) and *Gephyrocapsa oceanica* (b, d). Cells (a) and (b) were grown under CO_2 conditions representative for the present ocean, cells in (c) and (d) under conditions expected for the year 2100.*

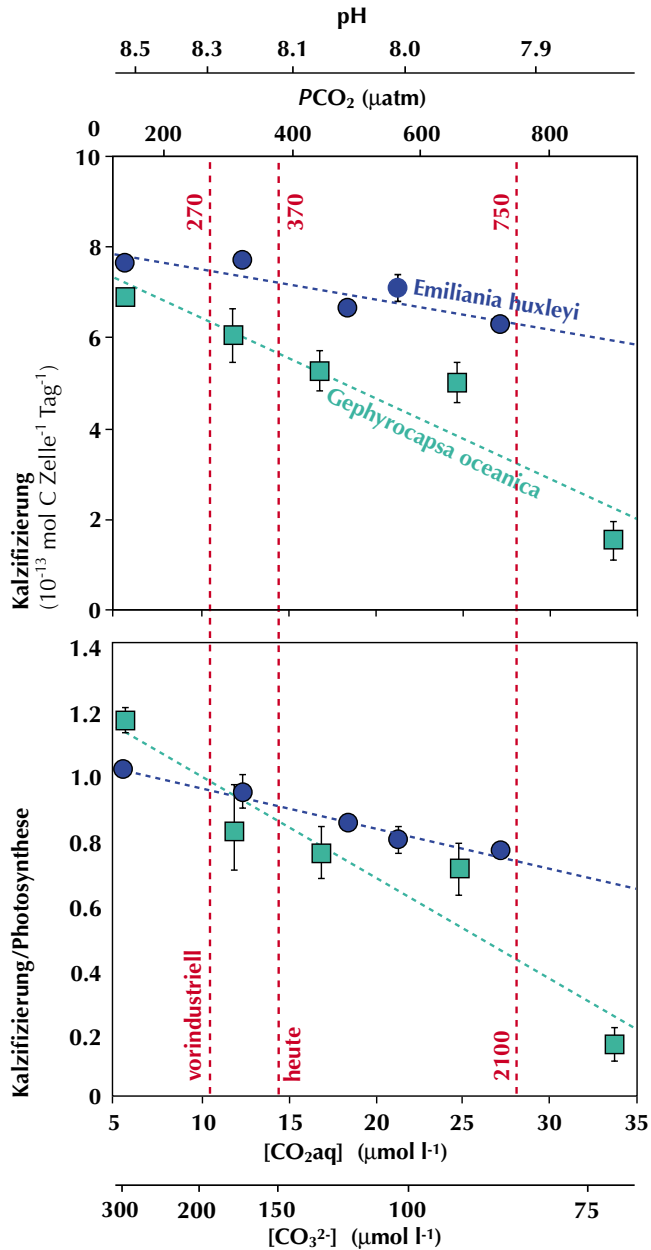


Abb. 9: Kalzifizierungsraten und das Verhältnis von Kalzifizierung zu Photosynthese in Abhängigkeit vom Seewasserkarbonatsystem (pH-Wert, Partialdruck von CO₂ und die Konzentrationen von gelöstem CO₂ und CO₃²⁻) bei den Kalkalgen *Emiliana huxleyi* und *Gephyrocapsa oceanica*. Vertikale Linien zeigen mittlere ozeanische Bedingungen an, die repräsentativ für vor-industrielle Zeiten, heute bzw. das Jahr 2100 sind.

remains supersaturated with respect to carbonate, re-dissolution of the biogenic calcite is prevented.

Due to the present rise in atmospheric carbon dioxide (CO₂), additional CO₂ is being dissolved in the oceanic surface layer. This acidifies the surface seawater slightly and lowers its carbonate supersaturation. If anthropogenic CO₂ emission continues at its present rate, the carbonate concentration will have decreased to about 50 % of its pre-industrial values by the year 2100. This will cause calcite supersaturation to drop by ca. 35 %. One of the

Fig. 9: Calcification rates and the ratio of calcification to photosynthesis in relation to seawater carbonate chemistry (pH, CO₂ partial pressure, and concentrations of CO₂ and CO₃²⁻) for the calcareous microalgae *Emiliana huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica*. Vertical lines indicate mean surface ocean conditions representative for pre-industrial times, the present ocean, and the year 2100, respectively.

Von den heute ca. 200 im Meer vertretenen Arten von Coccolithophoriden kommen nur zwei Arten, *Emiliana huxleyi* und *Gephyrocapsa oceanica*, zur Massenentwicklung. Ihre Empfindlichkeit gegenüber CO₂-bedingten Änderungen der Kalkübersättigung haben wir in Laborexperimenten untersucht. Das Ergebnis: Mit sinkender Kalkübersättigung nimmt die Verkalkung der Zellen ab (Abbildung 9). Anhand von elektronenmikroskopischen Aufnahmen wird deutlich, dass sich nicht die Anzahl der Kalkplättchen pro Zelle, sondern der Grad ihrer Verkalkung vermindert. Mit abnehmender Verkalkung nimmt darüber hinaus der Anteil von Algenzellen mit missgebildeten Kalkgehäusen deutlich zu (Abbildung 8 c, d). Obgleich noch nicht bekannt ist, welche Funktion die ein- bis mehrlagige Bedeckung mit Kalkplättchen für die Algenzelle hat, lässt sich vermuten, dass sie einen Schutz gegen mögliche Angreifer darstellt. Diese Funktion dürfte bei den zum Teil stark ausgeprägten Missbildungen nicht mehr vollständig gewährleistet sein.

Neben der physiologischen und ökologischen Bedeutung kommt der Kalkbildung der Coccolithophoriden auch eine wichtige biogeochemische Bedeutung zu. Die Ausfällung von Kalk verändert das Gleichgewicht im Meerwasserkarbonatsystem derart, dass der CO₂-Partialdruck ansteigt. Dies erhöht das Potential zum Ausgasen von Kohlendioxid an die Atmosphäre. Verminderte Kalzifizierung verstärkt dementsprechend die Kapazität des Meerwassers, Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufzunehmen. Abnehmende Kalkbildung bei steigendem atmosphärischen Kohlendioxid stellt somit eine negative Rückkopplung dar:

consequences of this trend is that conditions for calcite precipitation will become increasingly unfavourable. A question of concern is therefore, what effect this may have for marine calcifying organisms.

Among the ca. 200 species of coccolithophorids presently known, only two species, Emiliana huxleyi and Gephyrocapsa oceanica, are observed to form dense blooms. Recent laboratory experiments aimed at testing the sensitivity of these species to CO₂-related changes in seawater carbonate chemistry have yielded a distinct response: calcite production slows down considerably with decreasing calcite supersaturation (Figure 9). Scanning electron microscopy revealed that while the number of calcite platelets per cell remained unaffected, the degree of calcification of these platelets decreased significantly. Lower calcification also resulted in higher numbers of cells with malformed and incomplete platelet coverings (Figure 8 c, d). Although the function of the calcitic covering is presently not clear, it is likely to serve as a form of protection for the cell. In this respect the observed malformations under reduced calcite supersaturation may affect the coccolithophorids' competitive advantage in the natural environment. The physiological significance of calcite precipitation in coccolithophorids is further indicated by the close relationship between calcification and photosynthesis.

In addition to its physiological and ecological relevance, calcification in coccolithophorids is of biogeochemical importance. Carbonate precipitation affects seawater carbonate chemistry by increasing CO₂ partial pressure. This in turn enhances the potential of CO₂ outgassing into the atmosphere. The opposite effect, i. e. an increase in the capacity

Der Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre kann durch die erhöhte Aufnahmefähigkeit des Meeres verlangsamt werden.

Forschergruppen in Frankreich und den USA konnten jetzt zeigen, dass auch Kammerlinge, sogenannte Foraminiferen, und Korallen in ihrer Kalkproduktion ähnlich empfindlich auf Änderungen der Meerwasserkarbonatchemie reagieren wie die Kalkalgen. So führt eine Verdopplung der atmosphärischen CO₂-Konzentration zu einer Reduzierung der Kalkproduktion bei Korallen um bis zu 30 %. Hochrechnungen ergeben, dass die biogene Kalzifizierung damit bis zum Jahre 2100 ozeanweit auf 60 – 70 % des vorindustriellen Wertes zurückgehen könnte.

of the ocean to take up CO₂ from the atmosphere, results from a decrease in calcification. Reduced calcification in response to rising atmospheric CO₂ therefore represents a negative feedback. Rising atmospheric CO₂ enhances the ocean's CO₂ storage capacity.

Recently, evidence has been presented by colleagues in France and the U.S. that calcification in foraminifera and corals is equally sensitive to CO₂-related changes in seawater carbonate chemistry as in coccolithophorids. A doubling in atmospheric CO₂, for instance, can cause a 30 % reduction in coral calcification. When projected into the future, these results suggest that by the year 2100 global ocean biogenic calcification may have declined to 60 – 70 % of its pre-industrial level. In addition to ocean biogeochemistry this is bound to drastically affect marine ecosystem structure and functioning.

Der etwas andere Krill: Leben im kalten wie im warmen Wasser

Ein europäisches Projekt zur klimatischen Anpassung im Zooplankton

Friedrich Buchholz, Reinhard Saborowski,
Markus Salomon

Der nur im Südpolarmeer vorkommende Antarktische Krill wurde viel untersucht. Der Nordische Krill, der eigentliche Namensgeber, wurde darüber fast vergessen: Das Wort Krill prägten vor mehr als 100 Jahren norwegische Fischer, die bereits wussten, dass diese Art von der Arktis bis in die Nordsee vorkommt. Tatsächlich ist *Meganyctiphanes norvegica*, übersetzt: ‚Die hell in der Nacht Leuchtende aus Norwegen‘, auch im warmen Mittelmeer zu finden. Seine aussergewöhnlich weite Verbreitung verdankt der Nordische Krill der Fähigkeit, sich unterschiedlichen Umgebungen anzupassen.

Die ökophysiologischen Fähigkeiten des Nordischen Krills wurden im Hinblick auf klimatische Anpassungen in einem von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projekt (MAST III – PEP) als Modell im Zooplankton untersucht.

Dazu fanden sich, koordiniert von der Biologischen Anstalt Helgoland, Physiologen, Ökologen, Hydroakustiker und Molekulargenetiker aus Frankreich, Schottland, Italien und Deutschland zusammen. Als zentrales, schwimmendes Labor für Experimente und den Einsatz moderner Messgeräte diente FS ‚Heincke‘. Die Gruppe verbrachte insgesamt sieben Monate an Bord, auf je zwei Sommer- und Winterreisen in der schottischen

Krill, a bit different: Life in both cold and warm waters

A European project on climatic adaptation in zooplankton

Friedrich Buchholz, Reinhard Saborowski,
Markus Salomon

The much investigated Antarctic krill is restricted to the polar Southern Ocean. In contrast, the Northern krill, Meganyctiphanes norvegica, (the name means ‘the bright Norwegian night-shiner’), has been much less studied, although its popular name was coined long ago by Norwegian fishermen, who knew that ‘krill’ occurred from the Arctic to the North Sea. In fact, it is also found in the warm Mediterranean. This extraordinarily wide distribution appears to be linked to its capacity to cope with cold as well as warm temperatures.

Northern krill has therefore been used as a model zooplankton species in a European project (MAST III – PEP) to study eco-physiological optimization in relation to climatic conditions.

The study brought together a group of physiologists, ecologists, acousticians and molecular geneticists from Germany, France, Scotland and Italy, co-ordinated by Biologische Anstalt Helgoland. RV ‘Heincke’ served as the main platform for deploying modern instruments and as the experimental laboratory at sea. Altogether, the group spent seven months on board with two winter and two summer cruises to the Clyde Sea (Scotland), with cool, stable temperatures, a cruise to the Ligurian Sea near Corsica, with constant warm waters, and to the Kattegat, where seasonally variable temperatures prevail.

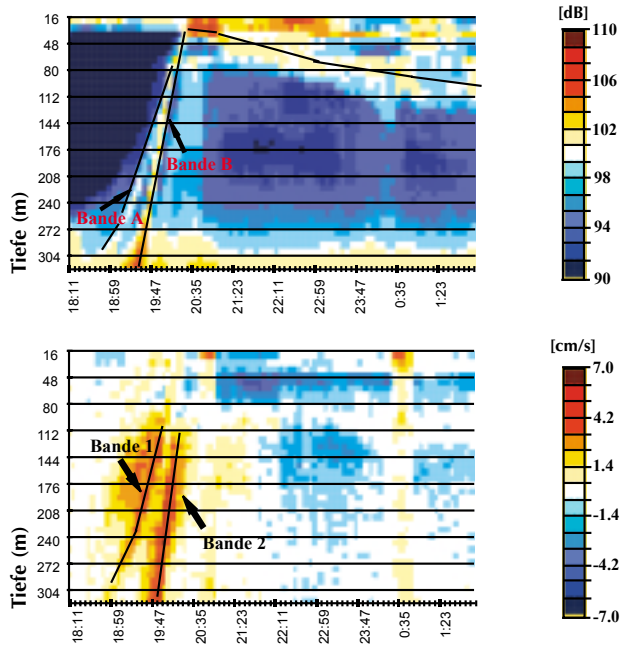


Abb. 10: Darstellung der Vertikalwanderung des Nordischen Krills mit Hilfe eines Doppler-Sonar-Strömungsmessgeräts (ADCP) in der Ligurischen See. Oben: Bande B stellt den schnellen Aufstieg des Krills kurz nach Sonnenuntergang und das langsame Wiederabsinken während der Nacht dar. Unten: Gleichzeitige Messung der Wanderungsgeschwindigkeiten (Bande 2: Krill).

Fig. 10: Vertical migration in Northern krill recorded by an Acoustic Doppler Current Profiler in the Ligurian Sea. Top: Band B depicts the fast ascent of the krill shortly after sunset and subsequent slow sinking during the night. Bottom: Simultaneous measurement of migratory velocities (Band 2: krill).

Clyde-See mit relativ konstanten und kühlen Wassertemperaturen, der Ligurischen See bei Korsika mit konstant warmem Wasser und dem Kattegat mit stark variablen saisonalen Temperaturen.

Ein Doppler-Sonar-Strömungsmessgerät (ADCP) wurde durch Fänge mit dem Multinetz geeicht. Auf diese Weise gelang die exakte Darstellung der aussergewöhnlichen Vertikalwanderungen des Krills nach Biomasse und Wanderungsgeschwindigkeit (Abbildung 10). Durch die hohe Auflösung des Wanderverhaltens und damit der genauen Position der Tiere in der Wassersäule konnten ursächliche Beziehungen zur Temperatur-, Ernährungs- und Entwicklungsphysiologie hergestellt werden. Als Indikator für die Leistungsfähigkeit wurde zum Beispiel die temperaturabhängige Atmung des Krills gemessen (Abbildung 11).

An Acoustic Doppler Current Profiler was calibrated by comparison with multi-net samples. The extraordinary vertical migrations of krill were recorded with high precision in terms of shifts in biomass and of migration velocities (Figure 10). The high resolution of the migration behaviour facilitated causal interpretations in physiological terms in relation to temperature, nutrition and development. For example, temperature-dependent respiration of krill was determined as a measure of physiological performance and capacity (Figure 11), from which three conclusions can be drawn.

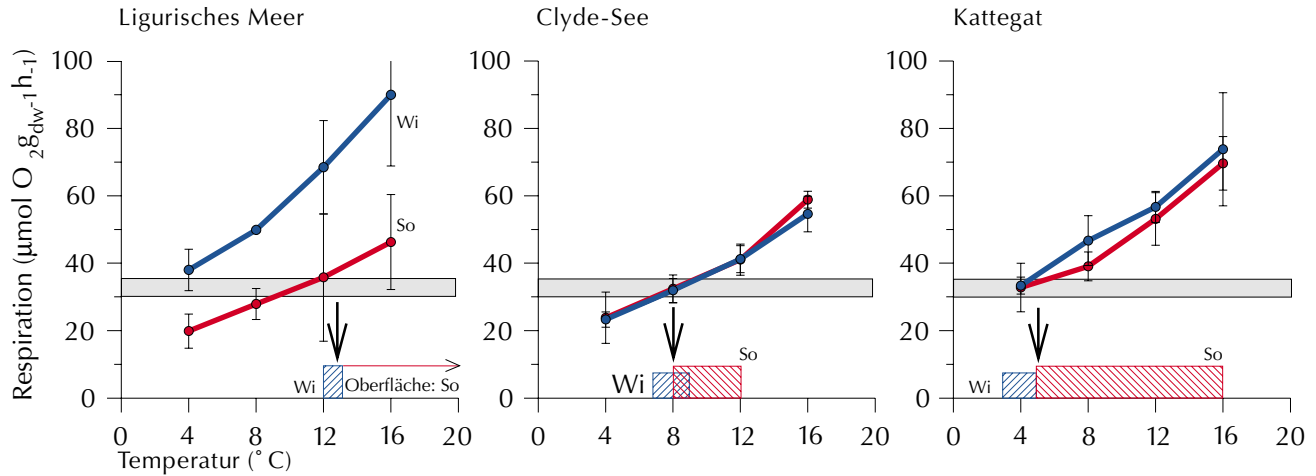


Abb. 11: Messungen der temperaturabhängigen Atmung des Nordischen Krills als Maß für die physiologische Leistungsfähigkeit im Vergleich des klimatischen Dreiecks. An der x-Achse ist jeweils die jahreszeitliche Temperaturspanne in der Wassersäule gekennzeichnet. Rot: Sommerwerte, blau: Winterwerte.

Fig. 11: Temperature-dependent respiration in Northern krill as a measure of physiological capacity round the climatic triangle. The range of seasonal temperatures is indicated on the x-axis. Red: summer values, blue: winter values.

Auffällig ist zunächst, dass ein gleicher Wert des Sauerstoffverbrauchs an jedem Standort der mittleren, saisonalen Wassertemperatur entspricht (Pfeile). Es hat also eine langfristige Anpassung an die an den drei Orten vorherrschenden Wassertemperaturen stattgefunden. Steigt der Krill in die im Sommer warmen, planktonreichen Oberflächenschichten auf, erhöht sich seine Leistungsfähigkeit entsprechend der ansteigenden Respi-

First, at all three sites, krill exhibited approximately the same level of oxygen consumption when measured at the prevailing temperatures in their respective environments (arrows). This indicates that krill, in the long run, can adjust their overall metabolic rates to maintain a constant level that corresponds with the overall local temperature regime.

Secondly, when krill ascend into the upper, warmer and plankton-rich water layers at night, respiration rates and hence metabolism are enhanced 'automatically'. In this way swimming speed is increased, which can be interpreted as maximization of the search for food during the relatively short time spent near the surface.

The third and most striking difference is the marked shift of the winter respiration curve in the

rationskurven ‚automatisch‘. Dadurch können die Tiere schneller schwimmen und die relativ kurze Aufenthaltszeit optimal zur Nahrungssuche nutzen.

Der auffälligste Unterschied ist die Verschiebung der Winterkurve der Respiration im Mittelmeer auf fast das Doppelte aller anderen Werte. Die speziellen Nahrungsverhältnisse im Mittelmeer bieten die Erklärung: Insgesamt ist dort die Planktonproduktion und damit die Verfügbarkeit der Nahrung des Krills auf kurze Zeit, etwa von März bis Mai, beschränkt. Offenbar setzt der Krill alles auf die ‚Winterkarte‘: die Tiere wachsen und pflanzen sich nur in dieser hochproduktiven Zeit schnell fort. Zu erkennen ist der höhere Stoffumsatz des Krills an der erhöhten Atmungsleistung.

Daraus ergibt sich ein deutlicher physiologischer Unterschied im klimatischen Dreieck: im Norden beeinflusst die Wassertemperatur den Krill stärker, im Süden werden solche Effekte durch das abweichende Nahrungsregime überlagert. Diese Entdeckung wird durch andere gemessene Parameter untermauert, wie die Lipid- und Fettsäurezusammensetzung oder die Anpassung der Aktivitäten einer Reihe von Enzymen.

Aufschlussreich war weiterhin die erste molekulargenetische Analyse der Art *M. norvegica*. Es zeigte sich, dass die temperaturgeprägte Physiologie der atlantischen nördlichen Populationen nur mit Detailunterschieden im genetischen Repertoire einhergeht. Deutlich genetisch abgesetzt ist dagegen der Ligurische Krill. Offenbar hat das sehr unterschiedliche hydro-klimatische Regime des Mittelmeers zu einer funktionellen wie genetischen Abgrenzung der Population geführt.

Mediterranean to a level almost twice that of all other values. The trophic conditions in the Mediterranean may explain this effect: here, the production of smaller plankton organisms that provide food for the omnivorous krill, is restricted to a very short period, approximately from March to May. Apparently, krill has adapted itself to ‘play the winter card’: only during that short time of high production does krill grow and reproduce, and it does so very quickly. The enhanced metabolism associated with this is indicated by the increased respiratory rates.

The conclusion is that krill shows clear physiological differences between the points of the climatic triangle. At the northern locations, krill is more strongly influenced by temperature, whereas in the south such effects are masked by the very different trophic regime. This finding is supported by other parameters that have been determined, such as the composition of lipids and fatty acids or adaptive traits in a series of enzymes.

*Molecular studies have also shown, for the first time, that there are genetic differences between the various populations of *M. norvegica*. Ligurian krill is genetically distinct from all Atlantic populations tested, including krill from the Clyde Sea and the Kattegat. This is in accordance with the physiological distinction that has been shown in terms of trophic dependence vs. temperature effects.*

Multidrug-Resistenz – eine alte Überlebensstrategie von Meeresorganismen

Angela Köhler-Günther, Alexander Lüdeking,
Tilman Alpermann

Seit langem fragen sich Meeresbiologen, wie niedere Meeresorganismen, unter anderem Muscheln, Schnecken, Schwämme und manche Krebse, in der Lage sind, in sehr verschmutzten Meeren zu überleben und sich dort erfolgreich fortzupflanzen. Ihre Organe und Körperflüssigkeiten enthalten viel niedrigere Schadstoffkonzentrationen als das sie umgebende Wasser und Sediment. Sie sind offenbar gegen die Gifte resistent!

Bis vor kurzem konzentrierten sich die Wissenschaftler auf die Prozesse der Umwandlung und Entgiftung von Schadstoffen, wenn diese schon in das Innere der Zellen eingedrungen sind. Als neues, interessantes Prinzip des Schutzes gegen Schadstoffe wurden Giftpumpen, sogenannte ‚multidrug transporter‘, in der Außenhaut von Zellen (Membran) entdeckt. Ihre Funktion besteht darin, toxische Stoffe daran zu hindern, in die Zellen von Meerestieren einzudringen.

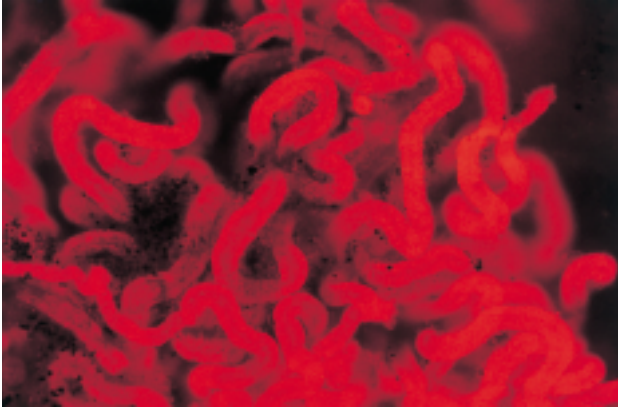
In unserer Arbeitsgruppe über Zellbiologie und Pathologie von Meerestieren untersuchen wir Wirbellose und Wirbeltiere aus Nordsee, Ostsee, Mittelmeer und Pazifik daraufhin, ob sie verschiedene ‚multidrug transporter‘ in den Zellen ihrer zentralen Stoffwechselorgane (Kiemen, Leber, Niere) haben. Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten ist es herauszufinden, welche Transportertypen sich im Laufe der Evolution in den verschiedenen Tierklassen für verschiedenen Giftstoffe entwickelt haben.

Multidrug-Resistance – an ancient survival strategy for marine organisms

Angela Köhler-Günther, Alexander Lüdeking,
Tilman Alpermann

Marine biologists have long discussed the existence of mechanisms, which permit survival and successful reproduction of lower marine animals such as mussels, snails, sponges and some crab species in highly contaminated marine habitats. Their organs and body fluids contain considerably lower concentrations of contaminants than surrounding water and sediments – obviously they are pollution resistant. Until recently, the main interest of researchers in the environmental field was focussed on those processes of biotransformation and detoxification, once the toxin had entered the cells. A new principle for handling toxins has been discovered in the role of multidrug transporters, which function to prevent toxins from entering the cells.

In our research group on cell biology and pathology of marine organisms, we study whether invertebrates and vertebrates from the North Sea, Baltic Sea, Mediterranean Sea and Pacific Ocean have developed various multidrug transporters in central metabolic organs (gills, liver, hepatopancreas, kidney). One of our goals is to analyse the type of transporters, which have developed during evolution for different contaminants in the various taxa. In experimental exposure studies we test compounds (pesticides, herbicides, antifouling, oil derived aromatic hydrocarbons) with respect to their capacity to induce the ‘first line of defense’ and even more relevant! – which toxins inhibit this



In Experimenten untersuchen wir in unseren Aquarien, welche ins Meer eingeleiteten Stoffe (Pestizide, Herbizide, Antifouling-Mittel, Erdölkomponenten) diese ‚erste Verteidigungslinie‘ induzieren und – noch viel wichtiger – welche Chemikalien die lebenswichtigen ‚multidrug transporter‘ hemmen oder zerstören. Es verstärkt sich der Verdacht, dass Stoffe wie Organozinn-Verbindungen (TBT) neben ihren Wirkungen auf den Hormonhaushalt auch die Giftpumpen in den Membranen lahmlegen und so zum Aussterben ansonsten resistenter Arten beitragen.

Mit Hilfe fluoreszierender Modellmoleküle testen wir die Pumpleistung der Giftpumpen in lebenden biologischen Systemen, die aufwendige Tierversuche zum großen Teil ersetzen. Dazu benutzen wir Zellen, lebende Organteile (Nierentubuli) oder komplette Organe, wie zum Beispiel Kiemen, die wir in Nährlösungen am Leben halten (Abbildung 12).

Abb. 12: Lebende Nierenkanäle aus der Flunder, die in Kulturflüssigkeit ihre Funktion behalten: Der ‚multidrug transporter‘ wurde mit dem Modell-Inhibitor Verapamil gehemmt, so dass sich die Moleküle des fluoreszierenden Giftstoffes in den Nierenkanälen anreichern und diese zum Leuchten bringen.

Fig. 12: Living kidney tubules in culture medium. The ‚multidrug transporter‘ has been treated with the inhibitor Verapamil. Therefore the fluorescent molecule concentrates in the tubules and can be traced.

mechanism essential for survival. There is increasing suspicion that organotin compounds (TBT) not only affect the hormone balance, but may also inhibit drug transport.

With the aid of fluorescent model molecules we can screen the pumping capacity of the transporters in living biological systems thus largely substituting whole animal experiments. For this purpose we keep cells, parts of organs (kidney tubules) and complete organs (gills) alive in culture medium adapted to natural physiological temperature conditions (Figure 12).

The phenomenon of multidrug resistance was first discovered in the USA by Victor Ling through the circumstance that human tumors treated sequentially with various chemotherapeutics became resistant. Thus certain kinds of cancer can not be treated successfully via chemotherapy.

Das Phänomen der Multidrug-Resistenz hat der Amerikaner Victor Ling Ende der siebziger Jahre entdeckt. Er stellte als erster fest, dass Zellen von menschlichen Tumoren gegen verschiedene nacheinander in der Chemotherapie eingesetzte Medikamente resistent wurden und somit die Hoffnung auf eine erfolgreiche Therapie zunichte machten.

Der bislang bestuntersuchte Transporter ist ein Makromolekül, ein P-Glycoprotein, das in der Außenhaut der Zelle sitzt und seine Energie zum Transport aus ATP bezieht. Seine Form kann der molekulare Transporter je nach dem, welches Schadstoff- oder Medikamentenmolekül eliminiert werden muß, perfekt anpassen. So können verschiedenste Klassen unerwünschter Stoffe optimal erkannt und aus der Zelle exportiert werden.

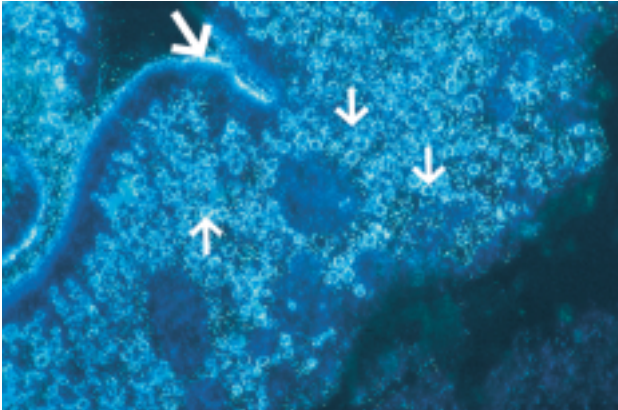
Unsere Arbeitsgruppe hat in diesem Zusammenhang beispielsweise als erste herausgefunden, dass auch Tumorzellen in Lebern von Fischen, die in hochbelasteten Meeresgebieten leben, sich mit Hilfe von ‚multidrug transporter‘ perfekt an die vergiftete Umwelt angepaßt haben. Auf diese Weise haben sie gegenüber normalen Zellen, die den Vergiftungstod sterben, einen enormen Wachstumsvorteil und können zu bösartigen Tumoren heranwachsen.

Technisch entscheidende Fortschritte konnten wir 1999 auf dem Gebiet der Immuno-Cytochemie für Licht- und Elektronenmikroskopie erreichen, indem wir mit Hilfe spezifischer Antikörper Makromoleküle im Inneren der Zelle und an Zellmembranen aufspüren konnten. Die Entwicklung komplexer katalysierter Signal-Amplifikations-Systeme (CSA-Tyramide-Immunogold) macht es möglich, kleinste Proteineinheiten (Epitope) mikroskopisch

One of the best investigated carriers is the P-glycoprotein which uses ATP as a source of transport energy. The transporter is able to adapt its molecular shape perfectly to the various toxic molecules to be transported. Our research group discovered that tumor cells of livers in flatfish, living in highly contaminated areas of the sea, have adapted themselves to the toxic environment by use of this p-gp transporter. Such cells have an enormous growth advantage in comparison to normal cells which die of toxic poisoning, and can become large malignant carcinomas.

During 1999, we made relevant technical progress in the detection of macromolecules inside of cells and at cell membranes with specific antibodies using immunocytochemistry at the light and electronmicroscopical level. The development of catalysed signal amplification systems with tyramide and immunogold facilitated the detection and visualisation of smallest protein entities (epitopes), (Figure 13) in the hepatopancreas of the shore crab Carcinus maenas. This new tool delivers essential information on the sites of macromolecule localisation in specific cell types (blister cells) and at cell organelles (lysosomes) and their function.

By use of molecular biological techniques we can analyse the genetic code of various multidrug transporters (P-gp, MRP, LRP, GST) and compare these evolutionary very old proteins of mussels, crabs and fish with those of humans. We recently discovered various types of transporters in mussel and fish such as P-gp, the typical drug transporter, which is to 70–80 % identical to our human counterpart. We are thus beginning to trace million year old survival mechanisms in marine animals.



sichtbar zu machen, wie auf Abbildung 13 in der Mitteldarmdrüse der Strandkrabbe zu sehen ist. So weiß man genau, in welchen Zelltypen und an welchen Zellorganellen (hier Lysosomen) bestimmte Makromoleküle vorkommen und kann Rückschlüsse auf besondere Aufgaben der Zellen ziehen.

Mit molekularbiologischen Techniken analysieren wir den genetischen Code von verschiedenen Giftpumpen (P-gp, MRP, LRP, GST), um herauszufinden, wieviel Ähnlichkeiten diese evolutionsbiologisch sehr alten Proteine in Muscheln, Krebsen und Fischen zum Menschen haben. Wir haben bereits verschiedene Typen von Transportern in Muscheln und Fischen wie P-gp entdeckt, den typischen ‚drug‘-Transporter, der zu 70 – 80 % mit unserem humanen Gegenstück identisch ist.

Somit sind wir Überlebensmechanismen der Meerestiere auf der Spur, die Jahrtausende alt, jedoch erst seit kurzem bekannt sind.

Abb. 13: Leber (Hepatopankreas) der Strandkrabbe, die in einen Spezialkunststoff für die Elektronenmikroskopie eingebettet wurde. Die primären Antikörper gegen Proteineinheiten des ‚multidrug transporter‘ werden anhand von komplementären und mit Gold markierten sekundären Antikörpern sichtbar gemacht. Mit einer Silberhülle, die wir in dieser einfachen Signal-Amplifikation um das Goldkorn legen, kann man die Transporter-Moleküle sogar schon im Lichtmikroskop erkennen. Wie wir hier erstmalig entdeckten, sind die ‚multidrug transporter‘ in spezialisierten Zellen nicht nur an der Zelloberfläche zu finden (großer Pfeil), sondern auch in der Membran der zellulären Mülleimer, den Lysosomen (kleine Pfeile).

Fig. 13: Shore crab liver (hepatopancreas) embedded in a special resin for electronmicroscopy. The primary antibodies for ‚multidrug transporter‘ epitopes were detected using complementary and gold labeled secondary antibodies. The ‚transporter‘ molecule is visible at the light microscopical level when a catalysed signal amplification system is used. As we discovered for the first time the multidrug transporters in specialised cells are not only on the cell surface (large arrows) but also in the cell organelles’ membranes – the lysosomes (small arrows).

Nährstoffbelastung des Wattenmeeres und der angrenzenden Küstengewässer

Justus van Beusekom, Ragnhild Asmus, Victor de Jonge (RIKZ, NL), Eike Rachor

Heute wird im Wattenmeer und in den angrenzenden Küstengewässern etwa zwei- bis dreimal mehr organische Substanz produziert und umgesetzt als vor 40 Jahren. Damit hat sich auch die Gefahr negativer Folgen vervielfacht, beispielsweise das Auftreten von Sauerstoffmangel in tieferen Gewässern, die Bildung nahezu organismenfreier ‚Schwarzer Flecken‘ am Wattboden, die Massenentwicklung von Grünalgen oder das Verschwinden der Seegraswiesen. Obwohl die Phosphatkonzentrationen seit Mitte der achtziger Jahren zurückgegangen sind, ist der Umsatz organischer Substanz nach wie vor hoch. Ursache der sogenannten Eutrophierung der Wattgebiete ist die gestiegene Stickstoffkonzentration in der Nordsee. Die Langzeitmessungen der ‚Biologischen Anstalt Helgoland‘ zeigen immer noch zwei- bis dreifach höhere winterliche Nitratkonzentrationen in der Deutschen Bucht als in den sechziger Jahren. Stickstoff kommt vor allem über die Flüsse (aus der Landwirtschaft und kommunalen Abwässern) und über die Atmosphäre (Verbrennungsprozesse, Landwirtschaft) ins Meer.

Das Wattenmeer importiert organische Substanz

Das Wattenmeer ist ein heterotrophes Gebiet. Das heißt, es veratmet mehr Kohlenstoff als es selbst produziert. Kohlenstoffbilanzen des niederländischen Wattenmeeres und der Sylt-Rømø Bucht

Eutrophication of the Wadden Sea and adjacent coastal zone

Justus van Beusekom, Ragnhild Asmus, Victor de Jonge (RIKZ, NL), Eike Rachor.

At present about two to three times more organic matter is produced and turned over in the Wadden Sea and adjacent coastal zone than four decades ago. Concomitantly, the danger of negative eutrophication effects like anoxic deep water, the formation of ‘black spots’, mass occurrence of green algae or the disappearance of eelgrass beds has increased. Despite decreasing phosphate levels productivity and remineralisation proceed at a high level. Evidence exists that eutrophication is primarily caused by increased nitrogen concentrations. The time series of the ‘Biologische Anstalt Helgoland’ still show two to three-fold higher winterly nitrate levels than during the sixties. Most of the nitrogen in the coastal zone is imported via rivers and atmospheric deposition. In rivers, agriculture and municipal waste are the main sources. Combustion and agriculture contribute to the atmospheric deposition.

The Wadden Sea imports organic matter.

The Wadden Sea is a heterotrophic area: it remineralises more carbon than it produces. Carbon budgets of the Dutch and of the Sylt-Rømø Bight (northern Wadden Sea) suggest that at present about $100 \text{ g Cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ are imported from the adjacent North Sea. Due to the greater depth and better light conditions of the coastal zone, its phytoplankton produces large amounts of organic matter from

(nördliches Wattenmeer) zeigten, dass jährlich etwa 100 Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter in das Wattenmeer importiert werden. Diese zusätzliche organische Substanz stammt aus der angrenzenden Nordsee. Das Phytoplankton kann in dem im Vergleich zum Wattenmeer tieferen und klareren Küstenwasser mit Hilfe des Sonnenlichtes aus Kohlendioxid und Nährstoffen große Mengen organische Substanz produzieren. Ein Teil der produzierten Substanzen wird in das Wattenmeer eingetragen und dort zersetzt. Dadurch werden Nährstoffe freigesetzt, die zusammen mit den bereits vorhandenen Nährstoffen die hohe Produktivität des Wattenmeeres ermöglichen.

Die Nährstofffrachten der Flüsse steuern die Importbilanz

In der Nordsee hängt die jährliche Primärproduktion des Phytoplanktons im wesentlichen davon ab, wieviel Stickstoff zu Anfang der Frühjahrsblüte zur Verfügung steht. Im Küstenwasser beeinflussen die Nährstofffrachten der Flüsse die verfügbare Stickstoffmenge maßgeblich. Deswegen ist zu erwarten, dass in regenreichen Jahren mit hohen Stickstofffrachten die Nordsee mehr organische Substanz produziert und das Wattenmeer mehr davon importiert als in trockenen Jahren mit niedrigen Stickstoffeinträgen. Unterschiede im Jahreszyklus der Nährstoffe im Wattengebiet könnten Auskunft darüber geben, ob viel oder wenig organische Substanz importiert und zersetzt wurde. Als Maß für die Remineralisierung eignet sich Ammonium. Monatliche Nährstoffdaten aus dem niederländischen Wattenmeer von 1977 bis 1997 zeigten, dass in Jahren hoher Stickstofffrachten

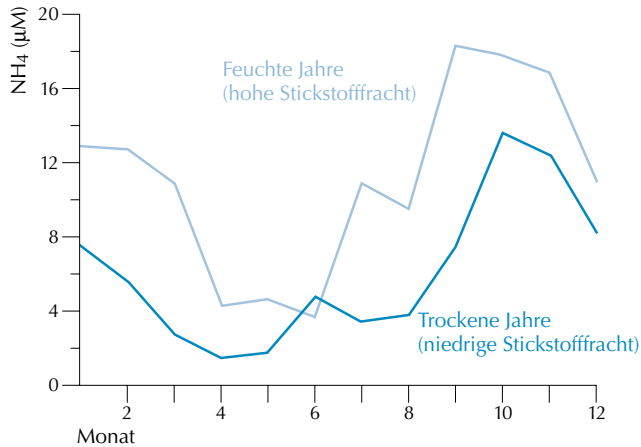
light energy, carbon dioxide and nutrients (primary production). Part of this organic matter is imported into the Wadden Sea, where it is degraded. Both nutrients released during remineralisation and local nutrient stocks support the high Wadden Sea productivity.

Interannual variability of nutrient dynamics

The annual primary production in the North Sea depends mainly on the amount of nitrogen available prior to the spring bloom. In the coastal zone, the available amount of nitrogen is determined by riverine input. Therefore, it can be expected that in wet years with high nitrogen loads, the North Sea produces more organic matter and exports more to the Wadden Sea than during dry years with a low nitrogen load. Interannual differences in the Wadden Sea seasonal cycle of nutrients might reveal information on the amount of remineralised organic matter. As a measure of remineralisation we used ammonium. Monthly nutrient data from the Dutch Wadden Sea during 1977–1997 showed that in wet years (high nitrogen load via Rhine and Maas) more ammonium is released and therefore more organic matter is remineralised than in dry years (Figure 14).

Long-term changes in nutrient concentrations and productivity

In the Sylt-Rømø Bight (northern Wadden Sea) both primary production and remineralisation doubled (Figure 15). Also in the Dutch Wadden Sea, primary production doubled from the sixties to the early eighties and remained on a high level since.



mehr Ammonium freigesetzt wurde als in Jahren mit niedrigen Frachten (Abbildung 14).

Langfristige Folgen der veränderten Nährstoffkonzentrationen

In der Sylt-Rømø Bucht (nordfriesisches Wattenmeer) hat sich sowohl die Primärproduktion als auch die Remineralisierungsintensität verdoppelt (Abbildung 15). Auch im niederländischen Wattenmeer hat sich die Primärproduktion von den sechziger Jahren bis Anfang der achtziger Jahre verdoppelt und bleibt seitdem auf einem hohen Niveau.

Die Eutrophierung des Wattenmeeres und der angrenzenden Küstenzone hat die Lebensgemeinschaften stark verändert. In der Deutschen Bucht gab es gelegentlich große Gebiete mit Sauerstoffmangel, so dass Bodentiere starben. Im allgemeinen nahm aber die Biomasse des Zoobenthos zu, und es gab eine Verschiebung hin zu kleinen, opportunistischen Arten. Ähnliche Änderungen gab es auch im Wattenmeer. Seit den siebziger Jahren vermehrten sich die Grünalgen infolge des hohen Nährstoffangebots in manchen Jahren

Abb. 14: Jahresgang des Ammoniums im niederländischen Wattenmeer. Die Grafik zeigt zwei Situationen: trockene Jahre mit niedrigen Stickstofffrachten des Rheins und der Maas (blaue Linie) und regenreiche Jahre mit hohen Stickstofffrachten in Rhein und Maas (hellblaue Linie). Die vermehrte Freisetzung von Ammonium in Jahren mit hohen Stickstofffrachten wird besonders im Herbst deutlich. Dann ist das Phytoplankton wegen der schlechten Lichtbedingungen nicht mehr imstande, zu wachsen und Nährstoffe aufzunehmen, wohingegen der Wattboden noch Ammonium nachliefert.

Fig. 14: Annual cycle of ammonium in the Dutch Wadden Sea. The graph shows two situations: dry years with a low nitrogen load of the rivers Rhine and Maas (blue line) and wet years with a high nitrogen load (light blue line). The increased ammonium release is best observed in autumn. At that time, adverse light conditions prevent phytoplankton growth and nutrient consumption whereas ammonium release from the Wadden Sea sediments still continues.

The eutrophication of the Wadden Sea and adjacent coastal zone had a large impact on the benthic communities. In the deeper parts of the German Bight, anoxic conditions occurred that whiped out most benthic life. In general, however, the zoobenthos biomass increased and shifted to small, opportunistic species. Similar changes were observed in the Wadden Sea. Since the seventies mass developments of green macroalgae were observed more often, presumably due to increased nutrient availability. Eelgrass distribution in the intertidal zone was strongly reduced.

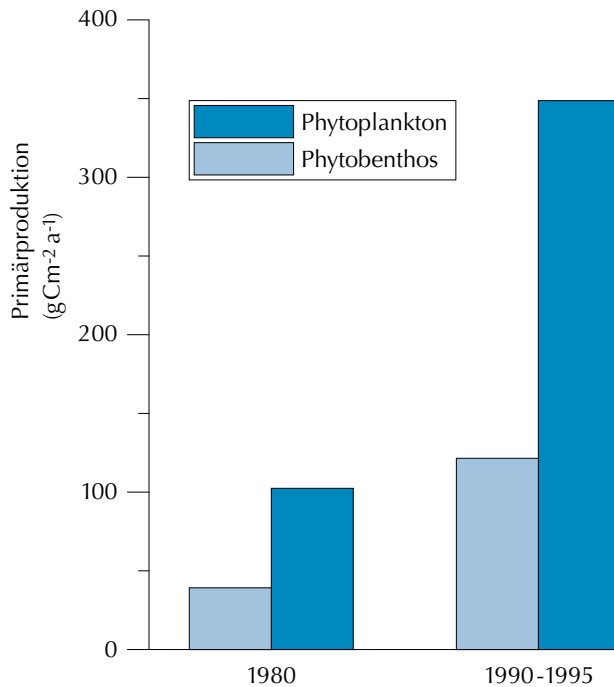


Abb. 15: Die jährliche Primärproduktion im Königshafen (Sylt-Rømø Bucht, nordfriesisches Wattenmeer) in den Jahren 1980 und 1990–1995.

Fig. 15: Annual primary production in Königshafen (Sylt-Rømø Bight, northern Wadden Sea) in 1980 and in 1990–1995.

massenhaft, und die Seegräser gingen auf den Gezeitenflächen stark zurück.

Zwei Themen tauchen in der Eutrophierungsdebatte immer wieder auf: Die vom Menschen verursachten Wirkungen von der natürlichen Variabilität zu unterscheiden und die Frage, ob Phosphat oder Stickstoff die Eutrophierung steuern. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die jährlichen Unterschiede der Nährstoffdynamik im Wattengebiet zum Teil mit den Nährstofffrachten der Flüsse zusammenhängen. Trotz abnehmender Phosphatkonzentrationen gibt es keine Hinweise auf eine verringerte Eutrophierung.

In the eutrophication debate two items recur: man-made changes versus climatic variability and phosphorus versus nitrogen limitation. Our investigations show that part of the interannual variability in the nutrient dynamics of the Wadden Sea is caused by riverine nutrient discharge which is related to precipitation. Despite decreasing phosphorus concentrations there are no signs of decreased eutrophication levels.

Magnesium als Faktor für die Verbreitung von Krebsen in den Polarmeeren

Je höher die Magnesiumkonzentration in der Blutflüssigkeit, desto niedriger die Bewegungsaktivität der Tiere

Franz Josef Sartoris, Markus Frederich, Hans-Otto Pörtner

Alle energieübertragenden biochemischen Reaktionen sind von der Anwesenheit von Magnesium abhängig. Eine ausreichende Versorgung mit diesem Mineralstoff ist deshalb besonders wichtig. In hoher Dosierung führt Magnesium allerdings zur Entspannung der Muskulatur und letztlich zur muskulären Inaktivität.

Im Meer ist diese Situation gegeben: Hier liegt Magnesium in Konzentrationen vor, die ausreichen würden, die Muskelaktivität der Meerestiere herabzusetzen. Um dem entgegenzuwirken, haben die aktiveren Meerestiere, wie Fische und auch die höher entwickelten Krebsarten wie Zehnfüßer (Decapoda), Asseln (Isopoda) und Flohkrebse (Amphipoda), Mechanismen entwickelt, die der Ausscheidung von überflüssigem Magnesium dienen. In der Gruppe der decapoden Krebse ist das Aktivitätsniveau der einzelnen Arten sogar eng mit der Fähigkeit zur aktiven Magnesiumregulation verknüpft: je höher die Magnesiumkonzentration in der Blutflüssigkeit, desto niedriger ist die Bewegungsaktivität der Tiere. Es verwundert daher nicht, dass die schwimmenden decapoden Krebse (z. B. Garnelen) ebenso wie die aktiven Flohkrebse und Asseln die Magnesiumkonzentration in ihrer Blutflüssigkeit deutlich unter der des umgebenden Meerwassers halten, während die weniger aktiven,

Magnesium as a factor limiting the distribution of polar crustaceans

The higher the magnesium concentration in the haemolymph the less active are the animals

Franz Josef Sartoris, Markus Frederich, Hans-Otto Pörtner

All energy-transferring biochemical reactions depend on the presence of magnesium, which must therefore be available in sufficient quantities. However, high magnesium concentrations lead to muscular relaxation and finally to muscular inactivity.

Such is the situation in the ocean, where the magnesium concentration is sufficient to reduce the marine organisms' muscular activity. The more active marine organisms such as fish, and the more advanced crustaceans like decapods, isopods and amphipods have developed a mechanism for the excretion of excess magnesium. Within the decapods the activity level of the different species is closely related to their active magnesium regulation capacity; the higher the magnesium concentration in the haemolymph the less active are the animals. Consequently, it is not surprising that the swimming decapods (e.g. shrimp), the active amphipods and isopods can regulate the magnesium concentration in their haemolymph and maintain it at a significantly lower level than that of the ambient sea water. In contrast the less active crabs from the seabed have either no or a much weaker magnesium gradient to the surrounding water.

The uptake of magnesium from the seawater is relatively temperature independent, whereas active excretion into a more concentrated medium is

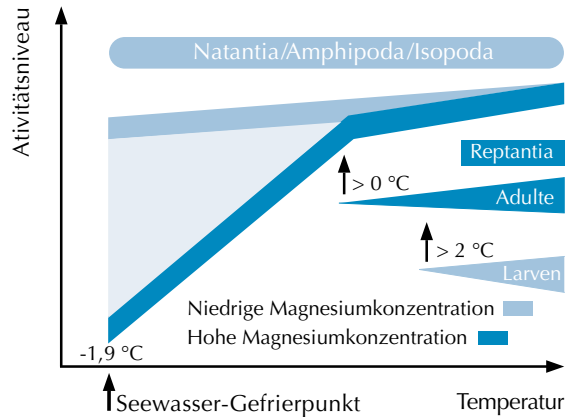


Abb. 16: Kältetoleranz von Zehnfüßern, Asseln und Flohkrebse unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Aktivitätsniveaus. Die Aktivität ist besonders bei bodenlebenden Krebsen (Reptantia) mit hoher extrazellulärer Magnesiumkonzentration herabgesetzt. Das schraffierte Gebiet deutet die ökologische Nische an, die durch die Abwesenheit der bodenlebenden Zehnfüßer entsteht und die von Garnelen, Asseln und Flohkrebse besetzt wird. Larven scheinen gegen hohe Magnesiumkonzentrationen empfindlicher zu sein als erwachsene Tiere.

Fig. 16: The lower temperature limits of decapod, amphipod and isopod crustaceans in relation to the temperature dependence of the scope for activity. The decrease in scope for activity with decreasing temperature is more pronounced in crustaceans (Reptantia) with high extracellular magnesium levels. The dashed area indicates the ecological niche, which emerges from the absence of reptant decapods and is occupied by natantia, amphipods and isopods. Larvae may be even more sensitive to high magnesium levels than adults.

bodenlebenden Krebsarten entweder keinen oder aber einen wesentlich geringeren Magnesiumgradienten zum Meerwasser aufbauen.

Der Einstrom von Magnesium aus dem Meerwasser ist ein relativ temperaturunabhängiger Prozess, während die aktive Ausscheidung, die gegen einen Konzentrationsgradienten erfolgen muss, mit abnehmender Temperatur immer mehr gedrosselt wird. Niedrige Temperaturen erschweren also die Magnesiumregulation.

Hinzu kommt, dass die Magnesiumwirkung aus bisher noch nicht ganz geklärten Ursachen mit abnehmender Temperatur zunimmt. Dieser Effekt wird vor allem bei Temperaturen unter 2 bis 3 °C wirksam. Für Tiere mit einem hohen Magnesiumgehalt in der Körperflüssigkeit könnte sich daraus eine grundsätzliche Schwierigkeit bei der Besiedlung sehr kalter Gewässer ergeben. Der mögliche verbreitungsbestimmende Einfluss der Magnesium-

slowed down at lower temperatures. As a corollary, low temperatures make magnesium regulation more difficult.

In addition and for as yet unknown reasons magnesium becomes more effective with decreasing temperature and particularly so at temperatures below 2–3 °C. This could represent a basic problem

konzentration sollte daher in den Polarmeeren mit ihren konstant niedrigen Temperaturen am ehesten wirksam sein. In der Tat fehlen in den antarktischen Gewässern die sonst dominanten bodenlebenden decapoden Krebse fast völlig. Ihre Rolle wird überwiegend von Flohkrebse und Asseln eingenommen. (Abbildung 16). Innerhalb der Gruppe der decapoden Krebse haben nur einige Garnelenarten die Antarktis besiedelt. Die gleiche Artenverteilung, wenn auch mit weniger starkem Gradienten, findet man auch in der Arktis. Unterhalb von -1°C sind auch hier die Garnelen die einzigen Vertreter der decapoden Krebse.

In beiden Polarmeeren sind demnach Krebse mit hohem Magnesiumgehalt dort nicht vorhanden, wo sehr tiefe Temperaturen vorliegen. Unsere Untersuchungen an bodenlebenden decapoden Krebse zeigen eindeutig, dass das Aktivitätsniveau der Tiere durch die Magnesiumkonzentration moduliert werden kann. Wird Magnesium experimentell reduziert, so steigt die Spontanaktivität der Tiere. Die Aktivitätssteigerung ist mit einem Anstieg der Herzfrequenz und des Sauerstoffverbrauchs verbunden. Die Steigerung gegenüber den Kontrolltieren ist um so höher, je niedriger die Temperatur ist und wird vielfach erst unterhalb von $2-3^{\circ}\text{C}$ sichtbar.

Damit haben wir nachgewiesen, dass die Inaktivität vieler bodenlebender Krebse mit der Magnesiumkonzentration korreliert ist und dass diese Wirkung temperaturabhängig ist. Durch Reduzierung des Magnesiums konnte die Aktivität der Tiere auch bei den niedrigsten in den Polarmeeren vorherrschenden Temperaturen aufrechterhalten werden.

in the colonization of very cold regions by animals with high haemolymphatic magnesium concentrations. This biogeographical restrictant should therefore be most effective in constantly cold polar regions. This is true of Antarctic waters, where the otherwise dominant bottom living decapods are virtually absent. Their role is taken over by amphipods and isopods. (Figure 16) Only a few decapod crustaceans have colonized the Antarctic. A similar situation though with a weaker gradient also occurs in the Arctic. Here shrimps are the sole representatives of the decapod crustaceans in areas of -1°C and below.

Crustaceans with high magnesium concentrations are not found in either polar seas. Our research using benthic decapods shows definite differences in the animals' activity, which can be regulated by magnesium levels. The animals are more active in waters with experimentally lowered magnesium concentrations. This increase in activity is coupled to increases in both heart beat and oxygen utilization. When compared with control animals this increase is greater the lower the temperature and is often first noticeable at temperatures of $2-3^{\circ}\text{C}$.

We could thus show that the activity of benthic crustaceans is correlated to magnesium concentration and that this is also temperature dependent. Only if magnesium levels are reduced can activity be maintained at extremely low temperatures as found in polar areas.

Gebirge unter dem antarktischen Eis entdeckt

Daniel Steinhage, Uwe Nixdorf, Uwe Meyer,
Heinrich Miller

Unter bis zu 3500 Meter dickem Eis wurde in Dronning Maud Land in der Antarktis ein Gebirge von den Ausmaßen der Alpen entdeckt. Mit Hilfe der Polarflugzeuge des AWI konnten in dem bisher unerforschten Gebiet die Eisdicke und die innere Struktur des Eises mittels eines speziell angepassten elektromagnetischen Reflexionssystems (EMR) ermittelt werden. Bereits seit 1994 wird es zur Bestimmung der Mächtigkeit polarer Eiskörper eingesetzt. Träger ist das Polarflugzeug ‚Polar 2‘, eine Dornier 228 mit Skifahrwerk. Die neuen Ergebnisse haben weitreichende Auswirkungen für die Berechnung der gesamten antarktischen Eismasse. Bisher war man in diesem Gebiet von einem flachen Felsbett ausgegangen.

Die erarbeiteten Daten sind eine wesentliche Grundlage für die Auswahl eines zweiten Standortes für das europäische Tiefbohrprojekt EPICA (‘European Project for Ice Coring in Antarctica’). In diesem Projekt sollen zwei tiefe Eiskerne erbohrt werden, um die Geschichte der Klimaentwicklung zu rekonstruieren. Die Kerne sind aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung ein ideales Archiv. Lufteinschlüsse im Eis enthalten sogar Proben der Paläoatmosphäre. Von besonderem Interesse ist, ob Klimawechsel auf der Nord- und der Südhalbkugel gleichzeitig auftreten und ob Klimaschwankungen die gesamte Antarktis zeitgleich betreffen. Bereits 1997/98 wurde daher mit einer Bohrung im

Discovery of a mountain range under the ice

Daniel Steinhage, Uwe Nixdorf, Uwe Meyer,
Heinrich Miller

Under thick, up to 3500 meter ice a mountain range has been discovered in Dronning Maud Land, Antarctica, which is of size of the Alps. With help of the polar aircraft of the AWI the ice thickness and internal structure of the ice sheet has been investigated in a hitherto unexplored region, using an especially customized radio echo sounding (RES) system. Since 1994 the AWI uses the RES system for the determination of polar ice caps. Carrier is the polar aircraft ‘Polar 2’, a Dornier 228 equipped with ski undercarriage. The results have a lasting effect on the calculation of the entire ice mass of Antarctica. Up to now a flat bed in this area has been assumed.

The data presented are essential for the selection of the second location within the European deep drilling project EPICA (‘European Project for Ice Coring in Antarctica’). Within this project two deep ice cores should be drilled in order to reconstruct the climatic evolution. Ice cores are an ideal archive due to their high temporal resolution. Enclosures in the ice contain samples of the paleo atmosphere. Of special interest are the questions whether climatic changes are in phase on northern and southern hemisphere and whether climatic fluctuations affect whole Antarctica simultaneously. Already in 1997/98 a drilling was initiated at Dome Concordia (123.1°E / 75.15°S) south of the Indian Ocean. A second drilling in Dronning Maud Land shall enable a comparison.

pazifischen Sektor der Antarktis, auf Dome Concordia (123,1° O / 75,15° S), begonnen. Eine zweite Bohrung in Dronning Maud Land soll nun einen Vergleich ermöglichen.

Eine ungestörte Ablagerung des jährlichen Schneezutragts erzeugt eine parallele Schichtung der Eiskappe. Dies ist wichtig bei der Auswahl eines geeigneten Ortes für eine tiefe Eiskernbohrung: Bohrungen in Grönland haben gezeigt, dass Bodenunebenheiten, abrutschende Eismassen und Schmelzprozesse zu Faltungen im untersten Bereich des Eiskörpers führen können. Solche Bereiche sind ungeeignet, da hier die zeitliche Abfolge nicht mehr eindeutig ist. Im unteren Abschnitt können tiefgehende Eiskerne nur noch durch Berechnungen datiert werden. Dies erfordert nicht nur eine ungestörte Schichtung des Eises, sondern auch die Kenntnis seiner Fließgeschwindigkeit und -geschichte. So hat 200 000 Jahre altes Eis mit einer Fließgeschwindigkeit von einem Meter pro Jahr beispielsweise bereits 200 Kilometer zurückgelegt.

1994/95 wurde mit der Kartierung des Gebietes zwischen dem Filchner Schelfeis und 20° O sowie südlich des Randgebirges bis etwa 77° S begonnen. Vereinzelt konnten Messflüge bis 80° S durchgeführt werden. Um einen geeigneten Standort zu finden, wurden in insgesamt fünf Südsommern EMR-Messungen im westlichen und zentralen Dronning Maud Land durchgeführt, einer Fläche, die etwa dreimal so groß ist wie die Bundesrepublik Deutschland. Die Länge aller Flüge aneinandergereiht würde ausreichen, um mehr als zweimal die Erde zu umrunden.

An undisturbed sedimentation of the yearly snow accumulation generates a parallel layering of the ice cap. This is important for the determination of a suitable location for a deep ice core drill site. Deep drillings in Greenland have revealed that a bumpy bed, sliding ice masses and basal melting processes could lead to folding within the lowest part of the ice sheet. Such sections are not suitable because here the temporal sequence is no longer well-defined. The lower part of deep ice cores can only be dated by modelling. This requires not only an undisturbed layering of the ice sheet, but also the knowledge of its flow velocity and flow history. Assuming for instance a flow velocity of one meter per year, 200 000 year old ice originates 200 kilometer further upstream.

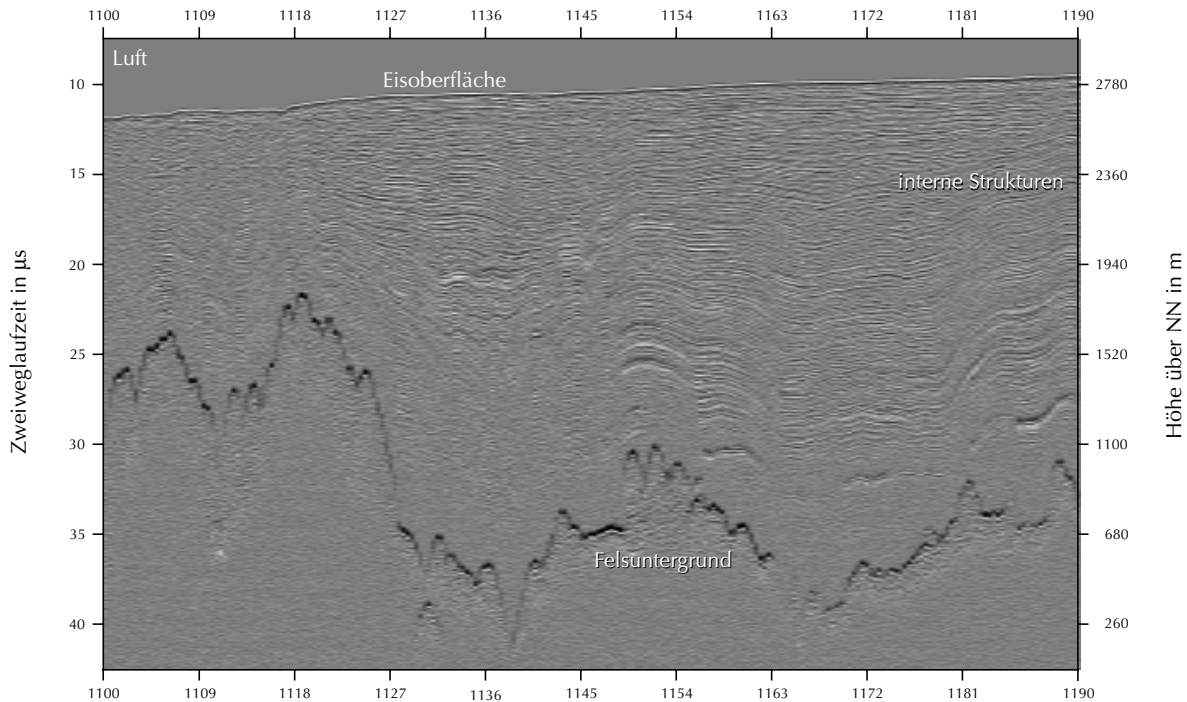
In austral summer 1994/95 the mapping started of an area between Filchner Schelfeis and 20° E as well as south of the coastal mountain range to approximately 77° S. Some flights could be extended as far as 80° S. In order to find a suitable location in central and western Dronning Maud Land, an area has been investigated three times as big as Germany during the last five austral summers. All flight tracks put in a row would be sufficient to go two times around the earth.

Figure 17 shows a 90 kilometers long section of a RES profile revealing clearly the discovered mountain range. The upper surface, the mountainous subsurface and the internal structure of the ice sheet is clearly visible. The layering is regular and follows the subglacial topography. The ice thickness varies between 900 and 2450 meters. The determined ice thicknesses along the flight tracks

73° 32,9' S
1° 12,9' W

Länge in km

74° 20,7' S
2° 00,5' W



Länge in km

Abb. 17: Dieses EMR-Profil (elektromagnetische Reflexion) zeigt einen Ausschnitt aus dem südlichen Rand des Gebirges. Dargestellt sind die Höhe der Eisoberfläche und der Eisunterseite bezogen auf NN. Deutlich erkennbar der Felsuntergrund und zahlreiche innere Horizonte im Eis, die sich über das gesamte Profil verfolgen lassen.

Fig. 17: RES section (Radio Echo Sounding) of a profile from the southern edge of the mountain range. The heights of surface and subglacial topography are referenced to sea level. Clearly visible are the bed and numerous internal horizons in the ice, which can be traced along the whole profile.

Die Abbildung 17 zeigt einen 90 Kilometer langen Ausschnitt eines EMR-Profiles, auf dem deutlich das neuentdeckte Gebirge zu sehen ist. Der Verlauf der Oberfläche, die gebirgige Eisunterseite und die Strukturen im Eis sind gut zu erkennen. Die Schichtung ist regelmäßig und zeichnet das Relief des Felsuntergrundes nach. Die Eismächtigkeit schwankt zwischen 900 und 2450 Metern. Die entlang der Flugrouten ermittelten Eismächtigkeiten lassen sich auf die Fläche interpolieren und als Isolinienkarten oder als dreidimensionale Ansichten darstellen. So sind in der Abbildung 18 die Topographie (übersichtshalber angehoben) und die Eisunterseite räumlich dargestellt. Die Eisoberfläche reicht örtlich in Höhen bis zu 3600 Meter. Der Felsuntergrund unter dem Eis liegt sowohl über als auch unter dem Meeresspiegel. Das Meeresniveau ist durch den Übergang der Farbskalierung deutlich zu erkennen: Die grün eingefärbten Bereiche liegen unter Normal Null (NN), die gelbbraunen darüber. Nicht ersichtlich in dieser Darstellung sind die eisfreien und bis zu 2900 Meter hohen Bergspitzen des Gebirges im Norden. Anhand der neuen Daten konnte auch erstmals die Ausdehnung des Gebirges nach Süden bestimmt werden: Von Ost nach West beträgt sie circa 1000 und in Nord-Süd-Richtung rund 200 Kilometer. Der Höhenunterschied beträgt mehr als 1500 Meter. Dies ist mit den Alpen vergleichbar.

have been interpolated onto a grid and can be presented as contour plots or threedimensional views. Figure 18 shows the surface topography (uplifted for clarity) and the subglacial topography as a threedimensional view. The ice surface is in some places up to 3600 meters above sea level. The subglacial bed is both above and below sea level. Sea level is clearly indicated by the colour scale: The green coloured areas are below sea level, the yellow-brown parts are above sea level. Not visible in this figure are the ice free summits, up to 2900 meters high, of the mountains. Furthermore, based on the new data, the extention of the mountain range could be evaluated for the first time: In East-West direction approximately 1000 kilometers, in North-south direction about 200 kilometers. The difference in height exceeds more than 1500 meters. This is comparable with the Alps.

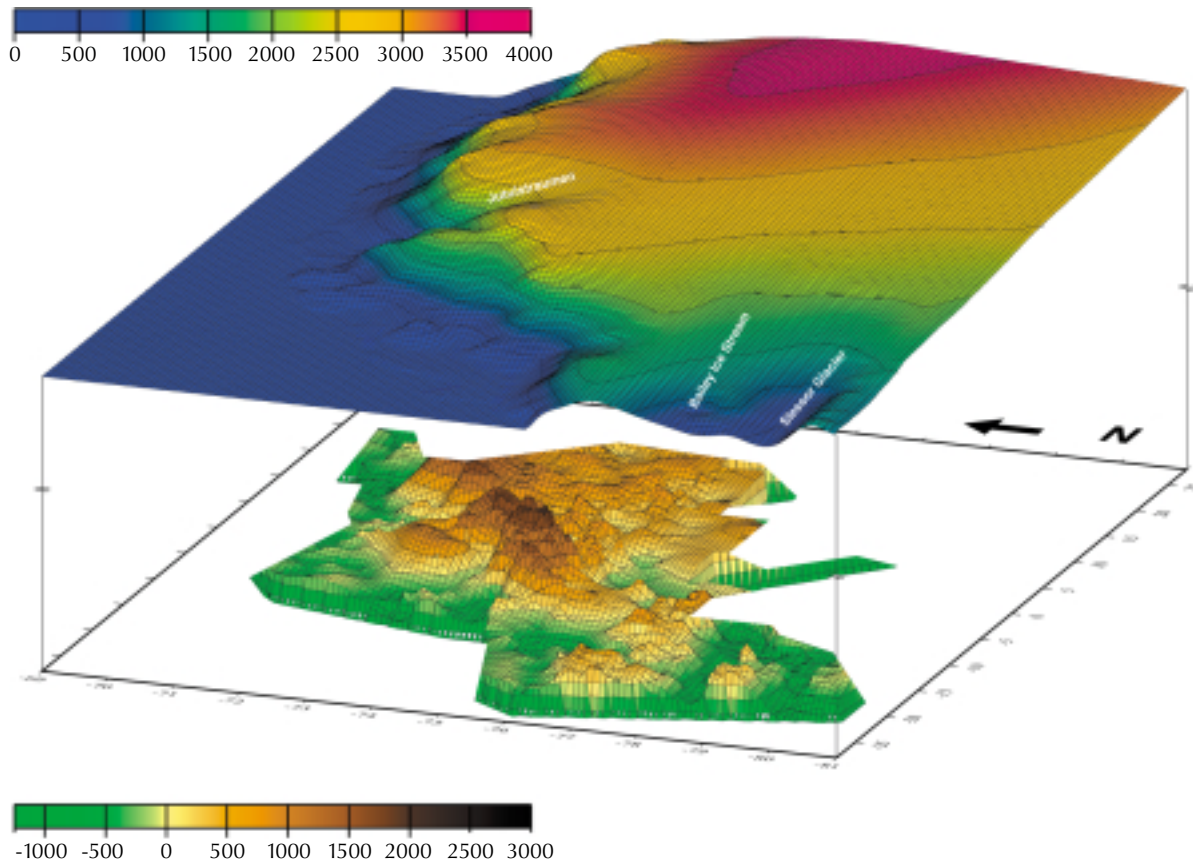


Abb. 18: Dreidimensionale Ansicht des zentralen und westlichen Dronning Maud-Landes aus Westsüdwest, 45-fach überhöht. Die Topographie wurde der Übersicht halber abgehoben. Darunter das Relief der Eisunterseite. Der Farbwechsel von gelb nach grün kennzeichnet die Meereshöhe.

Fig. 18: Threedimensional view of central and western Dronning Maud Land from west-south-west, vertical exaggeration 45 times. The surface topography has been uplifted for clarity. Below the subglacial bed, the change from yellow to green indicates sea level.

Seesedimente Ostgrönlands als Zeugen von Klimaschwankungen und veränderten Meeresströmungen

Bernd Wagner, Martin Melles, Holger Cremer,
Hans-W. Hubberten

Sedimentablagerungen in Seen sind aufschlussreiche Archive der Klima- und Umweltbedingungen vergangener Zeiten. In den Eisrandgebieten Grönlands spiegeln sie mit hoher zeitlicher Auflösung die regionale Entwicklung seit dem Gletscherrückzug am Ende der letzten Eiszeit wider.

In Sedimentkernen, die während der ‚Polarstern‘-Expedition ARK X/2 aus mehreren Seen Ostgrönlands gewonnen wurden, erwies sich unter anderem die Menge des abgelagerten biogenen Opals als geeignet, um die Temperaturentwicklung im Holozän zu rekonstruieren. Da Opal biologischen Ursprungs zum größten Teil von Kieselalgen gebildet wird, spiegelt seine Konzentration im Sediment die jeweilige, von der Temperatur abhängige Bioproduktivität des Sees wider. Dies wird durch einen Vergleich der Sedimente aus dem Basalt-See mit den Daten grönländischer Eiskerne deutlich: Die Opalgehalte zeigen ganz ähnliche Schwankungen wie Temperaturdaten, die aus der GRIP-Eisbohrung vom Zentrum des grönländischen Eisschildes rekonstruiert wurden, und gleichen der Entwicklung der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse im nahegelegenen ‚Renland‘-Eiskern (Abbildung 19, 20). Die Übereinstimmung dieser Profile beweist die Verlässlichkeit von Seesedimenten als Klimaarchiv und zeigt, dass die damalige Klimaentwicklung in Zentral- und in Ostgrönland offenbar ähnlich ver-

Lacustrine sediments of East Greenland give evidence for changes in the climate and in the oceanic circulation pattern

Bernd Wagner, Martin Melles, Holger Cremer,
Hans-W. Hubberten

Lacustrine sediments are promising archives of the climatic and environmental conditions during the past. In the periglacial areas from Greenland they contain high-resolution information about the regional development since the glacial recession at the end of the last glaciation.

The amount of biogenic opal in lacustrine sediments recovered from several lakes of East Greenland during the Polarstern ARK X/2 expedition well reflects the Holocene temperature development. Because the biogenic opal is mainly formed by diatoms, its concentration pattern in the sediment mirrors the temperature dependent lake productivity. This is confirmed by a comparison between the concentration pattern of biogenic opal in the sediments of Basalt Lake and the data of adjacent Greenland ice cores. The changes in the opal content are similar to those of the reconstructed borehole temperatures of the GRIP ice core from the central ice sheet, and of the oxygen isotopic record from the adjacent Renland ice core (Figure 19, 20). The matching profiles indicate the reliability of lake sediments for the reconstruction of past climate, and a similar Holocene climatic development of central and eastern Greenland. An early Holocene warm period that lasted until ca. 5000 cal. yr BP

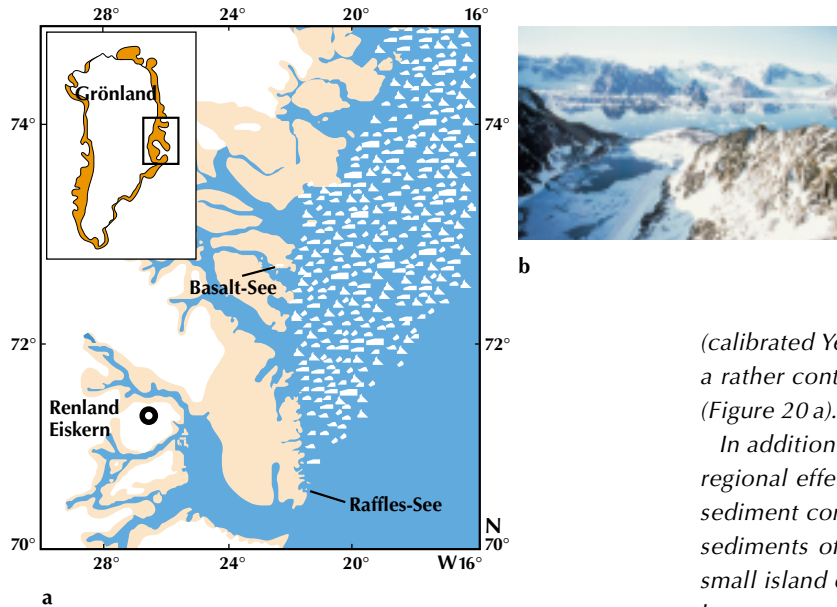


Abb. 19: (a) Karte von Ostgrönland mit der Position des Eiskerns, der sommerlichen Packeisbedeckung und den untersuchten Seen. (b) Kessel des Raffles-Sees (im Vordergrund) mit Blick auf das ostgrönländische Festland.

Fig. 19: (a) Map of East Greenland with the location of the ice core, summer sea-ice cover and the studied lakes. (b) Raffles Lake (foreground) with view to the East Greenland continent.

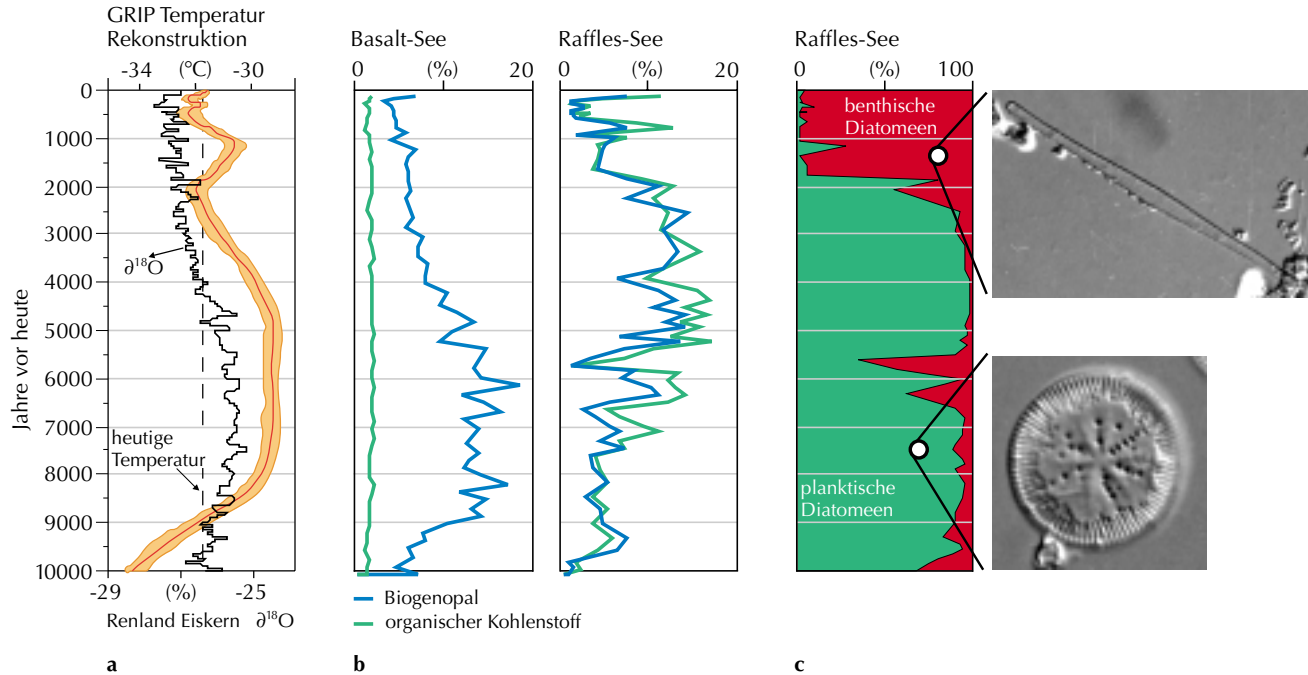
lief. Auf eine frühe Warmphase im Holozän, die bis ca. 5000 Jahre vor heute reichte, folgte bis vor ca. 100 Jahren eine fast kontinuierliche Abkühlung (Abbildung 20 a).

Neben der Temperatur können weitere, regionale Effekte die biogeochemische Zusammensetzung der Seesedimente beeinflussen. Ein Beispiel dafür ist der Raffles-See. Dieser auf einer kleinen Insel vor der Küste Ostgrönlands gelegene See ist von steilen, felsigen und teils schneebedeckten Hängen um-

(calibrated Years before present) was succeeded by a rather continuous cooling until ca. 100 cal. yr BP (Figure 20 a).

In addition to the temperature development other regional effects may influence the biogeochemical sediment composition. An example is given by the sediments of Raffles Lake. The lake, located on a small island offshore East Greenland, is surrounded by steep, stony and commonly snow-covered slopes (Figure 19 b). The Raffles Island is being strongly affected by the East Greenland Current, which transports cold polar waters southward along the coast of East Greenland (Figure 19 a).

In contrast to the sediments of Basalt Lake, those of Raffles Lake have higher organic carbon contents, and a carbon and opal maximum during the middle Holocene (Figure 20 b). This implies that the lake bioproductivity is not only governed by the temperature. Today, the Raffles Island is an important breeding site for thousands of seabirds. The bird excrements induce a high nutrient supply to the lake that leads to an increased bioproductivity and a high accumulation of organic matter. Thus, changing contents of organic carbon and opal in the sediments of Raffles Lake reflect the historical seabird settlement on the island, which



geben (Abbildung 19 b). Die Raffles-Insel liegt im direkten Einflussbereich des Ostgrönlandstromes, der kaltes Polarwasser und eine dichte Packeisdecke entlang der Küste Ostgrönlands nach Süden führt (Abbildung 19 a).

Anders als der Basalt-See zeigen die Sedimente des Raffles-Sees höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff und ein Maximum an Kohlenstoff und Opal im mittleren Holozän (Abbildung 20 b). Dies deutet auf eine hohe, nicht nur temperaturgesteuerte Bioproduktivität des Sees hin. Heute wird die Insel im Sommer von Tausenden von Seevögeln als Brutplatz genutzt. Vogelexkremente bewirken einen hohen Nährstoffeintrag, der zu einer verstärkten Bioproduktion und -akkumulation im See führt. Schwankungen der organischen Kohlen-

Abb. 20: Vergleich der aus dem GRIP-Eiskern rekonstruierten Temperaturen mit dem Verhältnis der Sauerstoffisotope im Renland-Eiskern (a). Gegenüberstellung der Gehalte an organischem Kohlenstoff und biogenem Opal in den Sedimenten der beiden Seen (b).

2000 Jahre vor heute veränderten sich die Diatomeengesellschaften im Raffles-See deutlich. Planktische Arten wurden von am Boden lebenden Formen abgelöst (c).

Fig. 20: Comparison between reconstructed temperatures from the borehole measurements of the GRIP ice core, the oxygen isotopic record of the Renland ice core and the concentrations of total organic carbon and opal in the sediments of Basalt and Raffles Lake (a, b). A distinct change from planktonic to benthic diatoms occurs at 2000 cal. Yr BP in the Raffles Lake sediment (c).

stoff- und Opalgehalte im Sediment spiegeln daher die Besiedlung durch Seevögel wider, die von klimatischen, aber auch von ozeanischen Faktoren abhängig ist. So müssen die Brutplätze für eine erfolgreiche Aufzucht der Jungvögel mindestens zwei Monate schneefrei sein, und nahrungsreiche Futtergebiete dürfen maximal 150 Kilometer entfernt liegen. Letztere finden sich vorzugsweise an den Eisrändern, wo sich ein Mosaik von Eisschollen und offenen Wasserflächen zeigt.

Die Zunahme der biogenen Ablagerungen im Raffles-See vor etwa 7500 Jahren (Abbildung 20b) deutet daher auf eine Abschwächung des Ostgrönlandstromes und ein Aufreißen der Eisdecke um die Insel hin. So konnte sie bei günstigen Klimabedingungen bis vor 2000 Jahren als Brutkolonie intensiv genutzt werden. Danach verschlechterten sich die Bedingungen für Seevögel durch eine Verstärkung des Ostgrönlandstromes, vermutlich aber auch durch eine generelle Abkühlung. Dies wird durch die veränderten Kieselalgenesellschaften in den Sedimenten des Sees bestätigt: Ein scharfer Wechsel von frei im Wasser schwebenden zu am Boden lebenden Arten deutet auf eine fast ganzjährige Vereisung hin (Abbildung 20c). Eine kurzzeitige Erwärmung gab es noch einmal zwischen 1000 und 500 Jahren vor heute. Anschließend führte die sogenannte ‚Kleine Eiszeit‘ zu einem fast vollständigen Rückgang der Brutkolonien bis vor 100 Jahren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sedimente der Seen an der Küste Ostgrönlands zeitlich hochaufgelöste Klimaarchive darstellen, darüber hinaus aber auch wertvolle Informationen über Veränderungen der Meeresströmungen liefern.

depends on climatic and oceanic factors. The seabirds for a successful nesting period require a minimum of two months of snow-free conditions at the breeding sites. In addition, they require adequate feeding areas in a maximum range of 150 kilometers, generally located at the ice edges, where ice floes alternate with open water areas.

The significant increase of biogenic accumulation in Raffles Lake at ca. 7500 cal. yr BP indicates a weakening of the East Greenland Current at a time of warmer climate than today. That led to snow-free nesting sites on Raffles Island and an opening of the closed sea-ice on its surrounding ocean. These conditions led to an intensive settlement of seabird breeding colonies until 2000 cal. yr BP. A subsequent restriction of the seabirds may be due to a strengthening of the East Greenland Current and a general cooling trend. Cooling is indicated by a change in the diatom assemblage in Raffles Lake. A distinct shift from planktonic to benthic species mirror a change from a semipermanent to a widely perennial lake-ice cover (Figure 20a). A short-term warming between 1000 and 500 cal. yr B.P. that created an amelioration of the breeding conditions on Raffles Island was followed by a rather complete disappearance of the seabirds during the Little Ice Age cooling about 100 years ago.

The results from Basalt and Raffles Lakes have shown that lake sediments from coastal areas of East Greenland can be high-resolution archives not only of the climate history, but also on changes of the oceanic circulation pattern.

Östliche Karasee bereits früh eisfrei

Ausdehnung der Weichselvereisung am
Eurasischen Kontinentalhang

Frank Niessen, Hans Peter Kleiber

Die Weichseleiszeit war die letzte größere Vereisung vor Beginn der gegenwärtigen Warmzeit. Weltweit dehnten sich damals Gletscher und Eiskappen aus, und das in den Eisschilden festgehaltene Wasser ließ den Meeresspiegel vor 60 000 Jahren um etwa 90 Meter absinken. Vor 20 000 Jahren lag dieser schließlich etwa 120 Meter unter dem Niveau von heute. Während dieses letzten glazialen Maximums reichte eine große Eiskappe über Skandinavien und den Schelf der Barentssee bis hinauf nach Spitzbergen. (Abbildung 21) Dies ist durch zahlreiche Untersuchungen belegt. Über die Ausdehnung des Eisschildes nach Osten, auf den Schelfen der Karasee, der Laptewsee bis hin zum eurasischen Kontinentalhang, weiß man dagegen wenig. Diese Gebiete, die östlichen eurasischen Schelfmeere und der arktische Ozean, sind durch das Meereis auch heute noch schwer zugänglich. Dennoch ist es besonders wichtig, ihre Vereisungsgeschichte genauer zu rekonstruieren, da Eisschilde die Zirkulation im Ozean und in der Atmosphäre beeinflussen und wesentliche Bedeutung für die Klimaentwicklung haben.

Wie lässt sich die Vereisung auf diesen Schelfgebieten geologisch nachweisen? Eisbewegungen auf den Kontinenten sind in der Regel durch typische Endmoränenrücken dokumentiert. Völlig anders sehen die Ablagerungen am Kontinentalhang zum arktischen Ozean aus: Wächst ein Eisschild auf dem Schelf bis an die Kante heran, werden

Early deglaciation in the eastern Kara Sea

Extent of Weichselian glaciations along
the Eurasian continental slope

Frank Niessen, Hans Peter Kleiber

The Weichselian ice age was the last period of major glaciations before the beginning of the present warmer interglacial. Glaciers and ice caps expanded earthwide. Trapping of freshwater in ice caps resulted in a sea level drop by 90 meters and 120 meters about 60 000 and 20 000 years ago, respectively. A lot of geological evidence implies that a large ice sheet covered Scandinavia and the shelf of the Barents Sea up to Spitzbergen during the last glacial maximum. (Figure 21) In contrast, little is known about the eastward extent of this ice cap on the shelf of the Kara and Lapew seas up to the Eurasian continental slope. These areas, including the eastern Eurasian shelf seas and the Arctic Ocean, are covered by sea ice and thus hardly accessible. Nevertheless, it is very important to investigate their glacial history, because ice caps have an influence on both oceanic and atmospheric circulation which introduce major forcing of climatic change.

What geological evidence can be used to reconstruct former shelf glaciation? In general, ice movement on continents are documented by typical push moraines. In contrast, glacial deposits along the continental slope of the Arctic Ocean are very different from moraines: When ice sheets approach the shelf break, large amounts of till are accumulated on the upper continental slope. They intercalate

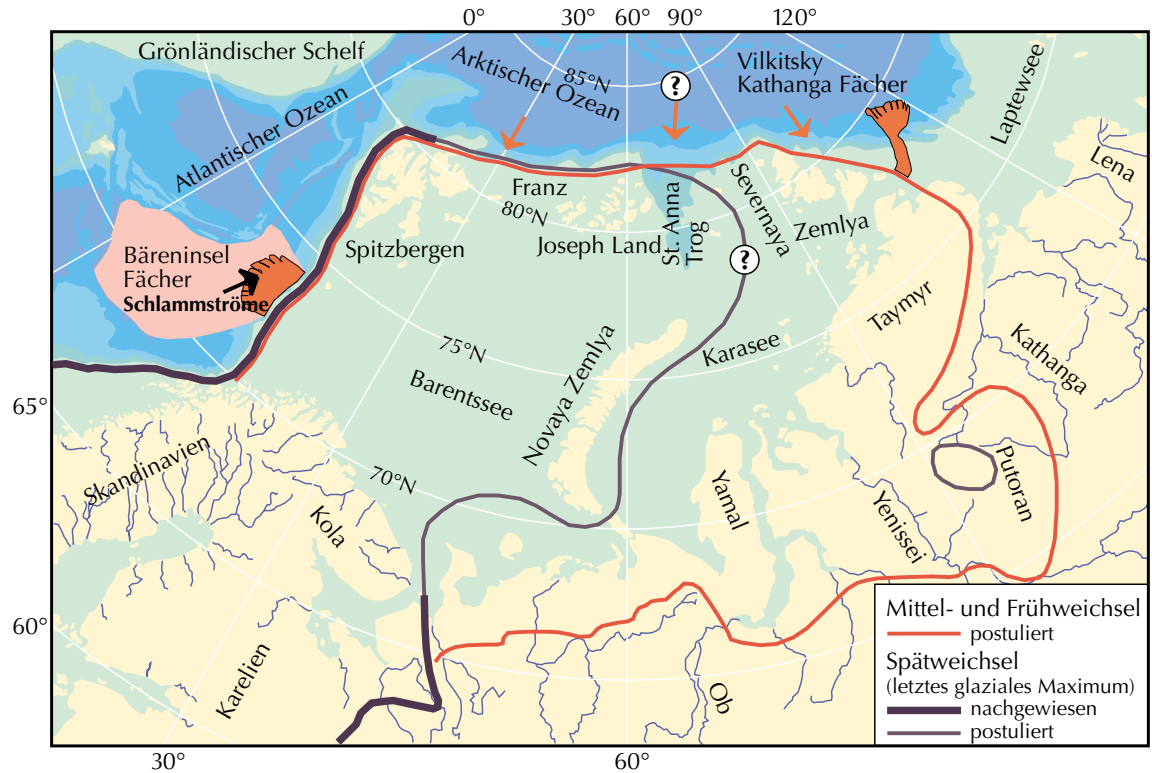


Abb. 21: Ausdehnung der Weichselvereisung auf dem eurasischen Schelf und eiszeitliche Schlammstromfächer am Kontinentalhang. Die Pfeile markieren weitere Schlammströme, deren Kartierung noch aussteht. Ein größerer Fächer wird vor dem St. Anna-Trog vermutet.

Fig. 21: Extent of Weichselian glaciations on the Eurasian shelf and related glacial debris-flow fans on the continental slope. Arrows mark additional locations with debris flows not mapped yet. A larger debris-flow fan is expected to be present in front of the St Anna Trough.

with fine-grained debris derived from glacial meltwater in front of ice sheets and develop debris flows which move down to water depth of 3000 meters. After ice retreat in interglacial times these debris flow deposits are covered by a relatively thin layer of marine sediments.

große Mengen Geschiebe am oberen Kontinentalhang abgelagert. Sie mischen sich mit feinkörnigen Partikeln aus dem Schmelzwasser des Eisschildes und entwickeln Schlammströme, die bis in 3000 Meter Wassertiefe reichen können. Daraus bilden sich vor dem Eisschild in der Tiefsee riesige Schlammstromfächer. Zieht sich das Eis im Interglazial zurück, werden sie von einer dünnen Schicht mariner Sedimente überdeckt.

Diese Schlammstromfächer lassen sich durch geoakustische Methoden, d. h. mit Hilfe von Schallwellen, die die Sedimente durchdringen, vom Schiff aus identifizieren. Im Nordatlantik, vor der Bäreninsel zwischen Norwegen und Spitzbergen, wurde auf diese Weise ein Fächer von 215 000 Quadratkilometern Fläche gefunden, der während der Weichselvereisung gebildet wurde. Er signalisiert die Ausdehnung eines mächtigen Eisschildes auf dem Barentsseeschelf. Die Ablagerungen sind charakteristischerweise zungenförmig und haben aufgrund der Fließbewegung ihre interne Schichtung verloren.

Seit 1993 führt das AWI mit dem Forschungseisbrecher ‚Polarstern‘ geoakustische Untersuchungen in der russischen Laptewsee und am nördlich angrenzenden Kontinentalhang durch und entnimmt Sedimentproben. Dabei wurde ein bis dahin unbekannter Schlammstromfächer auf dem westlichen Kontinentalhang der Laptewsee entdeckt, der eine Ausdehnung von etwa 28 000 Quadratkilometern hat. Er weist große Ähnlichkeit mit dem Fächer vor der Bäreninsel auf. Die Sedimentmenge und die Ausrichtung lassen den Schluss zu, dass die Karasee damals von einem Eisschild bedeckt war, der im Osten etwa bis zur Inselgruppe Severnaya Zemlya reichte.

These large fans in deep sea areas can be identified, using acoustic waves transmitted from a research vessel which penetrate into sediment layers. In such a way a fan covering an area of 215 000 square kilometers was identified in the North Atlantic near the Bear Island which is located between Norway and Svalbard. This fan was formed during the Weichselian glaciation and give evidence for the extent of a large ice sheet on the Barents Sea shelf. The sediments are characterised by tongue-shaped deposits and lost their internal bedding due to lateral down-slope movements.

Since 1993 in the Russian Laptev Sea and on the adjacent continental slope geoaoustic investigation and sediment sampling is carried out by AWI during cruises of the research ice breaker ‚Polarstern‘. On the western continental slope of the Laptev Sea an additional debris-flow fan was discovered with an area of at least 28 000 square kilometers. This fan is of similar character than the fan near the Bear Island. The amount of sediments and the orientation of sediment tongues give evidence for a large former ice sheet on the Kara Sea of which the eastern boundary was located near the archipelago of Severnaya Zemlya.

Surprisingly, the fan in the Laptev Sea is being inactive for a much longer time than its western counterpart near the Bear Island. Debris flows in the Laptev Sea are not only covered by one but three packages of younger sediments. This implies that no large ice cap was present in the eastern Kara Sea and off Severnaya Zemlya since Mid-Weichselian times. Thus, during the last glacial maximum the extent of the Eurasian ice sheet in easterly direction was relatively small. Only for the

Erstaunlich ist, dass der Fächer in der Laptevsee offenbar bereits deutlich länger inaktiv ist als sein westliches Gegenstück vor der Bäreninsel. Die Schlammströme in der Laptevsee sind nicht nur von einer, sondern bereits von drei jüngeren Schichten überlagert. Dies deutet darauf hin, dass es in der östlichen Karasee und im Gebiet um Severnaya Zemlya seit der Mittelweichselzeit keine größere Eiskappe mehr gegeben hat. Die Ausdehnung des Eises auf den eurasischen Schelfen in Richtung Osten war demnach im letzten glazialen Maximum vergleichsweise gering. Lediglich für die Mittel- und Frühweichselzeit, eigentlich etwas ‚wärmere‘ Vereisungsphasen, lassen sich noch Indizien für eine große Eiskappe über der Barents- und Karasee bis zum westlichen Kontinentalhang der Laptevsee finden.

Demnach folgt die Vereisung auf dem eurasischen Schelf nicht dem globalen Trend, wonach sich die maximale Vereisung zusammen mit dem extremen Absinken des Meeresspiegels erst in der späten Weichselzeit entwickelte (Abbildung 22). Vermutlich war das Klima im Bereich des arktischen Ozeans in der Spätweichselzeit zu trocken. Die Niederschlagsmenge reichte nicht aus, um hier in den östlichen Gebieten einen Eisschild zu bilden, wie es noch in der Mittel- und Frühweichselzeit möglich gewesen war.

Middle and Early Weichselian, periods of slightly ‘warmer’ glaciations, evidence for a large ice sheet on the Barents Sea, Kara Sea up to the western continental slope of the Laptev Sea can be found.

Glaciations on the Eurasian shelf do obviously not follow the global trend where the last glacial maximum is documented by minimum sea level in Late Weichselian times (Figure 22). Probably, in the area of the Arctic Ocean the climate was too dry during the Late Weichselian. Precipitation was not high enough to accumulate snow sufficiently to form an ice sheet in the easterly regions as has been possible during Middle and Early Weichselian times.

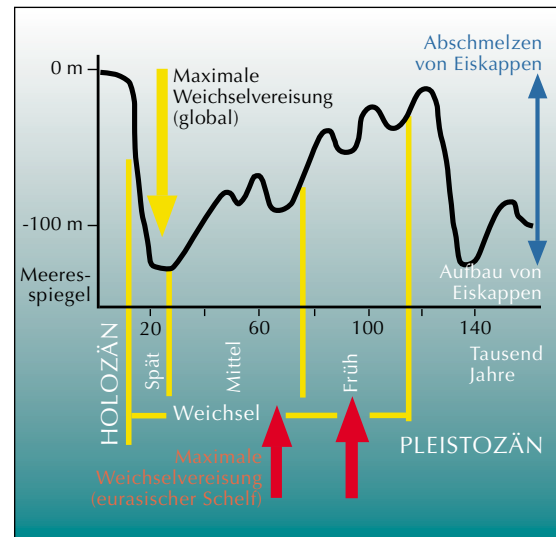


Abb. 22: Meeresspiegel und Vereisung in der Weichselzeit

Fig. 22: Sea-level change and glaciations during the Weichselian

Mehr Information...

Die Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) gibt einen ‚Zweijahresbericht‘ und ein ‚Forschungs- und Entwicklungsprogramm‘ heraus, in denen sie über gegenwärtige und geplante wissenschaftliche Projekte berichtet.

Das AWI gibt die ‚Berichte zur Polar- und Meeresforschung‘ mit wissenschaftlichen Ergebnissen der Expeditionen und Forschungsarbeiten heraus. 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. Zur Zeit sind folgende Faltblätter verfügbar:

- Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven (AWI)
- Forschungsstelle Potsdam
- Forschungsstationen in der Antarktis
- Koldewey-Station Spitzbergen
- Wattenmeerstation Sylt
- Biologische Anstalt Helgoland
- Aquarium Helgoland
- FS Polarstern
- FS Heincke und kleinere Forschungsschiffe

More information...

The Alfred Wegener Institute Foundation for Polar and Marine Research (AWI) publishes a ‘Biannual Report’ and a ‘Research and Development Programme’ with reports on scientific projects both current and forthcoming.

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 following leaflets are available:

- Alfred Wegener Institute Foundation for Polar and Marine Research (AWI)
- Potsdam Research Unit
- Research Stations in the Antarctic
- Koldewey Station, Spitzbergen
- Wadden Sea Station Sylt
- The Biological Institute on Helgoland
- Helgoland Aquarium (only in German)
- RV Polarstern
- RV Heincke and smaller research ships

Neben dieser Broschüre sind derzeit erhältlich:

- Die Biologie der Meere beeinflusst unsere Zukunft (Biologische Grundlagenforschung am AWI)
- Wattenmeerstation Sylt
- Licht, Raum und Technik für die Wissenschaft – Laborneubau der Forschungsstelle Potsdam
- Die deutsche Arktisstation im Netzwerk der stratosphärischen Messstationen
- 125 Jahre deutsche Polarforschung ein Überblick über die Geschichte der deutschen Polarforschung (DM 10,-)
- Das Antarktis-Vertragssystem

Aktuelle und umfassende Informationen können Sie zudem über das Internet erhalten:
<http://www.awi-bremerhaven.de>

Dort sind nicht nur alle Bereiche des AWI dargestellt, sondern auch Informationen über Projekte, Allgemeines auf den Seiten ‚Click & Learn‘ und Berichte von den Expeditionen des AWI.

Das AWI bietet Gruppen die Möglichkeit, das Hauptgebäude des Instituts in Bremerhaven an der Columbusstraße zu besichtigen. Zudem finden im AWI regelmäßig öffentliche Vorträge in Zusammenarbeit mit der Volkshochschule Bremerhaven statt. Nähere Information unter Tel.: 0471/4831-1112 (Sekretariat der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit).

Im Sommer wird Besuchern jeden Freitag von 10 bis 12 Uhr ein Einblick in die Forschungen der

Also currently available (in German only):

- *Die Biologie der Meere beeinflusst unsere Zukunft (The biology of the world ocean influences our future (fundamental biological research at AWI))*
- *Wattenmeerstation Sylt (The Wadden Sea Station on Sylt)*
- *Licht, Raum und Technik für die Wissenschaft - Laborneubau der Forschungsstelle Potsdam (Light, space and technology for Science – the new laboratory building at the Potsdam Research Unit)*
- *Die deutsche Arktisstation im Netzwerk der stratosphärischen Messstationen (The German Arctic station within the network of stratosphere monitoring stations)*
- *125 Jahre deutsche Polarforschung - ein Überblick über die Geschichte der deutschen Polarforschung (125 years of German polar research – a historical overview of German polar research) (DM 10)*
- *Das Antarktis-Vertragssystem (The Antarctic Treaty System)*

*The AWI website on the Internet provides extensive and up-to-date information:
<http://www.awi-bremerhaven.de>*

The site covers not only all sections and units of AWI, but also information about projects and general aspects on the "Click & Learn" pages, as well as reports on AWI expeditions.

AWI provides the possibility for groups to visit the Institute's main building at Columbusstraße in

Wattenmeerstation Sylt geboten. Von April bis September finden dort alle zwei Wochen öffentliche Vorträge statt.

Bremerhaven. Furthermore, in cooperation with Volkshochschule Bremerhaven public lectures take place, regularly. For detailed information please phone +49 (0)471 4831-1112 (Press and Public Relations Office).

During the summer, every Friday between 10 a.m. and 12 p.m., visitors to the Wadden Sea Station on Sylt have a chance to find out about the research carried out there. From April to September, every two weeks there will be public speeches.



Vorbereitung des Kastenlots
Preparation of the kasten corer

**Stiftung Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
Columbusstraße
D-27568 Bremerhaven**

**Telefon +49 (0) 471/48 31-0
Telefax +49 (0) 471/48 31-11 49
Telex 238695 polar d
e-mail: awi-pr@awi-bremerhaven.de
<http://www.awi-bremerhaven.de>**

Bearbeitung der Texte:
**Ute Kreis
Margarete Pauls**

Redaktion:
Margarete Pauls

Druck:
**Goihl Druck GmbH
Stuhr**

Fotografie:
Umschlag, S. 15 und S. 71
**Britta Lauer
Duisburg**

Gestaltung:
**Büro 7
visuelle Kommunikation GmbH
Bremen**