

Beispiele aus unserer Forschung 2010

Research Highlights 2010



Beispiele aus unserer Forschung 2008 Research Highlights 2010

Research Highlights 2010

Beispiele aus unserer Forschung 2010

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



Inhalt | Contents

Zu dieser Broschüre	4	<i>About this brochure</i>	Der Puls der Atmosphäre: Dekadisches Auf und Ab	40	<i>The pulse of the tmosphere: The decadal Ups and Downs</i>
Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)	6	<i>The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI)</i>	Dörthe Handorf, Klaus Dethloff, Sascha Brand, Matthias Läuter		
Standorte	6	<i>Sites</i>	Das Eisendüngungsexperiment LOHAFEX	46	<i>The Iron Fertilization Experiment LOHAFEX</i>
Stationen	8	<i>Research stations</i>	Philipp Assmy, Christine Klaas, Victor Smetacek, Dieter Wolf-Gladrow		
Forschungsschiffe	10	<i>Research vessels</i>	Ein nützliches genetisches Erbe - Wie alte Gene das Überleben in neuen Lebensräumen ermöglichen	52	<i>A convenient genetic heritage - How ancestral genes help to survive in new habitats</i>
Ein neues Haus für die deutsche Antarktisforschung – die ‚Neumayer-Station III‘	12	<i>A new house for German Antarctic research – ‘Neumayer Station III’</i>	Doris Abele, Ellen Weihe, Magnus Lucassen, Christoph Held, Kevin Pöhlmann		
Methanemission aus dem Permafrost im Lena-Delta Torsten Sachs, Julia Boike	18	<i>Methane emission from permafrost in the Lena River Delta</i>	Verursacher von Muschelvergiftungen identifiziert	58	<i>Cause of Shellfish Poisoning Identified</i>
Neue Biomarker belegen Schwankungen der arktischen Meereisbedeckung während der letzten 30.000 Jahre Juliane Müller, Rüdiger Stein	24	<i>New biomarkers reveal fluctuations in Arctic sea ice cover during the past 30,000 years</i>	Urban Tillmann, Malte Elbrächter, Bernd Krock, Uwe John, Allan Cembella		
Die Stabilität des Westantarktischen Eisschildes – Ergebnisse der ANDRILL Tiefbohrungen Gerhard Kuhn, Frank Niessen	28	<i>The stability of the West Antarctic ice sheet – results of ANDRILL deep drilling operations</i>	Mikrobielle Stoffumsätze im Klimawandel	62	<i>Climate change and the microbial cycling of organic matter</i>
Meeresalgen global - detaillierter Blick aus dem All Astrid Bracher, Tilman Dinter, Ilka Peeken, Bettina Schmitt	32	<i>Detailed view from space – marine algae globally observed</i>	Anja Engel, Judith Piontek, Mascha Wurst, Nicole Händel, Mirko Lunau, Corinna Borchard		
Was verrät der Jahreszyklus über die Klimaentwicklung der letzten Millionen Jahre? Thomas Laepple, Gerrit Lohmann	36	<i>What does the annual cycle tell us about climate change in the last millions of years?</i>	Eisbergkollision in der Atka-Bucht	66	<i>Iceberg collides in Atka Bay</i>
			In großer Tiefe und auf der Höhe der Zeit – Die Forschungsjahre 2008 und 2009	70	<i>In Great Depth and up to Date – Research in 2008 and 2009</i>
			Mehr Informationen	74	<i>More information</i>

Zu dieser Broschüre

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

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die Infrastruktur des AWI und wichtige Themen in den Jahren 2008/2009. Einige ausgewählte Beiträge stellen in knapper Form typische Projekte vor, die das wissenschaftliche Profil des AWI charakterisieren. Sie können einen Einblick erhalten, welche Fragen die Polar- und Meeresforschung in der heutigen Zeit bewegen, welche Motive zu den Forschungsthemen geführt haben und welche Beiträge sie zur modernen Umweltforschung leisten kann.

Forschung in den Polargebieten und den Meeren erfolgt häufig unter extremen Bedingungen. Sie stellt hohe Anforderungen an Menschen und Material. Aber sie belohnt auch mit unvergesslichen Eindrücken und neuen Erkenntnissen. Vor allem gibt sie wichtige Impulse für drängende Fragen unserer Zeit. Denn Forschungseinrichtungen wie das AWI tragen mit ihren Arbeiten wesentlich zur vorsorgenden wissenschaftlichen Bewertung möglicher Umweltveränderungen bei. Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre mit den hier geschilderten Beispielen unserer Arbeit.

About this brochure

With its different research programmes the Alfred Wegener Institute (AWI) performs scientific work in numerous disciplines in the fields of polar and marine research. These ambitious scientific projects are supported by a complex logistical service, which the AWI offers for German as well as for international research.

This brochure will give you an overview of the scientific infrastructure of the AWI and of important research programmes in 2008/2009. In a few selected articles some typical projects are briefly described in order to characterise the scientific profile of the AWI. This selection offers you some insight into the different questions and problems currently occupying polar and marine research, what motivations and impulses helped to formulate the topics of research, and what it can contribute to modern environmental research.

Research in polar regions as well as in the oceans is frequently done under extreme conditions. It demands much of humans and of the materials involved, but, as a reward it offers unforgettable impressions and an abundance of new insights. First and foremost it produces important impulses for the fundamental questions of our time. With their work, research institutions like the AWI make an important contribution to providing scientific evaluation of possible changes to the environment. We hope you enjoy these selected examples of our work.





**Institution im Bereich Küstenforschung –
Die Wattenmeerstation Sylt**
*Institution for coastal research –
Wadden Sea Station Sylt*



**Forschen auf Deutschlands Hochseeinsel –
Die Biologische Anstalt Helgoland**
*Research on Germany's High Sea Island –
Biological Institute Helgoland*



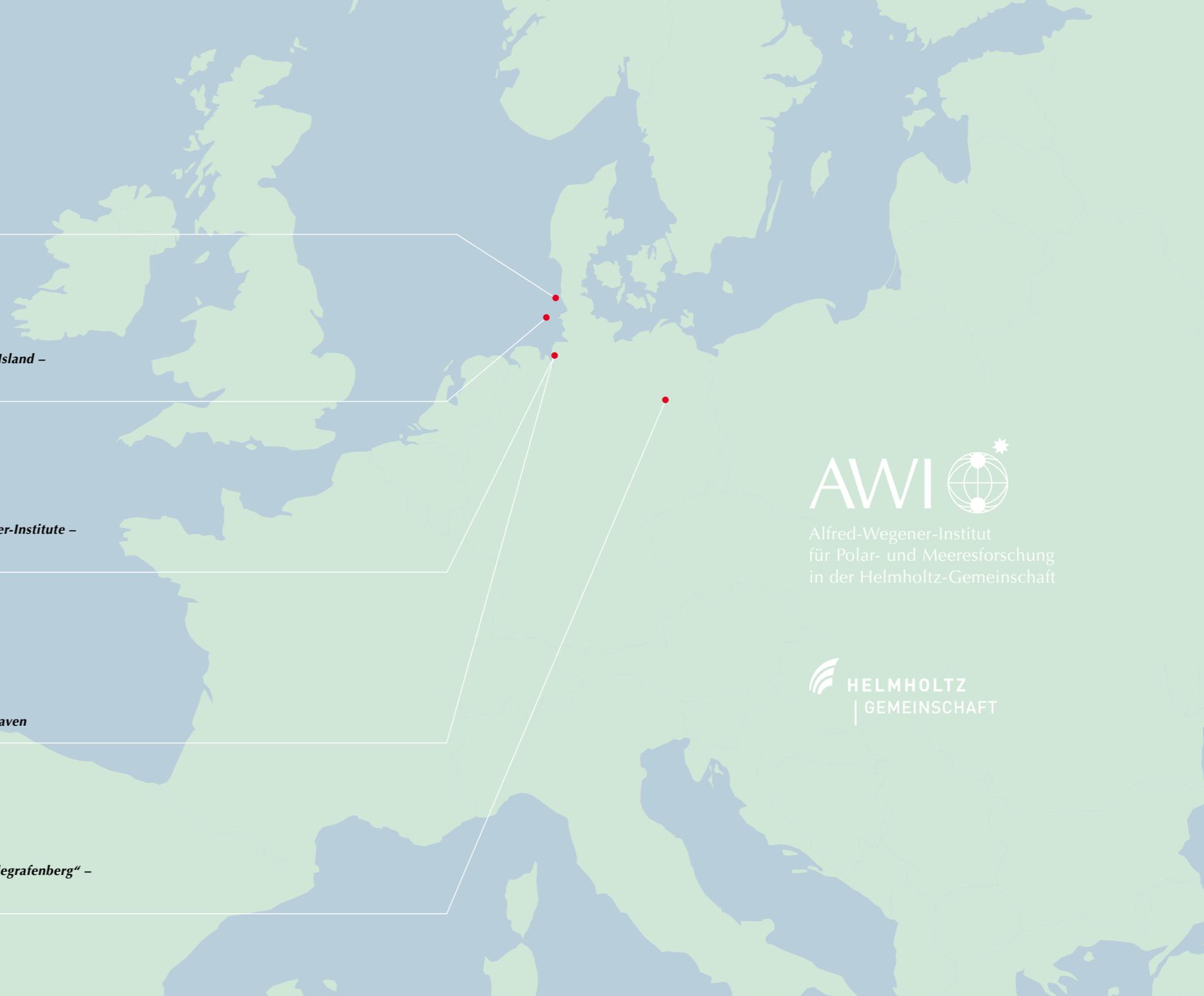
**Zentrale des Alfred-Wegener-Instituts –
Das Hauptgebäude in Bremerhaven**
*Headquarter of the Alfred-Wegener-Institute –
the main building in Bremerhaven*



**Traditionsgebäude mit Charme –
Der Ungers-Bau in Bremerhaven**
*Charming traditional building –
the "Ungers" building in Bremerhaven*



**Polarforschung auf dem Telegrafenberg –
Die Forschungsstelle Potsdam**
*Polar research on the historic "Telegrafenberg" –
the Potsdam Research Unit*



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

 **HELMHOLTZ**
| GEMEINSCHAFT



**Deutsch-Französische
Forschungsbasis (AWIPEV)**
Gemeinsame Forschungsstation des
AWI und des französischen Polar-
Instituts Paul Emile Victor in Ny-
Ålesund auf Spitzbergen
*Joint research station of
the AWI and the French
polar institute Paul
Emile Victor in Ny-Ale-
sund, Spitsbergen
(Svalbard)*



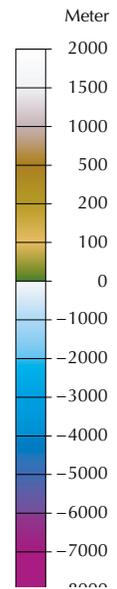
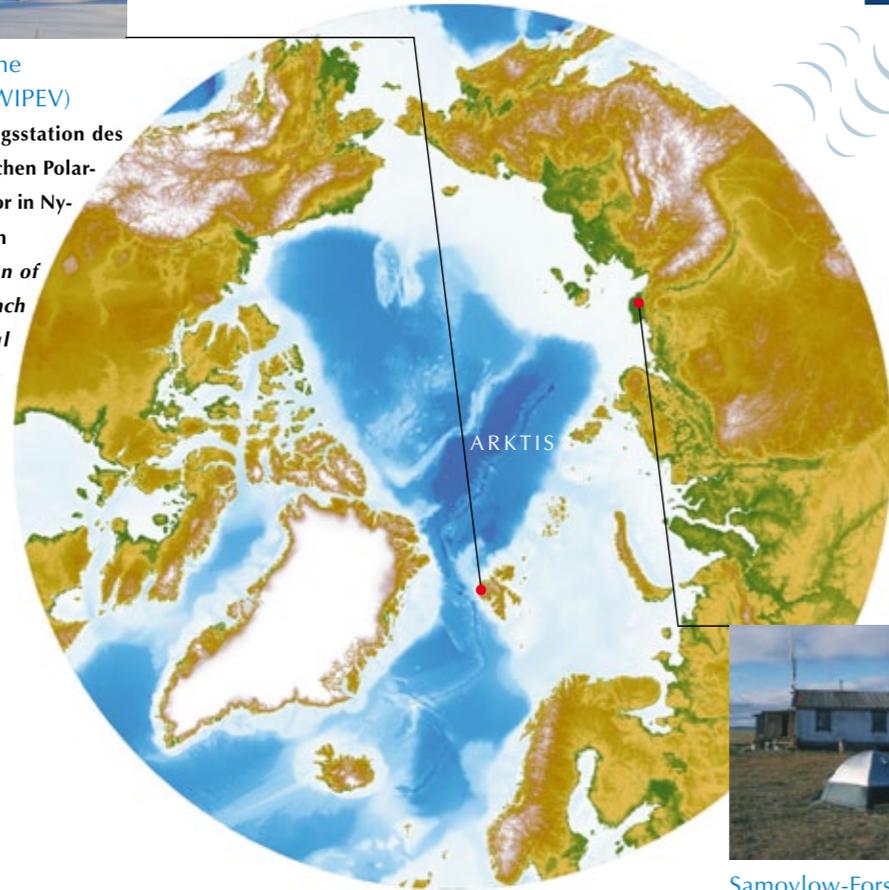
Satellit



Dallmann-Labor
Im Januar 1994 vom AWI und dem In-
stituto Antártico Argentino (IAA)
eröffnete Forschungsstation an der
argentinischen Station Jubany
auf King George Island
*Research station at the
Argentine station Ju-
bany on King George
Island, which was
opened by the AWI
and the Instituto
Antártico Argentino
(IAA) in January 1994*



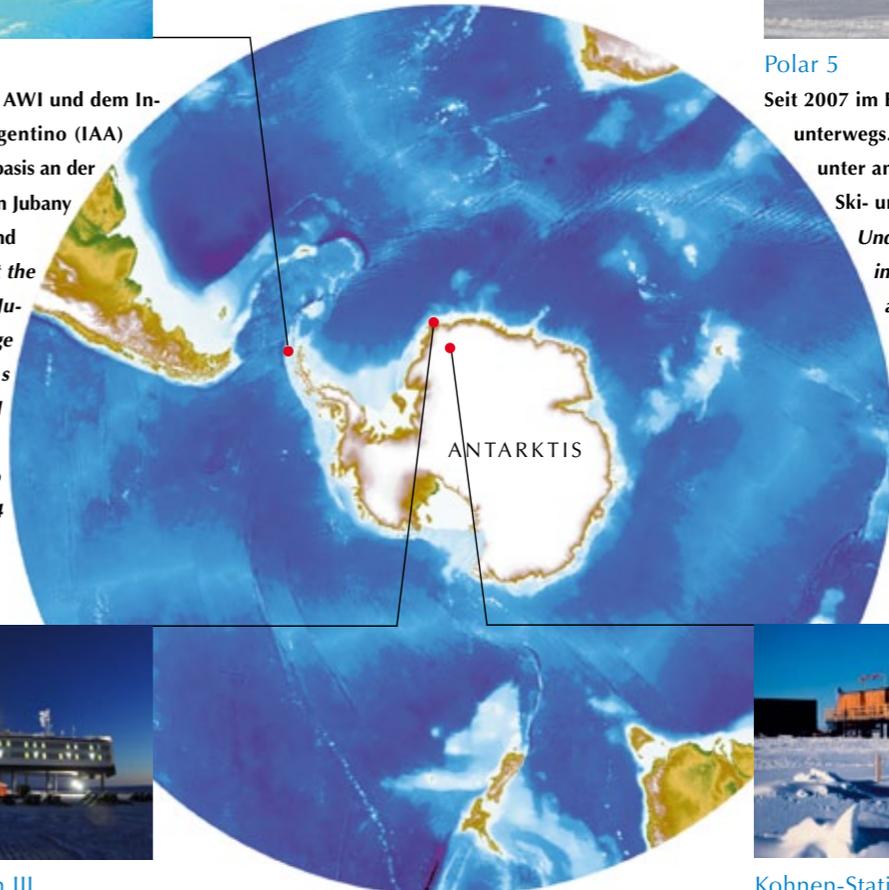
Polar 5
Seit 2007 im Einsatz der Wissenschaft
unterwegs. Die Maschine bietet
unter anderem ein kombiniertes
Ski- und Radfahrwerk.
*Underway since 2007, in the
interest of science. The
aeroplane has a combined
ski-wheel landing gear.*



Topographische Daten:
Topographic data:
ETOPO2v2 Global Gridded 2-minute Database
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>,
rendered with: The Generic Mapping Tools
<http://gmt.soest.hawaii.edu> (Graphic: C. Schäfer-Neth)



Samoylov-Forschungsstation
Forschungsstation an der südlichen
Küste der Insel Samoylov inmitten des
Lena-Deltas nahe der Laptevsee
*Research station on the southern
coast of Samoylov island in the middle
of the Lena delta near the Laptev Sea*



Neumayer-Station III
Im Jahr 2009 wurde die Antarktisstation in Betrieb genommen,
ein kombiniertes Gebäude für Forschung, Betrieb und Wohnen
auf einer Plattform oberhalb der Schneeoberfläche.
*The Antarctic station, a combined building for research,
operations and living quarters, on a platform above the snow
surface, began operation in 2009.*



Kohnen-Station
Im Jahr 2001 als logistische
Basis für Eiskernbohrungen im
Dronning-Maud-Land errichtet
*Established in 2001 as a logisti-
cal base for ice core drillings
in Dronning Maud Land*



Polarstern

Als weltweit bekanntes Flaggschiff der deutschen Polarforschung seit über 25 Jahren im Einsatz – das Eis brechende Forschungsschiff ‚Polarstern‘

Operating for more than 25 years as the world famous “flag ship” of German polar research –the ice breaking research vessel ‘Polarstern’



Heincke

Vielseitiger und geräuscharmer Spezialist für meereskundliche Expeditionen in eisfreien Gewässern – das Forschungsschiff ‚Heincke‘

Multifunctional and low-noise specialist for marine expeditions in ice free waters – the research vessel ‘Heincke’



Uthörn

Regelmäßig auf Forschungsfahrt in der Deutschen Bucht unterwegs – der Forschungskutter ‚Uthörn‘

Regularly on research tours in the German Bight – the research cutter ‘Uthörn’



Mya

Kann bei Niedrigwasser trocken gesetzt werden und ist speziell für Forschungsfahrten im Wattenmeer ausgelegt – der Forschungskatamaran ‚Mya‘

Constructed to beach at low tide and specially built for expeditions in the intertidal zone – the research catamaran ‘Mya’



Aade

Kleines Motorboot für die Probenahme und Beschaffung von Untersuchungsmaterial rund um Helgoland – das Forschungsboot ‚Aade‘

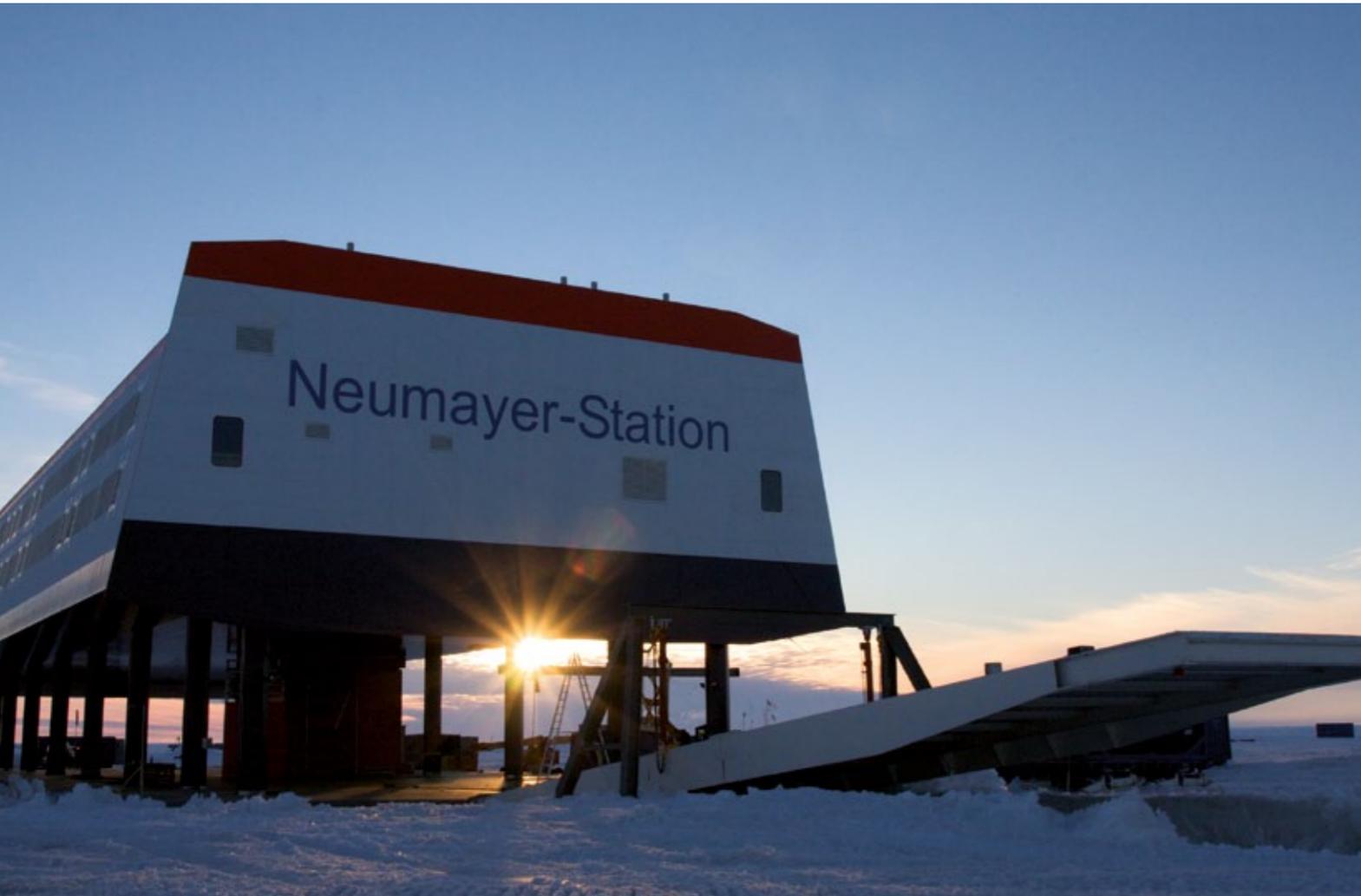
Small motor boat for sampling and gathering scientific material around Helgoland – the research boat ‘Aade’



Diker

Speziell an die Bedürfnisse der Forschungstauchergruppe angepasst und für Taucheinsätze rund um Helgoland ausgerüstet – das Forschungsboot ‚Diker‘

Specially adapted to the needs of scientific divers and equipped for diving operations around Helgoland – the research boat ‘Diker’



(Photo: realnature.tv)

Ein neues Haus für die deutsche Antarktisforschung – die ‚Neumayer-Station III‘

Ekström-Schelfeis, 70° 41' Süd, 08° 16' West, Antarktis. Seit Februar 2009 steht hier die neue Plattform der deutschen Antarktisforschung. Die ‚Neumayer-Station III‘ ist ein technisches Meisterwerk, das über mehrere Jahre in Bremerhaven entwickelt, vorbereitet und dann in den antarktischen Sommern von 2007/2008 und 2008/2009 ca. 5 Kilometer Luftlinie von der alten Neumayer-Station entfernt aufgebaut wurde.

Anders als ihre Vorgängerstationen versinkt die ‚Neumayer-Station III‘ nicht mehr im Eis. Eine patentierte Weltneuheit verhindert, dass die in der Antarktis jährlich anwachsende Schneedecke das Gebäude kontinuierlich unter sich begräbt. Insgesamt sechzehn hydraulische Stützen im Kellergeschoss können das Gebäude in jedem Sommer an die im Jahresverlauf gestiegene Schneehöhe anpassen.

Die ‚Neumayer-Station III‘ bietet stark verbesserte Lebens- und Arbeitsbedingungen für bis zu 40 Personen, mehr Laborkapazität und ein modern ausgestattetes Hospital mit telemedizinischer Betreuung für die Bewohner der ganzjährig betriebenen Station. Die gesamte Gebäude- und Kommunikationstechnik entspricht modernsten Standards. Die von der deutschen Station betriebenen Observatorien für Meteorologie, Luftchemie und Geophysik wurden mit neuen Instrumenten versehen und speisen ihre wertvollen Langzeitdaten nun von Neumayer III aus in verschiedenste internationale Messnetze ein. Der kontinuierliche Datenstrom erfolgt über eine permanente Satellitenverbindung.

A new house for German Antarctic research – the ‘Neumayer Station III’

Ekström Ice Shelf, 70°41' South, 08°16' West, Antarctic. The new platform for German Antarctic research has been located here since February 2009. The ‘Neumayer Station III’ is a technical masterpiece that was developed and prepared in Bremerhaven for several years and then set up approx. 5 kilometres as the crow flies from the old Neumayer Station during the Antarctic summers of 2007/2008 and 2008/2009.

In contrast to its predecessors, the ‘Neumayer Station III’ no longer sinks into the ice. A patented world innovation prevents the building from being continuously buried under the annually growing snow cover in the Antarctic. Every summer 16 hydraulic supports at the basement level are able to adjust the building to the height of the snow, which rises in the course of the year.

The ‘Neumayer Station III’ offers greatly improved living and working conditions for up to 40 people, more laboratory capacity and a hospital with modern equipment and telemedical care for the residents of the station, which is operated all year round. The entire building and communication technology meet state-of-the-art standards. The observatories for meteorology, air chemistry and geophysics run by the German station have been equipped with new instruments and feed their valuable long-term data from the ‘Neumayer Station III’ to diverse international measurement networks. The continuous flow of data is provided via a permanent satellite link.

Bauarbeiten | *Construction work*

Abb. 1: Sieben Monate dauerten die Bauarbeiten an der ‚Neumayer-Station III‘, verteilt über zwei antarktische Sommer. Etwa 4.000 Tonnen Baumaterial und Ausrüstung wurden in die Antarktis transportiert. In Spitzenzeiten waren bis zu 98 Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker auf der Baustelle im Einsatz.

Fig. 1: Construction work on the ‘Neumayer Station III’ lasted seven months, spread over two Antarctic summers. Around 4,000 tons of building material and equipment were transported to the Antarctic. At peak times up to 98 scientists, engineers and technicians were on duty at the construction site. (Photos: realnature.tv, Photos bottom row: Alfred Wegener Institute)

Eröffnung | *Opening*

Abb. 2: Einweihung der ‚Neumayer-Station III‘ am 20.02.2009. Während AWI-Direktorin Prof. Dr. Karin Lochte den symbolischen Schlüssel für die neue Station erhält, verfolgt in Berlin Bundesforschungsministerin Dr. Annette Schavan gemeinsam mit rund 200 Gästen und unzähligen Journalisten die erste Fernseh-Live-Übertragung aus der Antarktis nach Deutschland. Kurze Zeit später wird sie Neumayer III von Berlin aus feierlich eröffnen.

Fig. 2: Inauguration of the ‘Neumayer Station III’ on 20 February 2009. German Research Minister Dr. Annette Schavan, along with around 200 guests and innumerable journalists, follows the first live television broadcast from the Antarctic to Germany as AWI Director Prof. Karin Lochte receives the symbolic key for the new station. A short time later the minister officially opened the ‘Neumayer Station III’ from Berlin. (Photo: U. Cieluch,AWI)

Nach dem ersten Winter - die neue Technik bewährt sich

Ungewöhnlich starke Winterstürme stellten die ‚Neumayer-Station III‘ gleich im ersten Betriebsjahr auf eine große Bewährungsprobe. Sie brachten etwa die doppelte Menge Neuschnee im Vergleich zu „normalen“ antarktischen Wintern. Wegen des hohen Schneezutrags musste das Gebäude mit der neu entwickelten Hydraulikanlage gleich dreimal hintereinander angehoben werden. Pro Hubvorgang, der bei günstigen Wetterbedingungen mit allen notwendigen Vorbereitungen etwa 14 Tage dauert, wuchs die 2.600 Tonnen schwere Station dabei jeweils um bis zu einem Meter aus dem Schnee heraus. Der normale Betrieb läuft für die Stationsbewohner während des Anhebens nahezu ohne Einschränkungen weiter. Lediglich ein leichtes Vibrieren verrät, dass die hydraulischen Stützen sich gerade bewegen.



Abb. 3: Hohe Schneewehen nach den Stürmen des Winters. Die ‚Neumayer-Station III‘ kann in jedem Sommer an die neuen Schneehöhen angepasst werden.

Fig. 3: High snow drifts after the winter storms. ‚Neumayer Station III‘ can be adjusted to the new snow heights every summer. (Photo: Alfred Wegener Institute)

After the first winter – the new technology proves effective

Unusually severe winter storms really put the ‘Neumayer Station III’ to the test right in the first year of operation. They brought about double the amount of new snow compared to “normal” Antarctic winters. Because of the great snow accumulation, the building had to be raised three times in succession with the newly developed hydraulic system. In the course of each lifting process, which takes around 14 days under favourable weather conditions, including all necessary preparations, the 2,600-ton station was raised as much as one metre out of the snow. Normal operation continues almost without any restrictions for the station residents during the lifting process. Only a slight vibration indicates that the hydraulic supports are currently moving.



Abb. 4: Schneefräsen blasen Schnee unter die gelifteten Hydraulikstützen. Wenn alle Stützen stabil unterfüttert sind, wird das 2.600 t schwere Gebäude angehoben

Fig. 4: Snow blowers pile snow under the lifted hydraulic supports. Once all supports have been underpinned stably, the 2,600 t building is raised. (Photo: J. Helmschmidt, AWI)



(Photo: U. Maennl, AWI)

Methanemission aus dem Permafrost im Lena-Delta

Torsten Sachs, Julia Boike

Die globale Erwärmung zeigt sich in den hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre stärker und schneller als in den mittleren oder niederen Breiten. Fast 1700 Gigatonnen organischer Kohlenstoff sind nach neuesten Schätzungen in den ausgedehnten Dauerfrostgebieten der Nordhalbkugel gespeichert - deutlich mehr als in der gesamten globalen Vegetation oder auch der Atmosphäre.

Permafrost reagiert äußerst sensibel auf steigende Temperaturen. Daher ist zu befürchten, dass eine weitere Erwärmung der arktischen und subarktischen Permafrostgebiete den Boden großflächig tiefer auftauen könnte. Große Mengen des darin gespeicherten Kohlenstoffs würden dabei für die mikrobielle Zersetzung verfügbar werden, Kohlendioxid oder Methan könnten produziert und freigesetzt werden. Als äußerst wirksame Treibhausgase könnten sie bei einer Freisetzung in erheblichen Mengen zu einer weiteren Erwärmung der Atmosphäre führen. Derzeitige Klimamodelle berücksichtigen diese beträchtlichen, zusätzlichen Mengen nur unzureichend.

Permafrost-Gebiete in den hohen Breiten sind von gewaltiger Ausdehnung und daher nur mit großem Aufwand zu erschließen. Die vorhandene Datenbasis eignet sich kaum für gesicherte regional oder gar global gültige Aussagen über die aktuelle und zukünftige Entwicklung der Methanemissionen aus Dauerfrostböden.

Methane emission from permafrost in the Lena River Delta

Torsten Sachs, Julia Boike

Global atmospheric warming is stronger and faster in the northern high latitudes than in the middle or lower latitudes. Almost 1700 gigatons of organic carbon are currently estimated to be stored in the extensive permafrost areas of the northern hemisphere – much more than in the entire global vegetation or in the atmosphere.

Because permafrost is very sensible to rising temperatures, there is concern that continued warming of the Arctic and Subarctic permafrost areas would result in spatially extensive thawing of the soil. Large quantities of the stored carbon would then become available for microbial decomposition, which could lead to the production and emission of CO₂ or methane as very climate relevant greenhouse gases. These emissions would cause an additional warming if emitted in large quantities. Current global climate models do not sufficiently account for these large amounts of additional greenhouse gas.

Scientific studies in the vast high latitude permafrost areas require substantial logistical efforts. Therefore, the existing database is very limited and barely able to support sound regional or global estimates of the current or future development of methane emissions from permafrost soils.



Abb. 1: Eddy-Kovarianz Messsystem zur Bestimmung der vertikalen CO₂ und Methanflüsse zwischen Boden und Atmosphäre.

Fig. 1: Eddy covariance system to measure vertical CO₂ and methane fluxes between the soil and the atmosphere. (Photo: T. Sachs)

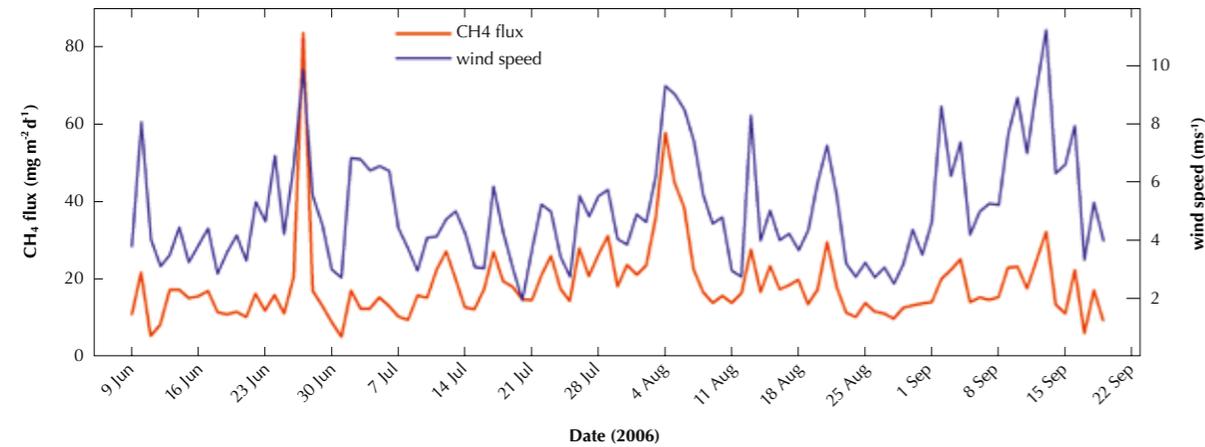


Abb. 2: Saisonale Dynamik der Windgeschwindigkeit und der davon stark abhängigen Methanemissionen aus der Feuchtgebiets-Tundra im Lena-Delta. Dargestellt sind jeweils Tagesmittelwerte.

Fig. 2: Seasonal dynamics of wind speed and methane emissions from wet polygonal tundra in the Lena River Delta that strongly depend on wind speed. The graph shows daily averages. (Graphic: T. Sachs)

In arktischen Ökosystemen ist die Menge des freigesetzten Methans schwer zu messen. Zeitlich und räumlich variieren die Emissionen so stark, dass repräsentative Aussagen aufgrund der bisher vorwiegend angewandten Methoden kaum möglich sind. Die Studien konzentrieren sich fast ausschließlich auf sehr kleine räumliche Skalen von bis zu etwa einem Quadratmeter. Dabei werden geschlossene Kammersysteme verwendet.

Wissenschaftler setzen seit 2002 an der Russisch-Deutschen Station Samoylov zusätzlich die über mehrere Hektar integrierende so genannte Eddy-Kovarianz Methode ein (Abb. 1, *eddies* = Wirbel). Das sibirische Lenadelta ist einer der weltweit wenigen Standorte für diese - im Gegensatz zum Kammersystem - nicht-invasive mikrometeorologische Methode. Die viermonatige Expedition Lena-2006 lieferte damit erstmals kontinuierlich Daten zur Methanemission in der Fläche über eine gesamte Vegetationsperiode hinweg: von der Schneeschmelze an bis nach dem ersten Schneesturm.

The amounts of released methane cannot be easily quantified in Arctic ecosystems. Most studies are based on very small spatial scales of up to 1 m² using closed chamber systems. But emissions vary significantly in terms of time and space, so that general conclusions should not be derived from this commonly used.

Since 2002, scientists at the Russian-German research station Samoylov have also used the eddy covariance method, which integrates fluxes across several hectares (Fig. 1). The Siberian Lena River Delta is one of the few study sites globally, where this non-invasive (as opposed to closed chambers) micrometeorological method has been deployed. During the four-month expedition Lena-2006, continuous areal methane emission data were collected, covering for the first time an entire vegetation period from snow melt until the first blizzards.

Der Vergleich beider Messmethoden zeigt deutliche Unterschiede: Kleinräumige Messungen ergeben punktuell hohe Emissionen im saisonalen Mittel von bis zu $100 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. In der weiteren Umgebung aber sind weder Menge noch zeitliche Dynamik repräsentativ. Die Messdaten lassen hier im Mittel weniger als $20 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ Methanemission erkennen.

Das wichtigste Ergebnis ist jedoch: In der Feuchtgebiets-Tundra sind Methanemissionen ganz entscheidend durch die Eigenschaften der unteren Atmosphäre gesteuert - neben den bekannten bodenbürtigen Faktoren, wie z.B. der Bodentemperatur. Vor allem die Stärke der atmosphärischen Turbulenz (direkt abhängig von der Windgeschwindigkeit, Abb. 2) und die Luftdruckentwicklung beeinflussen die Methanemissionen erheblich. Dabei spielen die großen Wasserflächen der Landschaft die entscheidende Rolle. Über den Tundra-Gewässern ist der Gasaustausch mit der Atmosphäre von den genannten atmosphärischen Größen Turbulenz und Luftdruck abhängig. In aktuellen Prozessmodellen zur Methanemission sind sie als treibende Einflussgrößen jedoch nicht berücksichtigt.

The comparison between the two methods revealed substantial differences: Small-scale measurements showed locally very high methane emissions of up to $100 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the seasonal average. However, neither with regard to the total amount nor with regard to the temporal dynamics these results could be considered being representative for a larger area. Here, the average methane emissions were less than $20 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

However, the most important result is: In wet polygonal tundra, methane emissions are to a large degree determined by conditions of the lower atmosphere – in addition to the well-known soil related parameters such as soil temperature. Above all, atmospheric turbulence (directly dependent on wind speed, Fig. 2) and pressure have a strong influence on methane emissions due to the presence of spatially significant water surfaces in the region. Gas exchange between water surfaces and the atmosphere is known to be dependent on atmospheric turbulence and pressure. In current process models for methane emissions, these parameters are not recognized as driving forces.



Abb. 3: Das Lena-Delta Anfang Juni 2006 ca. 30 km westlich der Station Samoylov. Die Methanemissionen dieser heterogenen Landschaft aus verschiedenen großen Seen, Flußarmen, und Altarmen in einer Matrix aus polygonalen Frostmusterstrukturen können schon auf wenigen Metern stark variieren.

Fig. 3: The Lena River Delta at the beginning of June 2006 about 30 km west of the station Samoylov. Methane emissions from this heterogeneous landscape of different-sized lakes, river channels and backwaters in a matrix of polygonal frost pattern vary greatly on a scale of few meters. (Photo: T. Sachs)

Neue Biomarker belegen Schwankungen der arktischen Meereisbedeckung während der letzten 30.000 Jahre

Juliane Müller, Rüdiger Stein

Meeresströmungen regulieren den Wärme- und Salzgehalt in den Gewässern der südlichen und nördlichen Breiten und beeinflussen damit stark das globale Klima. Ein kräftiges Schwungrad dieses thermohalinen Zirkulationssystems arbeitet in der Framstraße, der Tiefwasserpassage zwischen dem Arktischem und dem Atlantischen Ozean. Kalte Wassermassen und Meereis aus der Arktis treffen hier auf warmes Atlantikwasser. Verändert sich dieser gewaltige Austauschprozess, kommt es zu Fluktuationen der Meereisbedeckung in der Framstraße, die mit Abkühlungs- und Erwärmungsphasen im Nordatlantik einhergehen.

Organisch-geochemische Untersuchungen eines Sedimentkerns (PS2837-5) aus der nördlichen Framstraße (siehe Abb. 4) liefern nun Beweise für extreme Schwankungen der Meereisbedeckung. Mit Hilfe von Biomarkern konnte so erforscht werden, wann die Framstraße während der letzten 30.000 Jahre eisbedeckt oder eisfrei war. Biomarker sind molekulare Fossilien, die in den Sedimentschichten konserviert sind.

Zwei Biomarker standen dabei im Blickpunkt der Untersuchung (Abb. 5): Der Biomarker IP₂₅ gilt als Indiz für Eisbedeckung, denn er wird von Algen produziert, die im Meereis leben. Der Biomarker Brassicasterol hingegen wird von Algen gebildet, die im offenen Wasser leben, und ist somit ein Anzeiger für eisfreie Perioden. Die Kombination beider Parameter ermöglicht es, verschiedene Eisbedingungen zu rekonstruieren.

New biomarkers reveal fluctuations in Arctic sea ice cover during the past 30,000 years

Juliane Müller, Rüdiger Stein

Ocean currents mainly influence global climate by controlling the heat and salinity transfer between southern and northern latitudes. A powerful driving mechanism of this thermohaline circulation system is located in the Fram Strait, the only deep-water passage between the Arctic and Atlantic Ocean, where cold water and sea ice from the Arctic and warm Atlantic water converge. Changes in this transfer process are linked to fluctuations of sea ice coverage in the Fram Strait. These are in concert with cooling and warming events in the North Atlantic.

The organic geochemical examination of a sediment core (PS2837-5) from the northern Fram Strait (Fig. 4) provides clues for extreme fluctuations in sea ice coverage. By means of biomarkers it was possible to ascertain periods when the Fram Strait was either ice-covered or ice-free during the past 30,000 years. Biomarkers are molecular fossils, which are preserved within the sediment layers.

Two biomarkers were in the focus of the study (Fig. 5): the biomarker IP₂₅ is produced by algae living in the sea ice and serves as an indicator for ice coverage. The biomarker brassicasterol, on the contrary, is produced by algae living in the open water and thus indicates ice-free periods. The combination of both parameters enables the reconstruction of different sea ice conditions.

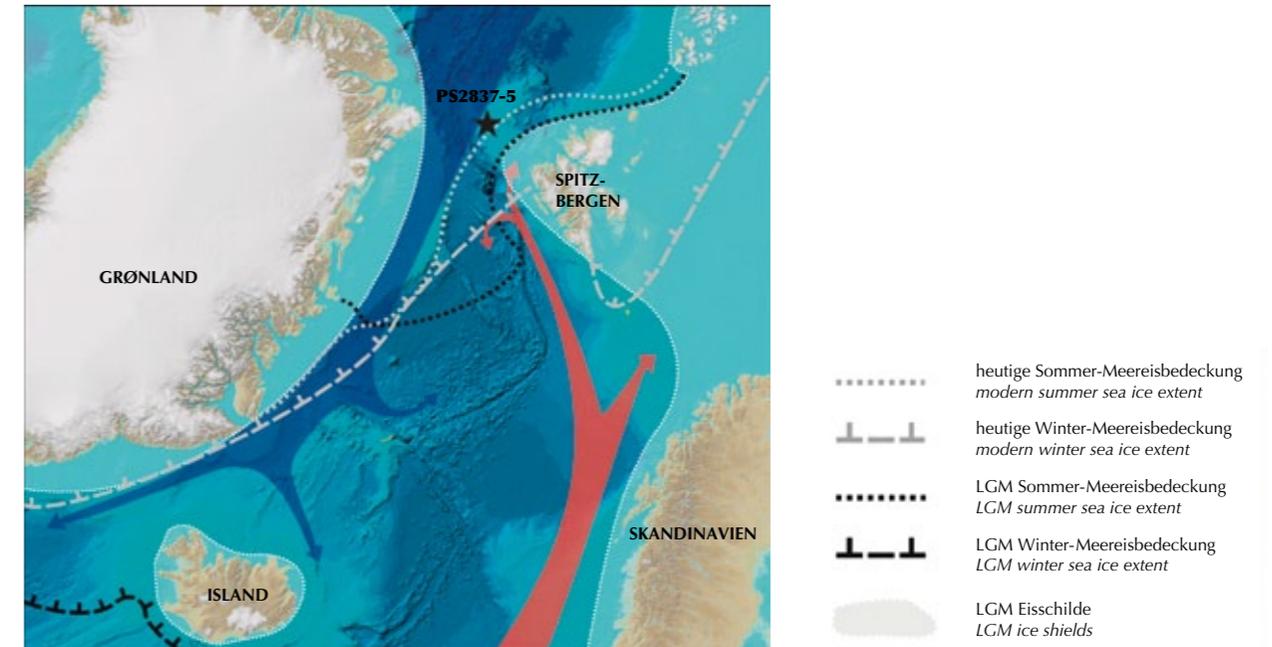


Abb. 4: Warme (rot) und kalte (blau) Meeresströmungen aus dem Atlantischen bzw. dem Arktischen Ozean beeinflussen die Meereisbedingungen in der Framstraße.

Fig. 4: Warm (red) and cold (blue) ocean currents from the Atlantic and the Arctic Ocean impact the sea ice conditions in the Fram Strait.

Map based on Figure 1: IBCAO 2008 (Jakobsson, M., R. Macnab, L. Mayer, R. Anderson, M. Edwards, J. Hatzky, H. W. Schenke, and P. Johnson (2008), An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses, *Geophysical Research Letters*, DOI: doi: 10.1029/2008gl033520.)

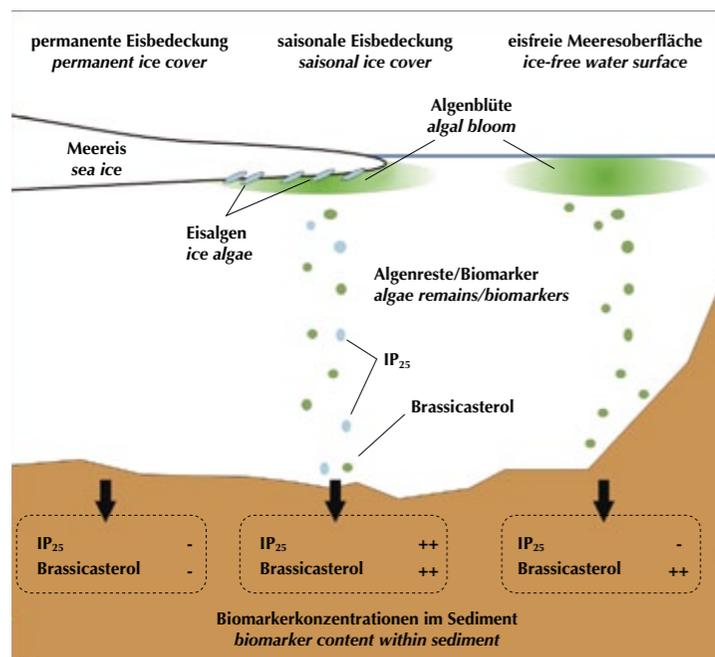


Abb. 5: Schematische Darstellung unterschiedlicher Eisbedingungen mit variierender Algenproduktivität und unterschiedlichen IP₂₅- und Brassicasterolgehalten im Sediment.

Fig. 5: Schematic illustration summarizing different sea ice conditions with varying algal productivity and different IP₂₅ and brassicasterol contents within the sediment.

So deutet beispielsweise das Fehlen beider Biomarker während des letzten Glazialen Maximums vor ca. 20.000 Jahren auf eine permanente Eisbedeckung in der nördlichen Framstraße hin. Der Grund: Unter dem dicken Eispanzer herrschte andauernder Licht- und Nährstoffmangel, der auch das Wachstum der Eisalgen ganzjährig verhinderte.

Wenn der Eismarker IP₂₅ in den Sedimenten fehlt, aber der Gehalt an Brassicasterol stark erhöht ist, kann auf eine eisfreie Zeit geschlossen werden: Eine sehr kurze aber heftige Erwärmung des Klimas vor ca. 15.000 Jahren, im frühen Bølling, ließ das arktische Meereis so weit schrumpfen, dass die Framstraße während der gesamten Wachstumsperiode beider Algentypen, also während der Frühlings- und Sommermonate, eisfrei blieb.

Während der letzten 5.000 Jahre, im späten Holozän, kommen beide Marker gleichzeitig vor: Die Meerenge war nur saisonal (im Winter und Frühling) mit Eis bedeckt.

Diese Rekonstruktion unterschiedlichster Eisbedingungen zeigt deutlich, wie empfindlich die Arktis sogar auf kurzzeitige Klimaschwankungen reagiert. Weitere Untersuchungen zur Paläo-Ausdehnung des Meereises sollen Aufschluss über die Variabilität der ozeanisch-atmosphärischen Wechselbeziehungen geben und damit die Entwicklung zukünftiger Klimamodelle unterstützen.

The absence of both biomarkers during the Last Glacial Maximum about 20,000 years ago, for instance, suggests a permanent ice cover in the northern Fram Strait. The lasting unavailability of light and nutrients under the thick pack ice also minimized the growth of the ice algae throughout the year.

Another case which refers to ice-free conditions is a lack of the ice proxy IP₂₅ while the brassicasterol content is highly increased: a short but significant warming of the climate about 15,000 years ago, the Early Bølling, caused the Arctic sea ice to retreat so far that the Fram Strait remained ice-free during the entire growth period of both algal species (i.e., during spring and summer months).

The simultaneous occurrence of both biomarkers during the past 5,000 years, the Late Holocene, shows that the strait was only seasonally ice-covered (i.e., during the winter and spring months).

This reconstruction of highly various sea ice conditions reveals how susceptible the Arctic is even to short-term climate fluctuations. Further examinations of the palaeo-extent of sea ice may provide valuable information about oceanic-atmospheric interactions and hence support the development of future climate models.

Die Stabilität des Westantarktischen Eisschildes – Ergebnisse der ANDRILL Tiefbohrungen

Gerhard Kuhn, Frank Niessen

ANDRILL ist ein multinationales Bohrprogramm, mit dem die geologische Entwicklung der Antarktis erforscht wird. Mit Hilfe von ANDRILL soll vor allem geklärt werden, wie sich die Antarktischen Eisschilde in der Vergangenheit veränderten, aber auch wie sie sich in der Zukunft verhalten werden. Von besonderem Interesse sind Zeiträume mit global deutlich wärmeren Klimabedingungen als heute. Dafür muss man 20 Millionen Jahre in die Erdgeschichte zurück blicken. Informationen über die Variation des globalen Eisvolumens aus der Isotopenzusammensetzung mariner Mikrofossilien sind für diesen Zeitraum vorhanden. Die Reaktion der regionalen polaren Eiskappen ist jedoch nur unzureichend bekannt.

Das Westantarktische Eisschild (WAIS) überdeckt heute einen Archipel und befindet sich nahezu im Schwimmgleichgewicht. Daraus ergibt sich die Frage: Wie stabil ist das WAIS und welchen Einfluss hat es auf globale Meeresspiegel-Änderungen?

Bohrungen in natürliche Archive vor Ort sollen darüber Aufschluss geben, denn hier finden sich gespeicherte Informationen aus der Vergangenheit. Das „Victoria Land Basin“ des westlichen Rossmeeres ist ein solches Naturarchiv der Antarktis. Günstige geologische Bedingungen haben Sedimente konserviert, die in Zeiten mit kälteren und wärmeren Klimabedingungen im Vergleich zu heute abgelagert wurden.

In der ersten ANDRILL-Phase 2006 und 2007 wurden vom McMurdo Schelfeis, als Teil des Ross Schelfeises,

The stability of the West Antarctic ice sheet – results of ANDRILL deep drilling operations

Gerhard Kuhn, Frank Niessen

ANDRILL is a multinational drilling programme involving research on the geological development of the Antarctic. The chief objective of ANDRILL is to help in clarifying how the Antarctic ice sheet changed in the past as well as how it will behave in the future. Of particular interest are periods with significantly warmer global climate conditions than today. For this purpose it is necessary to look back 20 million years in the Earth's history. Information on the variations in the global ice volume gained from the isotopic composition of marine microfossils is available for this period. However, not enough is known about the response of the regional polar ice caps.

Today the West Antarctic Ice Sheet (WAIS) covers an archipelago and is in a nearly isostatic equilibrium. This leads to the question: How stable is the WAIS and what influence does it have on global changes in the sea level?

Drilling into natural geological archives is aimed at providing answers to this question, since these archives contain stored information from the past. The Victoria Land Basin of the western Ross Sea is such a natural archive in the Antarctic. Favourable geological conditions have preserved sediments that were deposited in times when climate conditions were colder and warmer than the present.

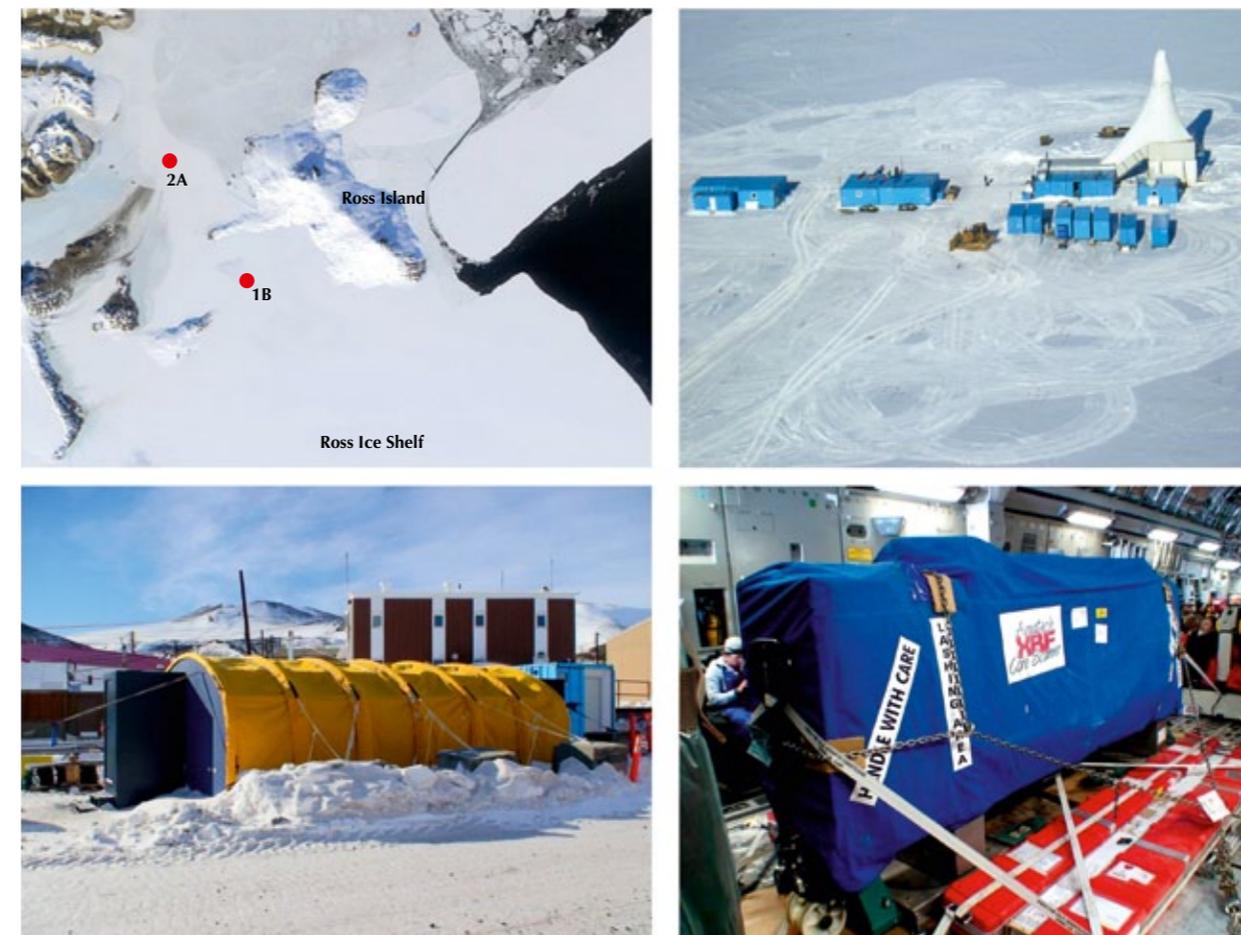


Abb. 6: Lage der Bohrungen AND-1B und AND-2A in der Nähe von Ross Island; das Bohrcamp AND-1B auf dem McMurdo Schelfeis; das „Rac-Zelt“ in McMurdo, hier wurden die geochemischen XRF-Messungen durchgeführt; der XRF-Core-Scanner im Flugzeug auf dem Weg zurück nach Neuseeland.

Fig. 6: Location of AND-1B and AND-2A drillings near Ross Island; the AND-1B drilling camp on the McMurdo Ice Shelf; the „Rac tent“ in McMurdo, the geochemical XRF measurements were carried out here; the XRF drilling core scanner in the aircraft on the way back to New Zealand.

(Photo 1: http://www2.jpl.nasa.gov/pub/images/browse/ross_1227_arrows_browse.jpg, Photo 2: T. Naish, Photo 3 und 4: G. Kuhn)

und vom Meereis im südlichen McMurdo Sound die bisher tiefsten Bohrungen in der Antarktis (AND-1B 1285 Meter; AND-2A 1139 Meter, Kerngewinn ca. 98 %) in das „Victoria Land Basin“ abgeteuft. Die gewonnenen Proben wurden in den vergangenen zwei Jahren ausgewertet.

Das Alfred-Wegener-Institut übernahm sechs Prozent der Bohrkosten. Zwölf deutsche Wissenschaftler konnten teilnehmen, davon fünf vom Alfred-Wegener-Institut. Sie untersuchten den Bohrkern gesteinsphysikalisch und geochemisch (Abb. 6).

Die erbohrten Gesteinstypen und deren Interpretation ergaben für die vergangenen sechs Millionen Jahre (6 Ma) drei Szenarien für die Paläo-Umwelt des McMurdo Schelfeises (Abb. 7): I. eine auf dem Untergrund aufliegende Eiskappe, II. ein Schelfeis wie in der heutigen Situation und III. offenes Wasser.

Orbitale Oszillationen im 41.000-Jahreszyklus haben den Wechsel von Eiskappe zu Schelfeis und offenem Wasser gesteuert. Modellierungen und die geologischen Befunde zeigen einen periodischen Zerfall des WAIS (zuletzt beobachtet vor 1,07 Ma) bei gegenüber heute nur leicht erhöhten globalen Temperaturen (+3 Grad Celsius) und Kohlendioxid-Gehalten. Während dieser Super-Warmzeiten ergeben Modellierungen einen Beitrag der Antarktis zur Meeresspiegelerhöhung von ca. sieben Metern.

Erste Ergebnisse archäobotanischer Arbeiten der AND-2A Bohrung zeigen für das Klima-Optimum im Mittleren Miozän (MMCO; 15,7 Ma) eine abrupte Warmphase in der Antarktis: Ein verstärkter Süßwasereintrag verringerte den Salzgehalt bei reduziertem Meereisvorkommen. Landtemperaturen im südlichen Rossmeer erreichten 10 Grad Celsius (mittlere Temperatur Januar), mittlere saisonale Temperaturen der Meeresoberfläche zwischen 0 und 11,5 Grad Celsius.

The first ANDRILL phase in 2006 and 2007 involved the deepest sedimentary drill holes in the Antarctic to date (AND-1B 1285 m; AND-2A 1139 m, core recovery approx. 98%) in the Victoria Land Basin from platforms on the McMurdo Ice Shelf, as part of the Ross Ice Shelf, and sea ice in southern McMurdo Sound. The samples obtained were analysed in the past two years.

The Alfred Wegener Institute supported six percent of the drilling costs. Twelve German scientists were able to take part, five of them from the Alfred Wegener Institute. They conducted petrophysical and geochemical investigations on the drill core (Fig. 6).

The types of rock drilled through and their interpretation resulted in three scenarios for the paleoenvironment of the McMurdo Ice Shelf for the past six million years (Ma) (Fig. 7): I. An ice cap grounded at its base, II. an ice shelf as in the present situation and III. open water.

Orbital oscillations in a 41,000-year cycle have controlled the change from ice cap to ice shelf and open water. Models and geological findings show a periodic disintegration of the WAIS (last observed 1.07 Ma ago) at global temperatures (+3 °) and CO₂ concentrations only slightly higher than today. Models result in a contribution of the Antarctic to a rise in sea level of approx. 7 metres during these super warm periods.

Initial results of archaeobotanical work on the AND-2A drill core show an abrupt warm phase in the Antarctic for the Middle Miocene Climate Optimum (MMCO; 15.7 Ma). Land temperatures in the southern Ross Sea reached 10°C (mean temperature in January) while mean seasonal temperatures of the sea surface were between 0 and 11.5 °C. An increased input of freshwater lowered the salt concentration with reduced occurrence of sea ice.

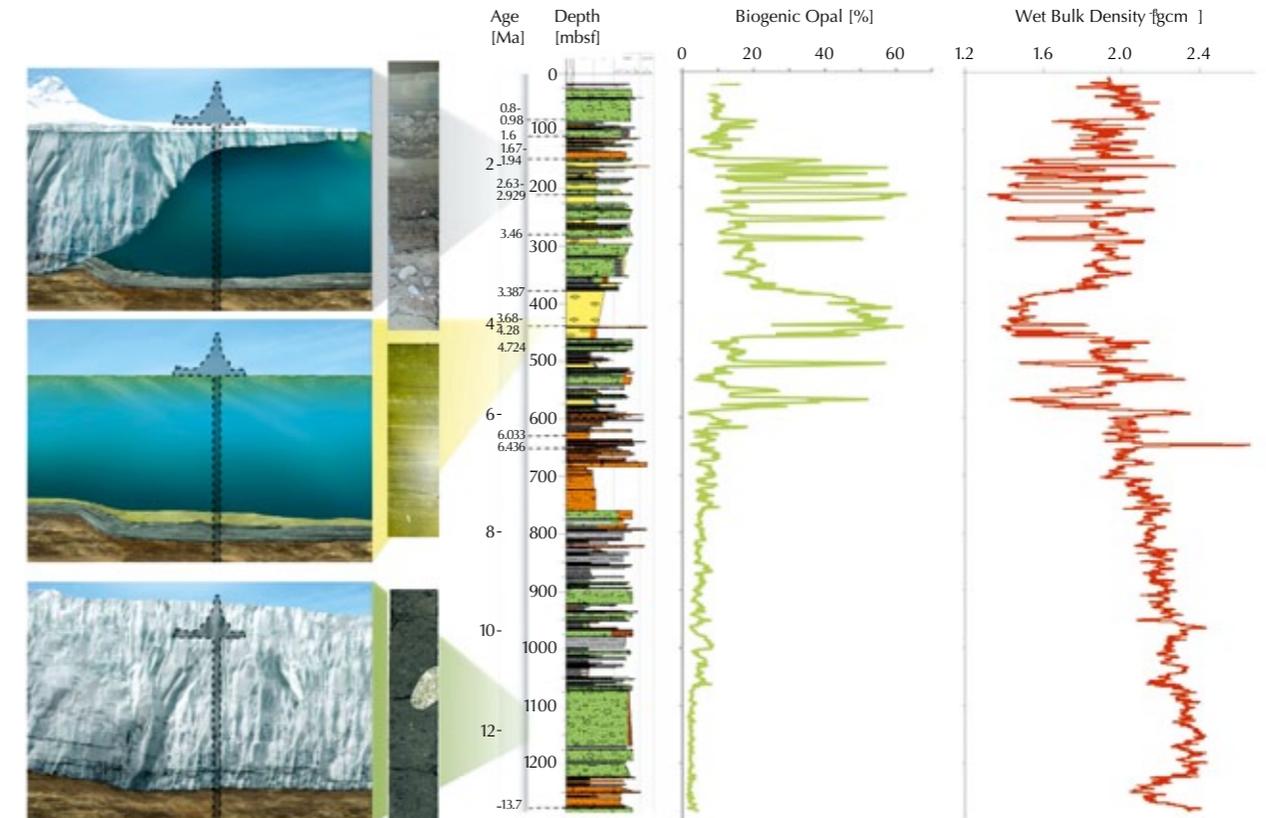


Abb. 7: Drei rekonstruierte Umweltszenarien für das McMurdo Schelfeis (Material: Science Management Office, Univ. Lincoln-Nebraska); Bohrkern-Fotos (Breite ca. 8 cm), Alter und Lithologie der AND-1B Bohrung (grau = glazialmarine, terrigene Sedimente; gelb = Kieselalgen-Sediment; grün = Diamiktit, glazialer Till; orange = vulkanische Ablagerungen); Gehalt an biogenem Opal im Sediment als Proxy für offene marine Umweltbedingungen ohne Schelfeis.

Fig. 7: Three reconstructed environmental scenarios for the McMurdo Ice Shelf (material: Science Management Office, Univ. of Nebraska-Lincoln); drilling core photos (width approx. 8 cm) and lithology of the AND-1B drilling (grey = glacial-marine, terrigenous sediments; yellow = diatomaceous sediment; green = diamictite, glacial sediments, boulder clay; orange = volcanic deposits); content of biogenic opal in the sediment as proxy for open marine environmental conditions without ice shelf; total thickness of the sediment as proxy for compaction (due to ice and rock load).

Meeresalgen global - detaillierter Blick aus dem All

Astrid Bracher, Tilman Dinter,
Ilka Peeken, Bettina Schmitt

Marines Phytoplankton lebt frei driftend in den Meeren und ist die Grundlage des Nahrungsnetzes. Als Teil der biologischen Pumpe spielt die enorme Menge der mikroskopisch kleinen Algen eine bedeutende Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Verschiedene Algengruppen haben sowohl im marinen Nahrungsnetz als auch für unser weltweites Klima unterschiedliche Funktionen.

Zusammen mit dem Institut für Umweltphysik der Universität Bremen entwickelte das Alfred-Wegener-Institut PhytoDOAS, die Differentielle optische Absorptions-Spektroskopie, angewandt auf Phytoplankton. Die Methode PhytoDOAS nutzt Daten des Sensors SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography), der seit 2001 von Bord des europäischen Umweltsatelliten ENVISAT vom Weltraum aus die Farbe der Weltmeere detektiert. Aus den Bildern können die Verteilungen von bedeutenden Phytoplankton-Gruppen, Kieselalgen und Blaualgen, quantitativ als Konzentrationen in mg/m^3 abgeleitet werden. Algen gewinnen Energie aus Photosynthese mit bestimmten Pigmenten, wie dem Chlorophyll, durch die Absorption des Sonnenlichts. Die aufgenommene Strahlung ergibt ein so genanntes Absorptionsspektrum, das aus den SCIAMACHY-Daten bestimmt werden kann. Aufgrund der Pigmentzusammensetzung ist jedes Spektrum für eine einzelne Algengruppe spezifisch. Eine qualitative Aussage ist somit möglich.

Detailed view from space – marine algae globally observed

Astrid Bracher, Tilman Dinter,
Ilka Peeken, Bettina Schmitt

In the open water, floating algae or marine phytoplankton are the basis of the marine food web. The large amount of the microscopic small algae as part of the biological pump plays within the global carbon cycle an important role. Different groups of algae have different functions and impact both in the marine food web and within our global climate.

Together with the Institute of Environmental Physics of the University Bremen, the Alfred-Wegener-Institute developed PhytoDOAS, the Differential Optical Absorption Spectroscopy applied to phytoplankton. The PhytoDOAS method uses data of the sensor SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography), which has been depicting ocean colour for seven years continuously on board the European environmental satellite ENVISAT. From the images quantitative distribution of important phytoplankton groups, diatoms and blue algae in concentrations of mg/m^3 can be derived. Algae conduct photosynthesis by absorbing sunlight through certain pigments, such as chlorophyll, generating energy. The absorbed radiation creates a spectral profile, which can be identified in SCIAMACHY data. Because each algae group has a specific pigment composition, every spectral profile is typical for the group and allows a quantitative evaluation.



Abb. 8: Der Umweltsatellit ENVISAT, auf dem der Sensor „Sciamachy“ die Farbe des Ozeans detektiert.

Fig. 8: The environmental satellite ENVISAT, detected on the sensor „Sciamachy“ the color of the ocean. (Photo: ESA=European Space Agency)

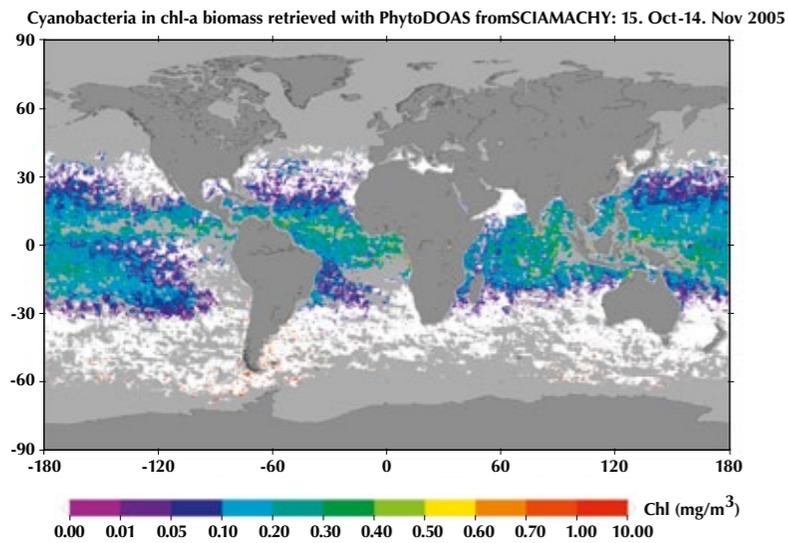
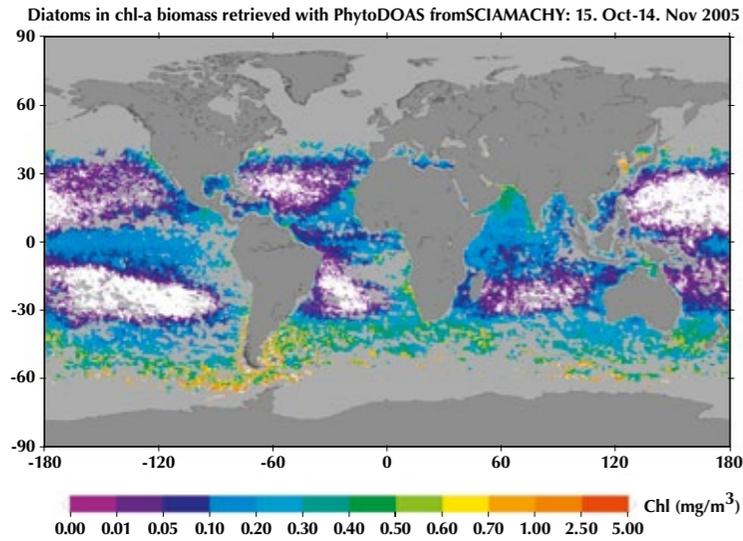


Abb. 9: Globale Biomasse-Verteilungen von Kieselalgen (Diatomeen, oben) und Blaualgen (Cyanobakterien, unten) im Oktober/November 2005: Ergebnisse der radiometrischen Messungen des Satellitensensors SCIAMACHY auf ENIVSAT, analysiert mit der PhytoDOAS Methode.

Fig. 9: Global biomass distributions of diatoms (upper panel) and blue algae (lower panel) in October/November 2005: results of radiometric measurements of the satellite sensor SCIAMACHY on ENIVSAT analysed with the PhytoDOAS method.

Literature: Bracher A. Vountas M., Dinter T., Burrows J.P., Röttgers R., Peeken I. (2009): Observation of cyanobacteria and diatoms from space using PhytoDOAS on satellite sensor SCIAMACHY data. Biogeosciences 6:751-764.

Die Auswertung der Algengruppen muss zusätzlich die Absorption anderer Stoffe berücksichtigen, denn auch diese absorbieren Sonnenlicht, das von Erdoberfläche und Ozean zurück gestreut und vom Satelliten gemessen wird: das Wasser selbst und die Spurengase, z.B. Ozon, in der Atmosphäre. Nur unter Beachtung aller Beiträge kann der Anteil des Phytoplanktons quantifiziert werden. Bei Wolken kann die Farbe des Ozeans nicht vom Satelliten gesehen, Algenarten können nicht erstellt werden. Dann helfen nur die Messungen vor Ort. Absorptionseigenschaften und Zusammensetzung der Algen werden direkt an Wasserproben bestimmt und mit den Satellitendaten verglichen.

Wissenschaftler an Bord der deutschen Forschungsschiffe ‚Polarstern‘, ‚Maria S. Merian‘ und ‚Sonne‘ nahmen während mehrwöchigen Schiffsexpeditionen im Atlantischen und Pazifischen Ozean Planktonproben. Die Satellitendaten wurden validiert, d.h. am Boden beim so genannten „ground truthing“ überprüft. Dabei und beim Vergleich mit einem globalen biogeochemischen Modell zeigt sich, dass die Satellitenkarten die Verteilung der Algengruppen mit großer Genauigkeit wiedergeben.

Die einzelnen Gruppen von Phytoplankton wirken unterschiedlich auf das Klima und das marine Nahrungsnetz. Mit ihren Silikatschalen sind Kieselalgen wesentlich am Aufbau von biologischem Material beteiligt, das sich auf dem Grund des Ozeans ablagert. Blaualgen können selbst elementaren Stickstoff fixieren. Sie benötigen keinen organischen Stickstoff zum Wachsen. Die neuen Satellitenkarten ermöglichen es, zeitliche Veränderungen unterschiedlicher Algengruppen global zu beobachten. Die Auswirkungen des Klimawandels werden damit besser sichtbar.

In the Analysis of algae groups the absorption of additional substances has to be considered because these also absorb sunlight being reflected from the earth's and ocean surface and are then measured by the satellite: water itself and atmospheric trace gases, e.g. ozone. Only under consideration of all these contributions the phytoplankton can be quantitatively extracted. Clouds impede the satellite to recognize the colour of the ocean, so that algae maps cannot be created. Then only in-situ measurements help: the absorption characteristics and the composition of algae are directly determined on water samples and compared to the satellite data.

Scientist on-board the German research vessels 'Polarstern', 'Maria S. Merian' and 'Sonne' sampled and analysed phytoplankton in the Atlantic and Pacific Oceans during several ship expeditions. The satellite data have been validated, i. e. ground truthed by real samples. These comparisons and comparisons to a global biogeochemical model showed that the satellite maps depict the distribution of the algae groups with high accuracy.

The interaction of the different groups of phytoplankton with climate and the marine food web is heterogenous. With their silicate shells, diatoms contribute considerably to the buildup of biominerals, which are deposited at the sea floor. Blue algae can fix elementary nitrogen and therefore do not need organic nitrogen for their growth. The new satellite maps enable us to observe the temporal changes of different algae groups. They are a tool for detecting many more effects of climate change.

Was verrät der Jahreszyklus über die Klimaentwicklung der letzten Millionen Jahre?

Thomas Laepple, Gerrit Lohmann

Regelmäßige Temperatur-Schwankungen prägen das Klima der Erde auf langen Zeitskalen. Eis- und Warmzeiten sind die bekanntesten Varianten. Sehr langsamer Klimawandel wird den Variationen der Erdbahn um die Sonne zugeschrieben: Exzentrizität der Erdbahn (~100,000 Jahre), die Neigung der Erdachse (~41,000 Jahre) und die Präzession, das Taumeln der Rotationsachse (~21,000 Jahre).

Die aktuelle Forschung geht gleichzeitig mehreren Fragen nach: Über welchen Mechanismus haben die kleinen Schwankungen im Strahlungshaushalt einen Einfluss auf das Klima? Sind diese Zyklen global ausgeprägt? Wie variieren sie von Ort zu Ort, variieren z.B. die Pole synchron oder gegenläufig? Die Analyse der Einstrahlung und Temperatur des modernen Jahresgangs, d.h. der letzten zehn bis 50 Jahre, helfen dabei weiter. Auch beim Gang der Jahreszeiten beeinflusst die Erd-Sonnengeometrie das Klima. Die Einstrahlung kann berechnet werden, die moderne Temperatur wird direkt gemessen. Also kann der Zyklus genau analysiert werden.

Dabei zeigt sich, dass die Temperatur nicht einfach der Sonneneinstrahlung folgt. Die Erde reagiert - je nach Region - empfindlich oder aber weniger sensibel auf die Sommer- oder die Wintereinstrahlung (Abb. 10). Verantwortlich dafür sind verschiedene Faktoren: saisonale Änderungen der Meereisbedeckung, Variationen der Ozean-Deckschichttiefe, sowie saisonale Regenfälle. Solche jahreszeitabhängigen

What does the annual cycle tell us about climate change in the last millions of years?

Thomas Laepple, Gerrit Lohmann

Regular temperature variations are shaping the Earth's climate on long time scales. Ice ages and interglacial ages are the most known variants. Very slow climate change is attributed to variations in the Earth's orbit around the Sun: the eccentricity of the Earth's orbit (~100,000 years), the Earth's axial tilt (~41,000 years) and the precession, the gyration of the rotation axis (~21,000 years).

Current research investigates several questions: Which is the mechanism that transfers small variations in the radiation budget into an impact on climate? Are these cycles shaped globally? How do they vary from place to place; do the poles, for example, vary in a synchronous or in an opposite way? To approach these questions, it is useful to analyse the insolation and temperature of the modern seasonal cycle, i.e. the last ten to 50 years. The Earth-Sun geometry influences the climate during the seasonal cycle as well. As the insolation can be computed and the modern temperature is directly measured, this cycle can be analysed in detail.

It becomes apparent that the temperature does not simply follow the solar insolation. Depending on the region, the Earth reacts more or less sensitive to summer or winter insolation (Fig. 10). This is caused by different factors: seasonal changes in sea ice cover, variations in the ocean mixed layer depth as well as seasonal rainfalls. These seasonally dependent reactions also have a long-term influence on climate

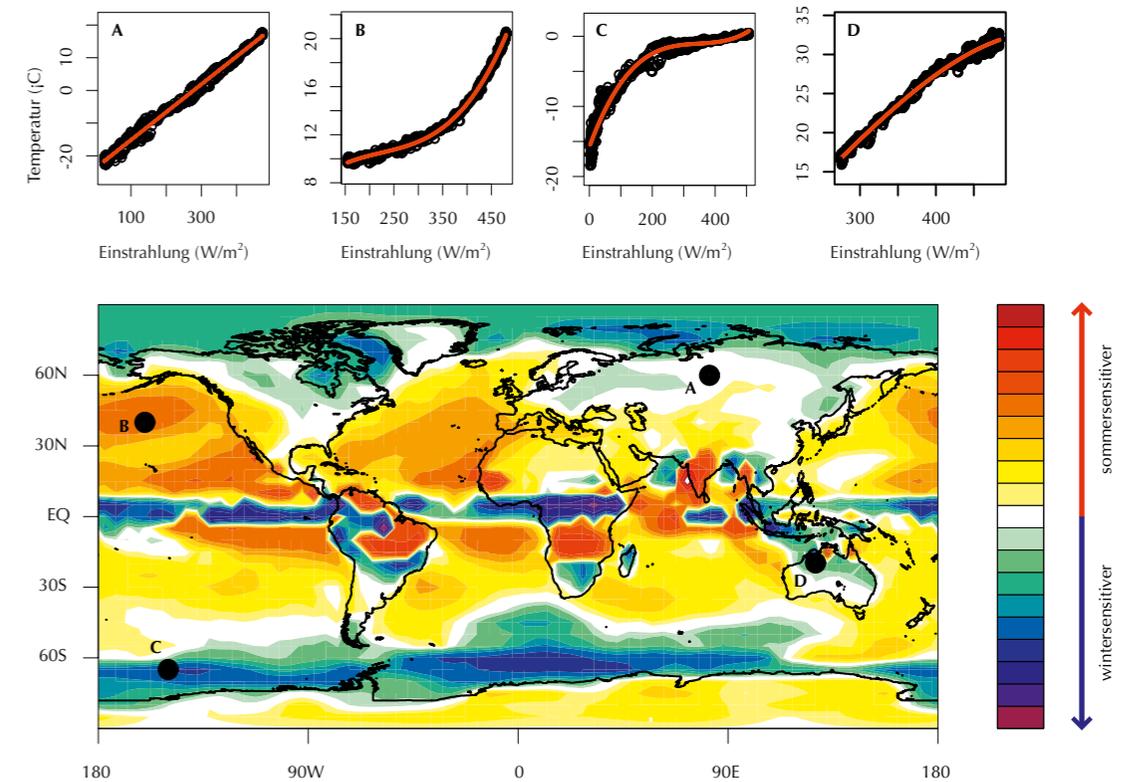


Abb. 10: Regionaler Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und Sonneneinstrahlung und Karte der jahreszeitlichen Temperatursensitivität. A: Auf Land, außerhalb der Tropen, reagiert die Temperatur auf die Einstrahlung aller Jahreszeiten gleichmäßig. B: Die geringere Tiefe der Ozeandeckschicht im Sommer verstärkt Empfindlichkeit gegenüber Sommereinstrahlung. C: Meereis im Winter stärkt die Reaktion auf die Einstrahlung im Winterhalbjahr D: Regenfall im Sommer schwächt den Einfluss der Sommereinstrahlung auf die Temperatur.

Fig. 10: Regional relation between surface temperature and solar insolation and map of seasonal temperature sensitivity. A: On extratropical land areas, the temperature reacts homogeneously to insolation during all seasons. B: The reduced depth of the ocean mixed layer in summer increases the sensitivity to summer insolation. C: Sea ice in winter reinforces the reaction to insolation in winter. D: Rainfall in summer weakens the impact of summer insolation on the temperature. (Modified by: T. Laepple und G. Lohmann, PO 2009.)

Reaktionen beeinflussen die Klimaentwicklung auch langfristig. Der Grund: Die Änderung der Erdbahn hält die mittlere Jahreseinstrahlung nahezu konstant, verteilt aber Energie zwischen den Jahreszeiten um, d.h. weniger Einstrahlung im Winter und mehr im Sommer oder umgekehrt. Reagiert das Klima empfindlicher auf die Änderung der Einstrahlung einer Jahreszeit, dann übersetzt sich das Einstrahlungssignal in ein langfristiges Temperatursignal und beeinflusst damit das Jahresmittel.

Wird diese gemessene Klimaantwort nun auf die Einstrahlungskurve der letzten Millionen Jahre angewendet, ergibt sich: Ein Großteil der langfristigen Klimavariabilität, die mit Hilfe von komplexen Klimamodellen gemessen wurde, kann mit lokalen Reaktionen auf höhere oder geringere Einstrahlung erklärt werden. Ferner werden je nach Region unterschiedlich starke Temperaturvariationen vorhergesagt (Abb. 11). So kann die Temperatur einer Region von der Präzession geprägt sein, während eine Nachbarregion im Takt der Erdschiefe (Neigung) variiert. Klimaindikatoren bestätigen diese Beobachtung.

Auch bei der Interpretation von Klimaindikatoren lernen wir vom modernen Jahreszyklus. Durch den Jahresgang der Schneeeablagerung in Eisbohrkernen der Antarktis kann z.B. das Temperatursignal im Eisbohrkern nicht als Jahresmittel aufgefasst werden: Weil im Sommer Schnee verdunstet, geht ein Teil des Sommersignals verloren. Das Temperatursignal im Eisbohrkern ist dadurch verzerrt. Entgegen dem klassischen Ansatz, in der Temperaturrekonstruktion werde das nordhemisphärische Sommersignal und eine globale Verbindung gefunden, kann das gefundene Muster der Präzession der Erdschneise auch einfacher als lokale Antwort auf die Einstrahlung in Verbindung mit der saisonalen Schneeeablagerung interpretiert werden.

change. The reason: The variation in the Earth's orbit keeps the mean annual insolation nearly constant, but it redistributes energy between the seasons, i.e. less insolation in winter and more in summer or vice versa. When the climate reacts sensitive to an insolation change of a specific season, the insolation signal translates into a long-term temperature signal and thus influences the annual mean.

The measured climate response is now applied to the insolation time-series of the last millions of years. The results: A large part of long-term climate variability, which was derived using complex climate models, can be explained by local reactions to insolation changes. Furthermore, the predicted temperature variations strongly depend on the region (Fig. 11). The temperature in one area can thus be shaped by the precession cycle while an adjacent area varies in time with the Earth's obliquity (tilt). Climate indicators confirm this observation.

When interpreting climate indicators, we also learn from the modern annual cycle. Owing to the seasonal change of snow accumulation in Antarctic ice cores, the temperature signal in the ice core, cannot be interpreted as an annual mean: As snow evaporates in summer, part of the summer signal gets lost. The temperature signal in the ice core is thus biased. Contrary to the classical approach that the summer signal of the northern hemisphere is found in the Antarctic temperature reconstruction, the detected pattern of the precession of the Earth's axis can also be interpreted more simply as a response to local insolation in combination with seasonal snow accumulation.

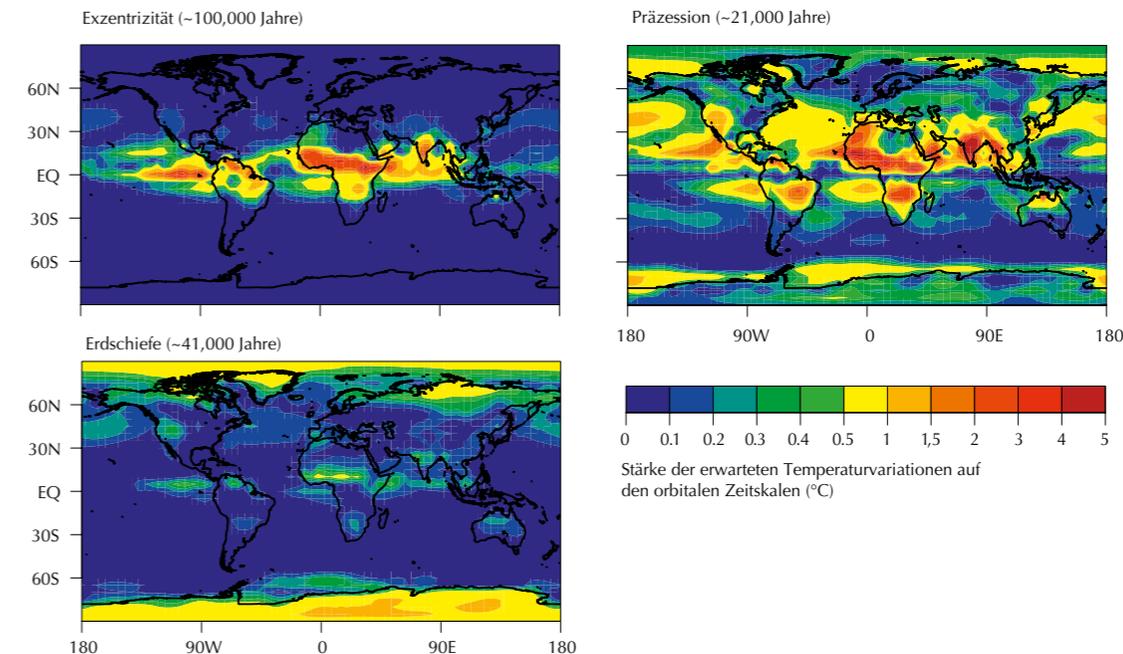


Abb. 11: Temperaturvariationen der letzten eine Million Jahre. Die Karten zeigen die durch lokale Einstrahlung erwartete Stärke der Temperaturschwankungen in den jeweiligen Rhythmen der Erd-Sonnengeometrie.

Fig. 11: Temperature variations of the last millions of years. The maps show the strength of the temperature variations that are expected due to local insolation in the respective rhythms of the Earth-Sun geometry.

Modified by: T. Laepple und G. Lohmann, PO 2009.

Wie groß der relative Effekt der örtlich nahen und ferneren Wirkungen ist, und ob ähnliche Prozesse auch Klimadaten aus dem Ozeansediment betreffen, ist noch unbekannt. Um das vergangene Klima zu entschlüsseln, müssen wir wissen, wie sich das Strahlungssignal jahreszeitlich in das Klimasignal transferiert und wie Klimasignale in Klimaindikatoren übersetzt werden.

It is still unknown how large the relative influence of the local and remote impacts is and whether similar processes also concern climate data from the ocean sediment. To decipher past climate, we must know how the insolation signal seasonally transfers into the climate signal and how climate signals are translated into climate indicators.

Der Puls der Atmosphäre: Dekadisches Auf und Ab

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff,
Sascha Brand, Matthias Läufer

Sektion Atmosphärische Zirkulationen

Atmosphärische und ozeanische Zirkulationssysteme bestimmen den mittleren Zustand der Atmosphäre, der dekadischen Schwankungen unterliegt. Betrachtet man die globale Mitteltemperatur der Erde, so ergibt sich über die letzten Jahrzehnte ein Erwärmungstrend, dem Perioden mit abnehmender Temperatur überlagert sind. Diese Temperaturentwicklung wird sowohl durch äußere Antriebsfaktoren als auch durch komplexe nichtlineare Prozessketten (z.B. die Eis-Albedo-Rückkopplung) innerhalb des Klimasystems verursacht.

Computer-Modelle des Erdsystems ermöglichen ein besseres Verständnis dekadischer Klimaschwankungen. Diese Modelle offenbaren einen Schlüsselmechanismus der dekadischen Schwankungen: Das Klimasystem erzeugt bevorzugte atmosphärische Zirkulationszustände, und dekadische Variabilität entsteht durch unregelmäßige Übergänge zwischen diesen verschiedenen großskaligen Zirkulationszuständen.

The pulse of the atmosphere: The decadal Ups and Downs

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff,
Sascha Brand, Matthias Läufer

Section Atmospheric Circulations

The mean state of the atmosphere, characterised by decadal variations, is determined by atmospheric and oceanic circulation systems. By examining the global mean temperature of the Earth, a warming trend over the last decades is observed superimposed by periods with decreasing temperature. This temperature series is caused by external forcing factors as well as complex nonlinear processes (e.g. the ice-albedo feedback) within the climate system.

Computer models of the Earth system enable an improved understanding of decadal climate variations. These models have revealed a key mechanism: the climate system generates preferred atmospheric circulation states and decadal variability arises due to irregular transitions between the different large-scale circulation states.

Für das Klima der Nordhalbkugel – insbesondere Europas – spielt das Zirkulationsmuster der Arktischen Oszillation (AO) eine große Rolle. Es tritt in den zwei Zuständen der positiven (AO+) und negativen Phase (AO-) auf. In der positiven Phase zeigt das Bodenluftdruckmuster starke Luftdruckunterschiede zwischen den Aktionszentren in der Arktis und den mittleren Breiten (Abb. 12a). Damit ist eine starke westliche Strömung mit verstärktem Transport warmer und feuchter Meeresluft nach Nord- und Mitteleuropa verbunden. Solche Verhältnisse traten in den 1990er Jahren gehäuft auf und verursachten die häufigen milden europäischen Winter. Dementsprechend sind in der Zeitreihe des AO-Index in Abb. 12b positive Werte ablesbar. In der negativen Phase der AO mändriert die großskalige atmosphärische Strömung viel stärker und transportiert kalte Polarluft nach Europa.

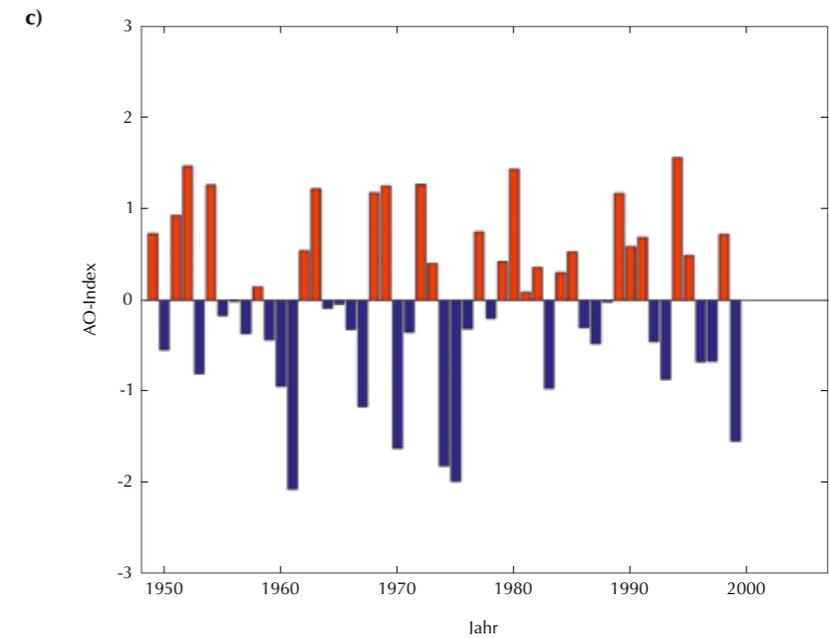
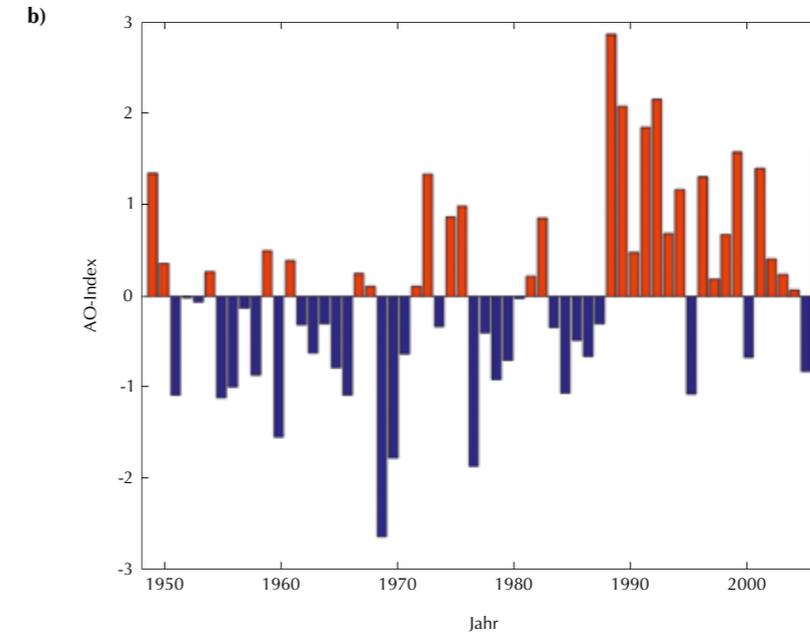
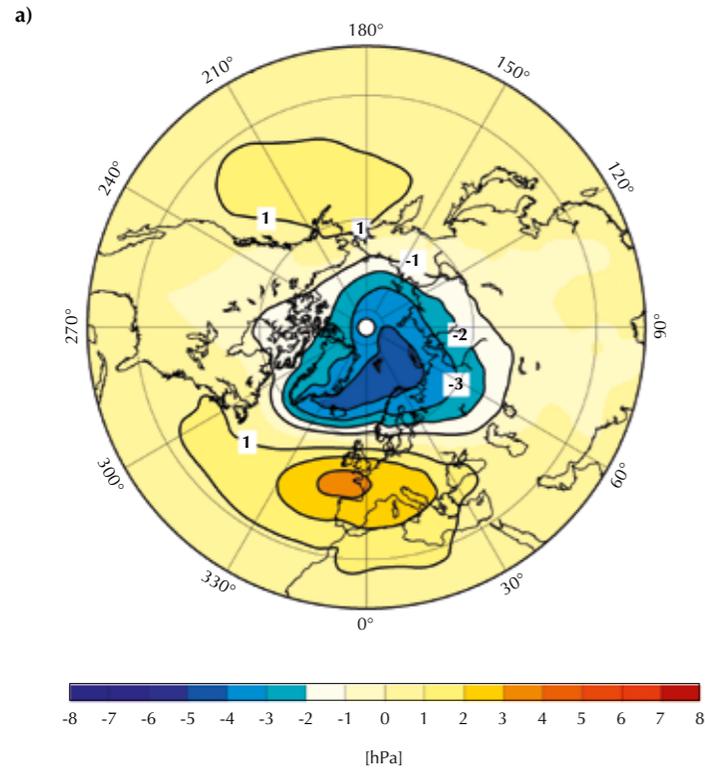
Simulationen des gegenwärtigen Klimas mit Klimamodellen zeigen, dass das räumliche Muster der AO sehr gut wiedergegeben wird. Der zeitliche Verlauf wird jedoch nicht abgebildet. Die simulierte AO-Zeitreihe des Klimamodells des Max-Planck-Instituts, Hamburg, (Abb. 12c) ist dafür exemplarisch.

The circulation pattern of the Arctic oscillation (AO) plays an important role for the climate of the Northern Hemisphere and especially that of Europe. The AO appears in the two states of the positive (AO+) and negative phase (AO-). The pattern of the mean sea-level pressure displays strong pressure differences between the centres of action in the Arctic and in the mid-latitudes during the positive phase (Fig. 12a). This results in a strong westerly flow of relatively warm and moist air from the Atlantic to North and Middle Europe. Such conditions occurred more frequently during the 1990s and caused the frequent occurrence of mild European winters. Accordingly positive values can be detected from the time-series of the AO-index in Fig. 12b. The large-scale atmospheric flow displays blocking patterns during the negative phase of the AO and transports cold polar air to Europe.

Simulations of the present-day climate, performed with climate models, show the good reproduction of the spatial pattern of the AO. However, the temporal development is not well simulated. This is illustrated by the time-series of the AO, simulated by the climate model of the Max Planck Institute, Hamburg, in Fig. 12c.

Abb. 12: (a) Bodenluftdruckmuster für die positive Phase der Arktischen Oszillation, bestimmt aus NCEP/NCAR-Reanalysedaten, Wintermittel 1948-2007. (b) Zugehörige Zeitreihe des AO-Index, NCEP/NCAR-Reanalysedaten Wintermittel 1948-2007. (c) Zeitreihe des AO-Index, bestimmt aus einer Simulation des Klimas des 20. Jahrhunderts mit dem Klimamodell ECHAM5/OM1 des MPI Hamburg für den IPCC AR4, Wintermittel 1948-1999.

Fig. 12: (a) Pattern of mean sea-level pressure of the positive phase of the Arctic Oscillation, determined from NCEP/NCAR-Reanalysis data, winter means 1948-2007. (b) Corresponding time-series of the AO-Index, NCEP/NCAR-Reanalysis data, winter means 1948-2007. (c) Time-series of the AO-Index, determined from a simulation of the climate of the 20th century, performed with the climate model ECHAM5/OM1 of the MPI Hamburg for the IPCC AR4, winter means 1948-1999.



Um die dekadische Klimavariabilität zu erfassen, müssen Klimamodelle die beobachteten bevorzugten atmosphärischen Zirkulationszustände und die Häufigkeit ihres Auftretens gut wiedergeben können. Mit statistischen Analysen wurden die Simulationen von vier Klimamodellen sowie Beobachtungsdaten bearbeitet, um die bevorzugten Zirkulationszustände zu bestimmen. In guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen zeigen die Klimamodelle für die mittlere Troposphäre im 20. Jahrhundert vier bevorzugte Zirkulationszustände, zu denen auch die AO+ und AO- Zustände gehören. Die Häufigkeit des Auftretens dieser Zustände zeigt für die Klimamodelle ein ähnliches Verhalten wie die Beobachtungen mit einem etwas häufigeren Auftreten des AO- Zustandes (s. Abb. 13).

Eine ähnliche Analyse von Modellsimulationen für das 21. und 22. Jahrhundert, bei der ein moderater Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen unterstellt wird, ergibt sechs bevorzugte Zirkulationszustände – wiederum mit den AO+ und AO- Zuständen. Dies bestätigt, dass sich ein Wandel im äußeren Antrieb, in diesem Fall ein Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre, auf natürliche Zirkulationsmuster projiziert. Gleichzeitig ändert sich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in den einzelnen Zirkulationszuständen, die meisten Modelle zeigen im Vergleich zu den Simulationen des 20. Jahrhunderts eine schwache Zunahme der Häufigkeit des AO+ Zustandes und eine geringe Abnahme der Häufigkeit des AO- Zustandes (s. Abb. 13). Dadurch wird die dekadische Klimavariabilität modifiziert.

In order to capture the decadal climate variability, climate models have to be able to reproduce the observed preferred atmospheric circulation states as well as the frequency of their occurrence. To determine the preferred circulation states, simulations of four state-of-the-art climate models and observational data have been analysed by statistical methods. The climate models revealed four preferred circulation states for the middle troposphere of the 20th century, including the AO+ and AO- state. This is in good agreement with the observations. The frequency of occurrence of these states shows a similar behaviour to the observations, with a slightly enhanced occurrence of the AO- state (Fig. 13).

A similar analysis was performed for model simulations of the 21st and 22nd century with a prescribed moderate increase of the concentration of greenhouse gases. The analysis gave evidence for six preferred circulation states, again including the AO+ and AO- state. This result confirms, that changes of external forcing factors, in this case an increase of greenhouse gases in the atmosphere, projects onto natural circulation patterns. Simultaneously, the frequency of occurrence of the different states is changed. In comparison to the simulations for the 20th century, most models display slightly more frequent AO+ states and slightly less frequent AO- states (Fig. 13). In this way, the decadal climate variability is modified.

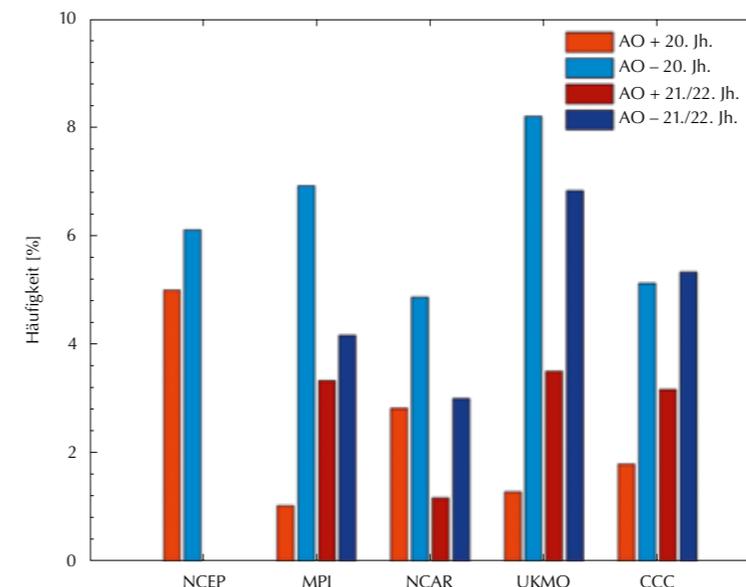


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung für das Auftreten der Regime AO+ und AO- in der mittleren Troposphäre. Gezeigt werden die Ergebnisse für die NCEP/NCAR-Reanalysedaten (Monatsmittel der Wintermonate von 1948-1999) und für Simulationen mit 4 komplexen Klimamodellen jeweils für das 20. Jahrhundert (Monatsmittel der Wintermonate von 1870-1999) und für das 21./22. Jahrhundert (Monatsmittel der Wintermonate von 2000-2199).

(The four models are:

MPI=ECHAM5/MPI-OM, Max Planck Institute for Meteorology, Germany;

NCAR=CCSM3, National Center for Atmospheric Research, USA;

UKMO=UKMO-HadCM3, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK;

CCC=CGCM3.1(T63), Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis.)

Fig. 13: Frequency distribution for the occurrence of the AO+ and AO- states in the middle troposphere. Results are shown for the NCEP/NCAR-Reanalysis data (monthly means of the winter month 1948-1999) and for the simulations with four complex climate models for the 20th century (monthly means of the winter month 1870-1999) and for the 21st and 22nd century (monthly means of the winter month 2000-2199).

Das Eisendüngungsexperiment LOHAFEX

Philipp Assmy, Christine Klaas, Victor Smetacek,
Dieter Wolf-Gladrow

Die einzelligen Algen im Ozean, das so genannte Phytoplankton, erzeugen organische Substanz aus CO₂ und Nährstoffen. Sie liefern damit die Nahrung für alle marinen Lebewesen und spielen eine Schlüsselrolle bei der Regulation von atmosphärischem CO₂. Im Südlichen Ozean begrenzt Eisenmangel das Algenwachstum. Daher ist diese Region unproduktiv aber reich an Pflanzennährstoffen. Während der kalten, trockenen Eiszeiten war die Zufuhr von eisenhaltigem Staub zum Südlichen Ozean erheblich höher. Die dadurch erhöhte Algenproduktion hat möglicherweise wesentlich mehr CO₂ im Südlichen Ozean gebunden als heute. Die niedrigeren, eiszeitlichen CO₂-Konzentrationen wären dadurch erklärbar. Die Eisenhypothese wurde mit Hilfe von fünf Eisendüngungsexperimenten im landfernen Ozean getestet, zwei davon durch das Alfred-Wegener-Institut. Bei den Versuchen wurden Phytoplanktonblüten, dominiert von Kieselalgen (Diatomeen), erzeugt. Diese Algenklasse ist mit einem Panzer aus Silizium (Glas) geschützt.

The Iron Fertilization Experiment LOHAFEX

Philipp Assmy, Christine Klaas, Victor Smetacek,
Dieter Wolf-Gladrow

Organic matter produced from CO₂ and nutrients by the unicellular algae (phytoplankton) of the ocean provides food to all marine organisms and, by sinking carbon to the deep ocean, plays a key role in regulating atmospheric CO₂ levels. Productivity of the Southern Ocean is low despite abundant nutrients, because iron deficiency limits phytoplankton growth.

During the cold, dry ice ages the abundant supply of iron-rich dust to the Southern Ocean will have stimulated productivity resulting in sequestration of much more carbon than today, which could explain the lower atmospheric CO₂ levels. This iron hypothesis has been tested by five iron fertilization experiments (two from RV 'Polarstern') carried out in severely iron-limited, open ocean waters which all stimulated phytoplankton blooms dominated by diatoms, an algal class with a protective shell made of silica (glass).



Abb.14: Fahrtteilnehmer der Forschungs-
expedition LOHAFEX auf FS 'Polarstern'

*Fig. 14: Participants of the LOHAFEX cruise
onboard the RV 'Polarstern'
(Photo: T. Bresinsky)*

Das deutsch-indische Experiment LOHAFEX (Loha = Hindi für Eisen) wurde dagegen im Vergleich zu den Vorgängerexperimenten im Silizium-armen Wasser des südwestlichen atlantischen Sektors des Antarktischen Zirkumpolarstroms, einer kalten Meeresströmung auf der Südhalbkugel, durchgeführt. Das LOHAFEX-Team von Physikern, Chemikern und Biologen war von Januar bis März 2009 auf dem Forschungsschiff ‚Polarstern‘ unterwegs und verwendete zehn Tonnen gelöstes Eisensulfat, um eine Fläche von 300 km² im Zentrum eines Ozeanwirbels zu düngen. Binnen zwei Wochen entstand eine Phytoplanktonblüte im eisenreichen Wasser, die danach - trotz einer weiteren Düngung - nicht weiter zunahm. Siliziummangel begrenzte das Wachstum von Diatomeen. Die Biomassen von anderen großen Phytoplanktonarten, die in Küstengewässern häufig Blüten erzeugen, wurden durch den Wegfraß der großen Zooplanktonbestände, vor allem der Ruderfußkrebse (Copepoden), in Schach gehalten. Die Blüte bestand aus nackten, begeißelten Algen (Flagellaten), die sich am unteren Ende des Nahrungsspektrums (<5 µm) von Copepoden befinden. Obwohl sie sich vorwiegend wie Pflanzen ernähren, fressen diese Flagellaten auch Bakterien. Daher blieben die Bakterienbestände außergewöhnlich niedrig. Vermutlich wurde das Nährstoff-Recycling, einschließlich Eisen, vom Zooplankton bewältigt. Dieser überraschende Befund widerlegt die Meinung, dass Bakterien notwendigerweise an der Basis aller Recyclingsysteme stehen.

In contrast, the joint Indo-German experiment LOHAFEX (Loha is the Hindi word for iron) was carried out from RV 'Polarstern' in the silicon-depleted waters of the productive south-west Atlantic sector of the Antarctic Circumpolar Current (ACC) from January to March 2009. The LOHAFEX team of physicists, chemists and biologists fertilised a patch of 300 km² with a solution of 10 tonnes of iron sulphate in the centre of an eddy. The fertilised phytoplankton formed a bloom within two weeks but biomass stopped growth thereafter, despite a second fertilisation. Diatom increase was limited by the lack of silicon and the other large algal species, that form extensive blooms in coastal waters, were heavily grazed by the large population of zooplankton, chiefly copepods. The bloom was hence composed of naked, motile algae, known as flagellates, smaller (<5 µm) than the size range accessible to copepod grazing. Although primarily plants, these small algae also feed on smaller cells including bacteria whose cell numbers remained unusually low throughout, presumably due to this grazing pressure. Hence most of the nutrient recycling (including iron) was carried out by the zooplankton. This is a particularly surprising finding because the microbial food web based on bacteria is believed to be at the base of all recycling plankton ecosystems.

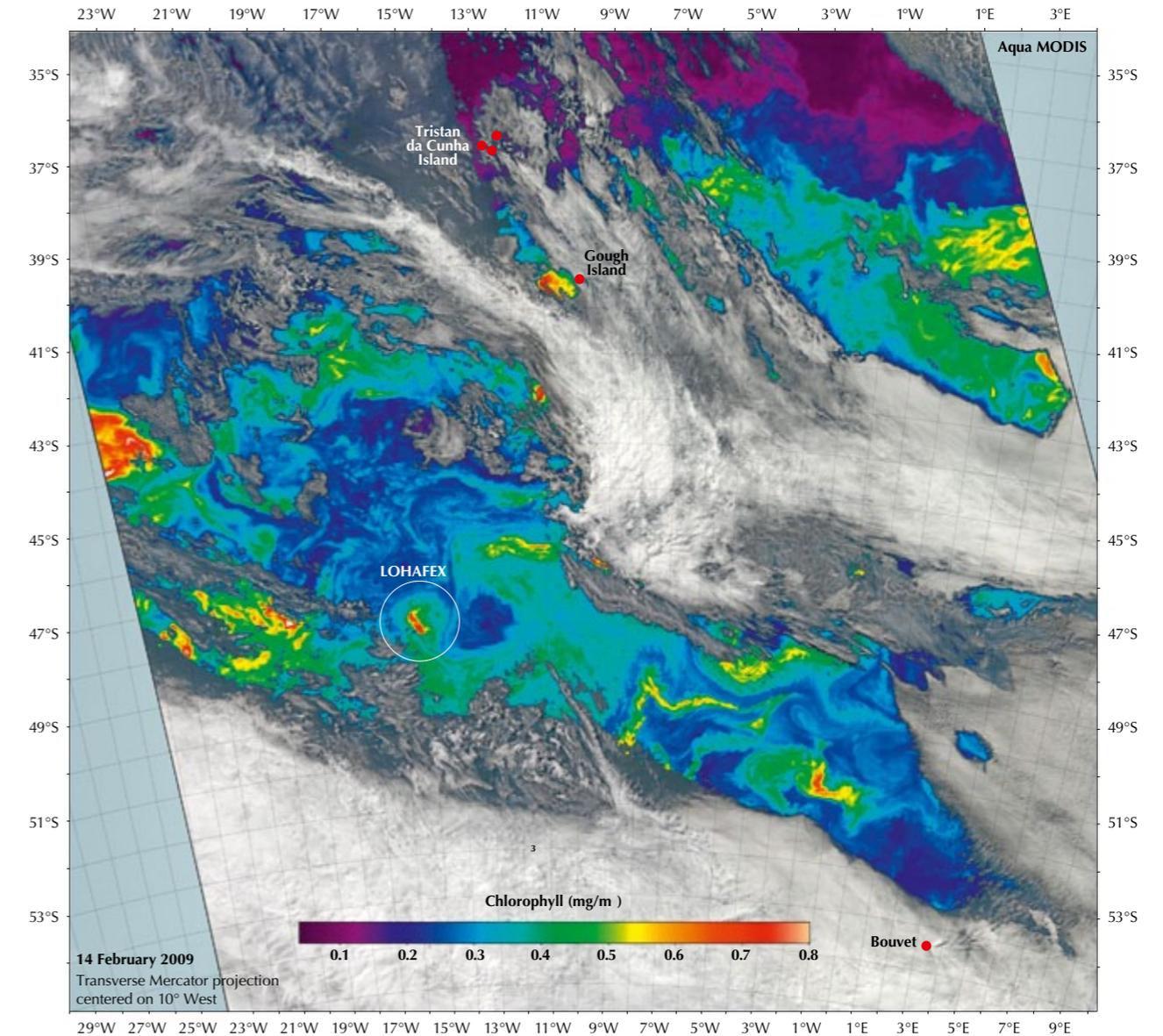


Abb.15: Chlorophyll a Satellitenaufnahme der LOHAFEX Blüte von der NASA Web-Seite (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/image_archive.cgi)

Fig. 15: Chlorophyll a satellite picture of the LOHAFEX bloom from the NASA website (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/image_archive.cgi).

Die gleiche Planktongemeinschaft herrschte auch im ungedüngten Wasser vor, allerdings bei niedrigeren Biomassen. Sie war somit nicht durch die künstliche Düngung bedingt, sondern Folge des starken Fraßdrucks bei fehlender Siliziumverfügbarkeit für Diatomeenwachstum. Die Mengen absinkender Partikel innerhalb und außerhalb des Flecks waren ungefähr gleich. Daher kann angenommen werden, dass die Eisendüngung unter den gegebenen Bedingungen nicht zur erhöhten Einlagerung von Kohlenstoff im Ozean führt. Ein wichtiger Befund von LOHAFEX: Andere Algengruppen sind nicht imstande, große Blüten wie die der Diatomeen aufzubauen, obwohl sie von der Eisenzugabe stimuliert wurden. Wegen des niedrigen Siliziumgehalts im gesamten nördlichen Teil des Südlichen Ozeans, wird die großflächige Düngung dieses Gebiets eine nur geringe Wirkung auf den CO₂-Gehalt der Atmosphäre haben. Daher sind weitere Experimente notwendig, um die Eignung dieser Methode für die CO₂-Entsorgung zu erforschen.

The same type of plankton community also prevailed in surrounding waters but at lower levels of biomass, indicating that this novel ecosystem structure was not an artefact of the fertilisation, but was shaped by heavy grazing pressure in the absence of silicon for diatoms. Loss rates of carbon by particles sinking from the surface layer were the same inside and outside the patch indicating that iron fertilization under these conditions does not lead to significantly more carbon being sequestered in the ocean. Hence a major finding of LOHAFEX was that other algal groups, although stimulated by iron fertilization, are unable to make blooms equivalent to those of diatoms. Since the silicic acid content in the entire northern half of the Southern Ocean is low, large-scale iron fertilization in this vast region is not likely to remove significant amounts of CO₂ from the atmosphere. Clearly more research is needed to determine the feasibility of this technique as a geo-engineering option.



Abb.16: Copepodit-Stadien der Ruderfußkrebsart *Calanus simillimus*

Fig. 16: Copepodite stages of the copepod species Calanus simillimus (Photo: M.G. Mazzocchi)

Ein nützliches genetisches Erbe - Wie alte Gene das Überleben in neuen Lebensräumen ermöglichen

Doris Abele, Ellen Weihe, Magnus Lucassen,
Christoph Held, Kevin Pöhlmann

Die Napfschnecke *Nacella concinna* gehört zu den wenigen Gewinnern des Klimawandels in den Küstengebieten der West-Antarktis. Durch das Abschmelzen der Landgletscher werden große Teile des Gezeitenbereichs ganzjährig eisfrei, was den Schnecken die Besiedlung eines neuen Lebensraums mit verbesserter Nahrungsgrundlage ermöglicht. Auf der anderen Seite stellt der Gezeitenbereich extreme Anforderungen an die Physiologie seiner Bewohner. Gewöhnt an enge Temperaturfenster um 0 °C werden die Organismen bei Ebbe direkter Sonneneinstrahlung und damit plötzlicher Temperaturerhöhungen ausgesetzt, während im Gezeitenbereich schon geringfügig fallende Temperaturen, etwa in der Nacht, akute Gefahr durch Einfrieren bedeuten. Nur wenige Spezialisten können hier Fuß fassen.

Die Napfschnecken haben sich angepasst: Während ein Teil der Population den antarktischen Gezeitenbereich erobert hat, hält sich die andere Teilpopulation weiterhin ganzjährig in Wassertiefen unterhalb von 10 Meter auf, wo die Umweltschwankungen deutlich geringer ausfallen. Die Tiere aus der Gezeitenzone besitzen ein höheres und stabileres Schneckchenhaus als ihre tiefer lebenden Artgenossen, das bei

A convenient genetic heritage - How ancestral genes help to survive in new habitats

*Doris Abele, Ellen Weihe, Magnus Lucassen,
Christoph Held, Kevin Pöhlmann*

*The limpet *Nacella concinna* seems to be among the few winners which benefit from the rapid climate change currently affecting the coastal areas at the West Antarctic Peninsula. Retreating land glaciers opened newly ice-free areas along the Peninsula shore line, providing new habitats with rich algal vegetation; a profitable feeding ground for limpets. However, the Antarctic intertidal is also extremely challenging for its inhabitants. Adapted to narrow thermal tolerance windows around 0 °C, organisms are exposed to direct impact of solar irradiation and quickly heated up on sunny days, whereas temperatures falling by only a couple of degrees centigrade over night bear the acute danger of freezing on the rocky surfaces. It takes real specialists to survive here.*

The limpets could make it: part of their population has conquered the Antarctic intertidal, while the other subpopulation remains in water depths below 10m, where the vacillation of environmental factors is low. Intertidal limpets have a higher and more stable shell than their deeper dwelling relatives, which they can contract over their soft body in order

Trockenfall den Weichkörper einschließt und vor Austrocknung und Vereisung schützt. Die Schnecken können weiterhin aktiv bleiben und ihren Energiebedarf zusätzlich durch anaerobe Gärung decken. Bei längerem Trockenfall oder bei zu niedrigem Sauerstoffgehalt im Schneckchenhaus greifen diese Tiere auf ein evolutionär altes molekulares Regulationssystem zurück, den Hypoxie-induzierten Faktor (kurz HIF). Dieser Transkriptionsfaktor wird für kurze Zeit aktiviert, in welcher er Gene anschaltet, die unter anderem die Nutzung anaerober Stoffwechselwege verstärken. Unsere Experimente zeigen, dass Artgenossen aus dem Sublitoral HIF während des Trockenfalls nicht aktivieren können. Sie leiden stärker unter Sauerstoffmangel und Temperaturschwankungen und sind den Extrembedingungen in der Gezeitenzone nicht gewachsen.

to avoid desiccation and freezing. In so doing, limpets can stay active and cover energy demand through anaerobic fermentation. On longer-lasting aerial exposure or when oxygen deficiency occurs in the shell, the limpets activate an evolutionary old molecular regulation system, the hypoxia inducible factor (short HIF). This transcription factor is transiently activated and switches on genes that, among other things, reinforce anaerobic energetic pathways. Our experiments also showed that sublitoral limpets failed to induce HIF during aerial exposure. They suffer more from oxygen deficiency and thermal stress and are not well equipped in confronting extreme intertidal conditions.



Abb. 17: Bei Niedrigwasser sind die Napfschnecken im Felswatt von Austrocknung bedroht.

Fig. 17: *Limpets are air exposed during low tides. (Photo: D. Abele)*

Der molekulare Stammbaum des Regulationsproteins HIF (Abb. 20) zeigt, wie sich das evolutionär alte System von den Schnecken bis hin zum Menschen diversifiziert hat. Während die Schnecken mit einem HIF auskommen, besitzen wir Menschen drei unterschiedliche Gewebe-spezifische Varianten. Dabei bleibt die ur-sprüngliche Funktion, eine Sauerstoffunterversorgung der Gewebe zu verhindern, erhalten. Beim Menschen wird das System aktiv, wenn zum Beispiel bei Herzinfarkt oder Hirnschlag die Sauerstoffversorgung kritische Werte unterschreitet. Unsere Gewebe sind tatsächlich in einem viel höheren Maße durch Sauerstoffmangel bedroht als die der langsamen Napfschnecken.

HIF ist ein eindrucksvolles Beispiel dafür, wie wir einerseits die Anpassungsfähigkeit wirbelloser Meeresorganismen bei der Besiedlung neuer Lebensräume studieren können und gleichzeitig die Grundlagen molekularer Mechanismen in evolutionsbiologisch frühen Organismen besser verstehen lernen – ein nützliches Erbe, sollte uns selbst einmal die Luft knapp werden.

The molecular tree of known HIF genes (Fig. 20) shows how this evolutionary old system has evolved and diversified between limpets and humans. Whereas the limpets make do with only one HIF isoform, humans need three tissues specific variants. At the same time, the original function of the protein, consisting in the stabilization of tissue oxygen levels, has been conserved throughout the evolutionary process. HIF is activated in human tissues when oxygen concentrations fall below critical values during stroke or heart attack. Indeed, our tissues are much more sensitive to oxygen deficiency than those of the slow living limpets.

HIF is an insightful example of how we can investigate the adaptive capacities of marine invertebrates as they colonize new habitats in a changing world, and, at the same time, learn more about the basic mechanisms of molecular evolution between simple organisms and human beings – a useful heritage in case we should happen to run low in oxygen.



Abb. 18: Das Felswatt auf King-George Island in der Antarktis.

Fig. 18: The rocky shore intertidal at King-George Island, Antarctica. (Photo: D. Abele)

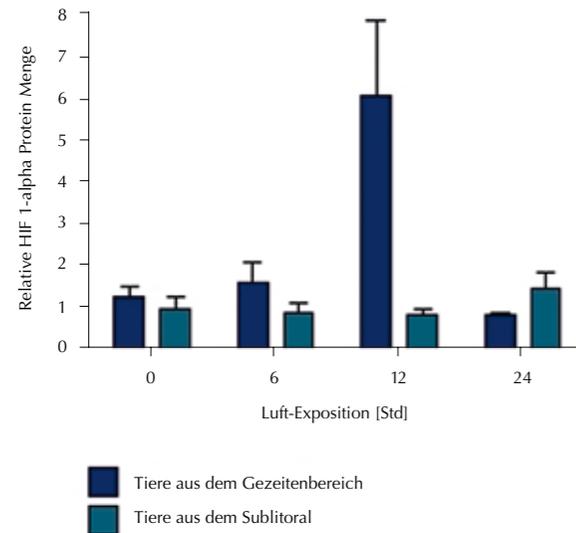


Abb. 19: Relative HIF-alpha Proteinmenge in Napfschnecken aus dem Gezeitenbereich (dunkelblau) und aus dem Sublittoral aus 15 m Wassertiefe (hellblau) während eines Luftexpositions-Experiments. Beide Gruppen von Schnecken besitzen das HIF-Protein, aber nur in den Schnecken aus dem Gezeitenbereich wird die HIF Menge nach 12h Trockenfall um das 5-fache hochreguliert. Nur die an Trockenfall angepassten Schnecken schaffen es, Gene zu aktivieren, die ihnen das Überleben in dieser Extremsituation erleichtern.

Fig. 19: The relative amount of HIF-alpha protein in limpets from the intertidal (dark blue) and from the sublittoral in 15m water depth (light blue) during an air exposure experiment. Both groups of limpets express the protein but only in the intertidal limpets the protein levels are 5-fold increased after 12h of exposure to air. Only those limpets naturally adapted to air exposure on the higher shore levels are able to activate genes that help them to survive this extreme situation. (Graphic: E. Weihe, K. Pöhlmann, AWI)

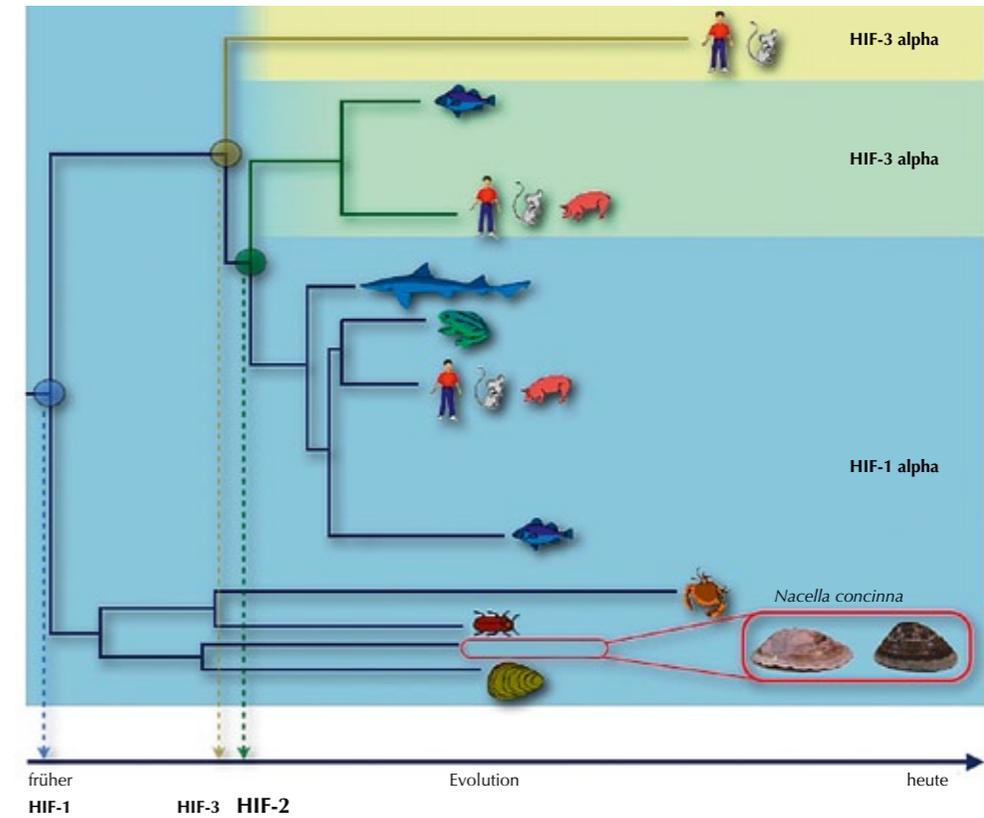


Abb. 20: Der genetischer Stammbaum des HIF-alpha Proteins (Hypoxie induzierter Faktor) zeigt die Verteilung der 3 Isoformen (strukturell unterscheidbare Versionen des Proteins) über die unterschiedlichen Tiergruppen. HIF-1 (blau) findet sich in allen bisher untersuchten Organismen und stellt die evolutionär älteste Variante des Proteins dar (x-Achse). Das grüne HIF-2 alpha wurde nur in Wirbeltieren, das gelbe HIF-3 nur in Säugetieren nachgewiesen. Beide Formen sind später in der Evolution in den komplexeren Tieren entstanden. Wirbellose Tiere wie z. B. die Napfschnecken besitzen eine besondere und sehr ursprüngliche Variante von HIF-1.

Fig. 20: The genetic tree of the HIF protein (hypoxia inducible factor) shows the distribution of three different protein isoforms (structurally differing versions of the protein) among animal groups. HIF-1 (blue) is found in all investigated species including the invertebrate fauna and has occurred early in the evolution of species. Especially the invertebrate HIF represents an evolutionary old protein version (x-axis). The green HIF-2 alpha has been located only in vertebrates and the yellow HIF-3 alpha only in mammals, indicating both protein isoforms to have originated when organisms of higher complexity evolved. (Graphic: K. Pöhlmann, AWI)

Verursacher von Muschelvergiftungen identifiziert

Urban Tillmann, Malte Elbrächter, Bernd Krock,
Uwe John, Allan Cembella

Der Ursprung des Nervengiftes Azaspiracid, das nach Anreicherung in Muscheln zu schweren Vergiftungen beim Menschen führen kann, ist gefunden. Eine winzig kleine Planktonart, der bisher unbekannt und nun neu beschriebene Dinoflagellat *Azadinium spinosum*, wurde aus dem Meer isoliert, im Labor vermehrt und als Produzent der Giftstoffe identifiziert.

Muscheln sind für viele eine Delikatesse, die allerdings nicht immer ganz ungefährlich ist. Seit langem ist bekannt, dass ihr Verzehr zu ernsten Vergiftungen mit Durchfall, Übelkeit, Erbrechen und Lähmungsercheinungen führen kann. Die Ursache sind zumeist Nervengifte, die von bestimmten Arten planktischer Einzeller, den „toxischen Algen“ im Meer, produziert werden. Muscheln filtern im Laufe der Zeit riesige Mengen Planktonorganismen aus dem Wasser. Dabei können sie auch Toxine aufnehmen und anreichern. Die neuste als giftig identifizierte Gruppe von Algengiftstoffen sind sogenannte Azaspiracide. Vergiftungen mit Azaspiraciden traten erstmalig 1995 in den Niederlanden nach dem Verzehr von irischen Muscheln auf. Zwei Jahre später war die Substanz, ein Nervengift komplizierter Struktur, aus Muschelfleisch isoliert und identifiziert. Seit mehreren Jahren arbeiten nun Forscher mit Hochdruck daran, die Nachweismethoden zu verfeinern. Um Vergiftungsfolgen für den Menschen zu vermeiden oder wirkungsvolle Grenz-

Cause of Shellfish Poisoning Identified

Urban Tillmann, Malte Elbrächter, Bernd Krock,
Uwe John, Allan Cembella

*The origin of the neurotoxin azaspiracid, which can lead to serious poisoning in humans after consumption of shellfish that have accumulated this toxin, has been found. A tiny type of plankton, formerly unknown and now newly described as the dinoflagellate *Azadinium spinosum*, was isolated from the sea, cultured in the laboratory and identified as the toxin producer.*

Shellfish are considered by many to be a delicacy, but they are not always without risk. For a long time it has been known that consumption of toxic shellfish can cause symptoms including diarrhea, nausea, vomiting and paralysis. The cause is most often neurotoxins that can be produced by certain types of single-celled plankton, known as "toxic algae", in the sea.

Over time, shellfish filter a large quantity of planktonic organisms from the water. In this way they can also take up and accumulate the toxins contained therein. The most recent group of newly identified algal toxins are the so-called azaspiracids. Poisoning by azaspiracids occurred for the first time in 1995 in the Netherlands after consumption of blue mussels from Ireland. Two years later a neurotoxin with a complicated structure was isolated and identified from mussel tissues. For several years researchers have worked intensively to improve the detection methods. In order to prevent further incidents of

werte für Muscheln festlegen zu können, müssen sie die Giftigkeit und die Wirkmechanismen dieses Nervengiftes entschlüsseln.

Während so die Kenntnisse über das Toxin selbst ständig erweitert wurden, lag die Frage nach der biologischen Quelle trotz intensiver Forschungen weitgehend im Dunkeln. Seit 2003 galt nach Untersuchungen irischer Wissenschaftler die bis dato als völlig harmlos geltende Planktonalge *Proto-peridinium crassipes* als ultimative Quelle des Toxins. Durch den Einsatz eines hochsensiblen Massenspektrometers an Bord des Forschungsschiffes Poseidon konnten wir nun jedoch zeigen, dass andere gefährliche Einzeller wie *Proto-peridinium* nur Vektor, nicht aber Produzent der Giftstoffe ist. Uns ist es gelungen, eine kleine als *Azadinium spinosum* neu beschriebene Algenart aus der Nordsee zu isolieren und deren Toxinproduktion im Labor zu messen. Mit Kulturen der Art ist es nun unter anderem erstmals möglich, mit Hilfe molekularbiologischer Techniken Gensonden herzustellen, die einen zweifelsfreien Nachweis des Giftproduzenten in Meerwasserproben ermöglichen und so ein effektives Frühwarnsystem für Küstenregionen in Aussicht stellt. Neben solchen angewandten Aspekten liegt unser Forschungsschwerpunkt bei grundlegenden Fragen, insbesondere, warum die Algenart Azaspiracide produziert, also die Frage nach der ökologischen Funktion der Toxine. Menschen nach dem Verzehr von Muscheln außer Gefecht zu setzen, kann dabei nicht der evolutionär treibende Vorteil für die Mikroalge sein.

human poisoning and to establish meaningful regulatory limits for toxins in shellfish, the toxicity and mode of action of the neurotoxins must be resolved.

*Although knowledge of the toxins involved has been continually increasing, the answer to the question of the biological source remained elusive, in spite of intensive research efforts. Since 2003, according to studies by Irish scientists, the planktonic alga *Proto-peridinium crassipes*, heretofore believed to be completely harmless, was considered as the ultimate source of the toxins. By installation of a highly sensitive mass spectrometer on board the research ship Poseidon we were now able to demonstrate that single-cell grazers such as *Proto-peridinium* were only vectors but not producers of the poison. We were able to isolate a small algal species from the North Sea, newly described as *Azadinium spinosum*, and to measure its toxin production in the laboratory. With cultures, among other aspects, it is now possible to achieve unequivocal detection of the toxicogenic alga in seawater samples with gene probe techniques from molecular biology, and thus an effective early warning system for coastal regions is foreseeable. Besides such applied aspects, our research focus is underscored by fundamental questions, in particular, why the algal species produces azaspiracids, as well as the question of the ecological function of the toxin. Incapacitating humans after consumption of shellfish cannot be an evolutionary driving force or advantage for the microalga.*

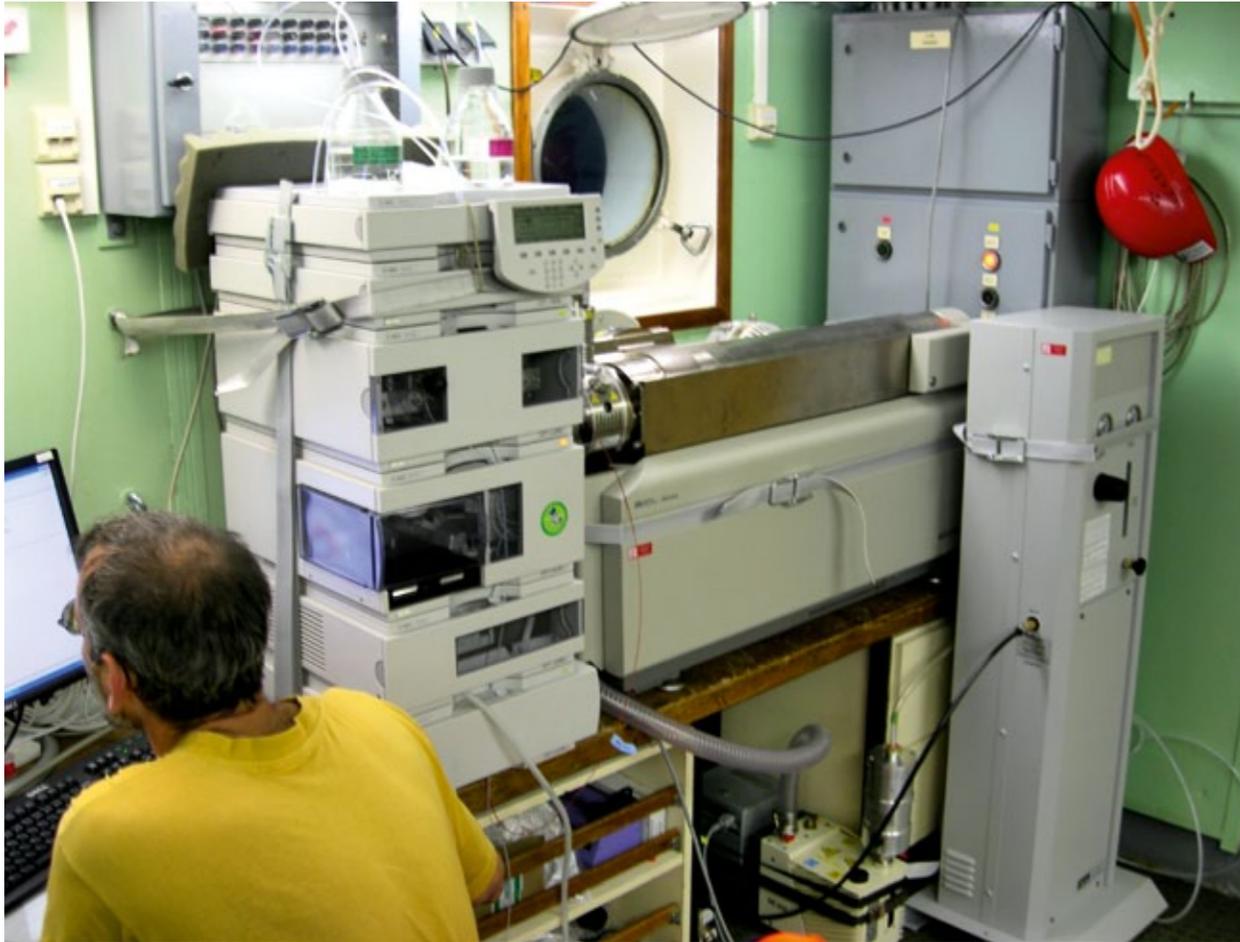


Abb. 21: Das Massenspektrometer an Bord zum direkten Aufspüren auch kleinster Toxinmengen

*Fig. 21: The mass spectrometer on board for the direct search for tiny amounts of toxin
(Photo: B. Krock)*

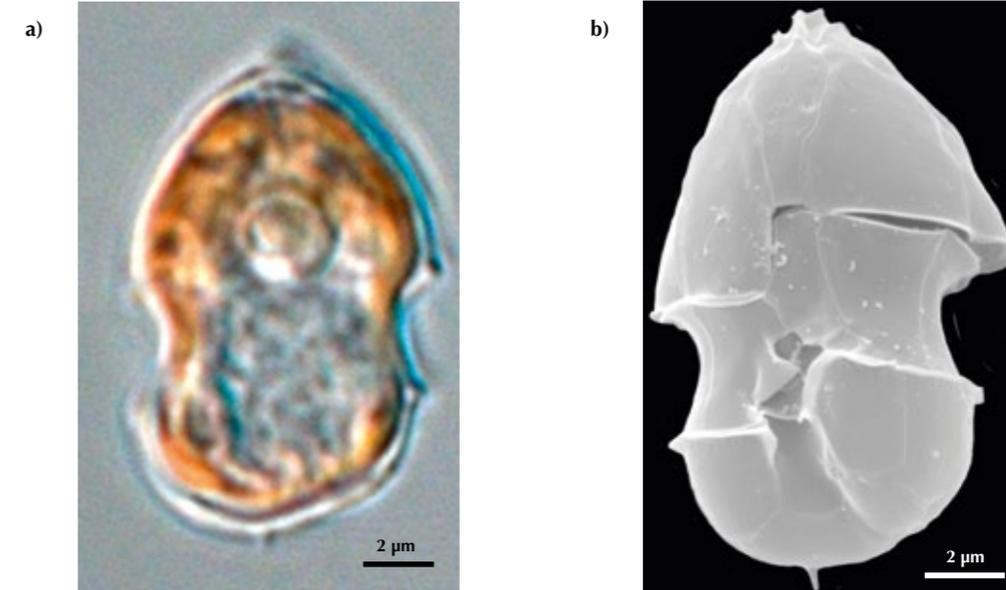


Abb. 22: : Lichtmikroskopische (a) und raster-elektronenmikroskopische (b) Aufnahme von *Azadinium spinosum*, dem neu entdeckten Produzenten von Azaspiraciden

*Fig. 22: Light microscopy (a) and scanning electron microscopy (b) images of *Azadinium spinosum*, the newly confirmed producer of azaspiracids
(Photos: U. Tillmann)*

Mikrobielle Stoffumsätze im Klimawandel

Anja Engel, Judith Piontek, Mascha Wurst,
Nicole Händel, Mirko Lunau, Corinna Borchard

Der Anstieg der CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre durch anthropogene Emissionen führt zu nachweislichen Veränderungen im Ozean: Die mittlere Temperatur der oberen Wasserschichten steigt, die Ausdehnung des Meereises in den Polarregionen geht zurück und mit der höheren CO₂-Aufnahme sinkt der pH-Wert des Meerwassers: Der Ozean versauert. Mit dem Klimawandel ändern sich auch die Lebensbedingungen planktonischer Mikroorganismen. Sie leisten den Großteil der Stoffumsätze im Ozean und bilden die Basis des marinen Nahrungsnetzes. Mehr als 40 Gigatonnen Kohlenstoff werden jährlich in Prozessen wie Photosynthese, Wachstum und Zellatmung gebunden, umgesetzt und recycelt. Das Verhältnis zwischen autotrophen - CO₂-bindenden -, und heterotrophen - CO₂-freisetzenden - Prozessen entscheidet dabei, ob der mikrobielle Stoffumsatz im Meer das CO₂ in der Atmosphäre vermindert oder mehrt.

Steigt die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre entsprechend der Projektionen des Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), für 2100 (540 – 790 ppm), so sinkt der Meerwasser-pH um 0.1 bis 0.3 Einheiten. Mit dem Anstieg der freien Protonen im Meerwasser ändert sich die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen.

In unseren experimentellen Simulationen zukünftiger Umweltbedingungen stieg die Rate der hydrolytischen Spaltung von Polysacchariden bis um das 14-fache an, während der Abbau von Proteinen verlangsamt wurde (Abb. 23). Die Spaltung der Biomo-

Climate change and the microbial cycling of organic matter

Anja Engel, Judith Piontek, Mascha Wurst,
Nicole Händel, Mirko Lunau, Corinna Borchard

The increase in atmospheric carbon dioxide, CO₂ concentration due to anthropogenic emissions has led to measurable changes in the ocean: the average temperature of the surface ocean has increased, the coverage of sea-ice in polar regions has declined, and the enhanced uptake of CO₂ in surface water has led to a decline in seawater pH (referred to as ocean acidification). As climate changes, the living conditions of planktonic microorganisms also change. In the ocean, planktonic microorganisms are responsible for most of the turn-over of organic matter and provide the basis of the marine food web. Every year, more than 40 gigatons of carbon are incorporated into organic matter, and converted into other compounds or recycled to CO₂ by processes such as photosynthesis, growth, and respiration. The ratio between autotrophic, CO₂-fixing, and heterotrophic, CO₂-producing processes determines whether microbial cycling of organic matter is a source or sink for atmospheric CO₂.

If the atmospheric CO₂ concentration increases as much as predicted by the IPCC for 2100 (540-790 ppm), the seawater pH will decrease by 0.1 to 0.3 units. With a concurrent increase of free protons in seawater, the rate of chemical reactions will change.

During our experimental simulations of future environmental conditions, the hydrolysis rate of polysaccharides increased by a factor of 14. In contrast the protein hydrolysis decreased slightly (Fig. 23). The cleavage of biomolecules is catalysed by

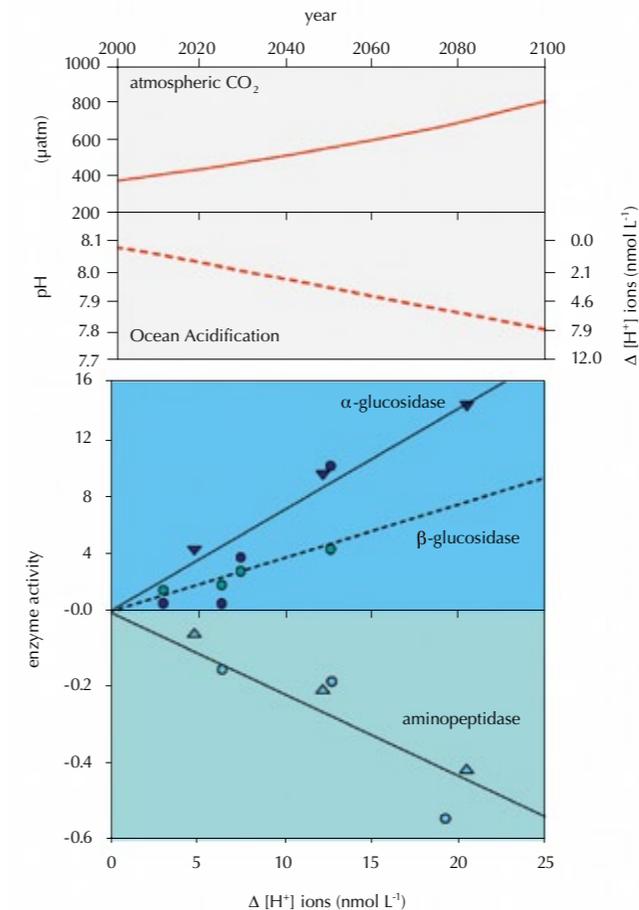


Abb. 23: Effekte der Ozeanversauerung auf den bakteriellen Abbau von organischem Material.

Oben: Basierend auf dem Emissions-Szenario IS92a des IPCC wird ein Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration von derzeit ca. 380 µatm auf 750 µatm bis zum Jahr 2100 prognostiziert. Durch diesen CO₂-Anstieg in der Atmosphäre könnte der pH-Wert im Oberflächenozean von derzeit 8.1 auf 7.8 sinken, was einer Zunahme an Protonen (H⁺) um 7.9 nmol L⁻¹ entspricht und als Ozeanversauerung bezeichnet wird.

Unten: In der experimentellen Simulation zeigte sich der Einfluss der Ozean-Versauerung auf den bakteriellen Stoffumsatz. Eine Zunahme der [H⁺]-Konzentration führte zu einem beschleunigten enzymatischen Abbau von Polysacchariden durch Glucosidasen. Im Gegensatz dazu verlangsamte sich die Spaltung der Proteine durch Aminopeptidasen.

Fig. 23: Effects of ocean acidification on the bacterial degradation of organic matter.

Upper panel: Based on the emission scenario IS92a of the IPCC the atmospheric CO₂ concentration is predicted to increase from the present 380 µatm to 700 µatm by the year 2100.

Due to this rise in atmospheric CO₂, the pH of the surface ocean could decrease from the present 8.1 to a future 7.8, equivalent to an increase in proton (H⁺) concentration of 7.9 nmol L⁻¹.

Lower panel: During experimental simulations the influence of ocean acidification on the bacterial turnover of organic matter was observed

An increase in [H⁺] concentration increased the enzymatic decomposition of polysaccharides by glucosidases. In contrast, the enzymatic cleavage of proteins by aminopeptidases decreased.

leküle wird durch extrazelluläre Enzyme katalysiert. Diese werden im Wesentlichen von heterotrophen Bakterien, den Konsumenten der niedermolekularen Spaltprodukte, produziert. Die Versauerung der Ozeane könnte so den heterotrophen Stoffumsatz erhöhen und damit die natürliche Freisetzung von CO_2 verstärken.

Im Fokus unserer Feldforschung liegt die Arktis - eine der am stärksten vom Klimawandel betroffenen Regionen weltweit. Erkenntnis leitend sind folgende Fragen: Inwieweit decken pH-bedingt höhere Abbauraten organischer Materie den Energiebedarf von Bakterien, der durch die Erwärmung steigt? Kann die photosynthetische Fixierung von CO_2 die erhöhte Freisetzung kompensieren? Welche Konsequenzen ergeben sich für den Kreislauf organischer Verbindungen auf lange Sicht?

Um zukünftige Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf der Arktis verstehen und quantitativ abschätzen zu können (Abb. 24), haben wir eine Reihe von Simulationsexperimenten im Labor und während einer Polarstern Expedition im Hausgarten (ARK XXIV) des Alfred-Wegener-Instituts, der Langzeit-Forschungsstation vor Spitzbergen, durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen einen deutlichen Einfluss von Temperatur- und pH-Wert auf die Aktivität mariner Mikroorganismen und einen Anstieg der Umsatzraten gelöster organischer Verbindungen und der Produktion von Gelpartikeln, im Besonderen von Transparenten Exopolymeren Partikeln (TEP).

extracellular enzymes. These enzymes are produced mainly by heterotrophic bacteria, which consume the low-molecular weight hydrolysis products. In this respect, ocean acidification could accelerate heterotrophic metabolism, particularly of carbohydrates, and thus enhance the production of CO_2 .

Our field research focuses on the Arctic Ocean, one of the areas that is most affected by climate change. Our research addresses the issues of:

To what extent will faster decomposition rates of organic matter, which are induced by decreasing ocean pH, counterbalance bacterial energy requirements that may increase due to warming? Can the photosynthetic fixation of CO_2 compensate its enhanced release? What are the long-term effects of climate change on the cycling of organic compounds?

To gain an in-depth-understanding and in order to quantify future changes in arctic carbon cycling (Fig. 24), we conducted a series of simulation experiments, both in the lab and during the Polarstern (ARK XXIV) expedition to the Hausgarten, the time-series station of the Alfred Wegener Institute near Svalbard.

Initial results indicate that temperature and pH have a clear impact on the activities of marine microorganisms and increase the turnover of dissolved organic matter as well as the production of gel particles, such as Transparent Exopolymer Particles (TEP).

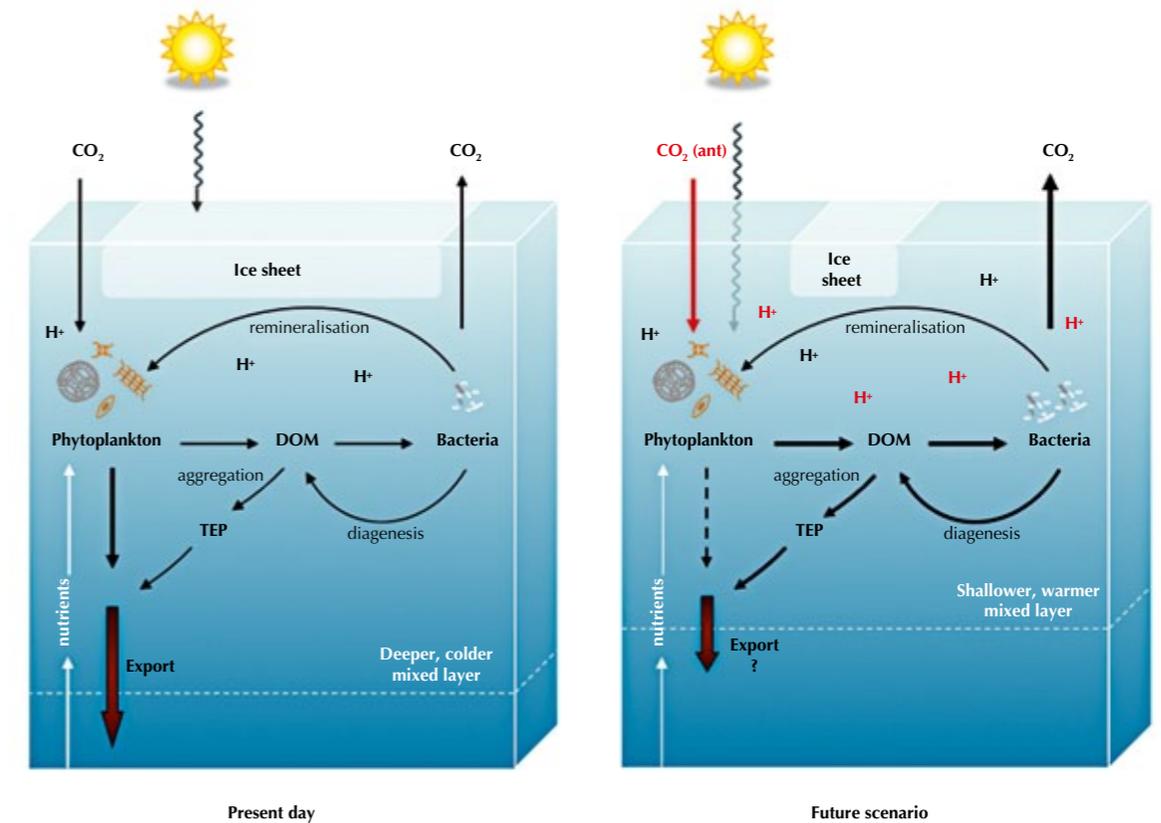


Abb. 24: Potentielle Änderungen im mikrobiellen Stoffumsatz in arktischen, pelagischen Ökosystemen als Folge des Klimawandels

Fig. 24: Potential changes in the microbial cycling of organic matter in the arctic, pelagic ecosystems due to climate change

Eisbergkollision in der Atka-Bucht

Bruchstücke des Ross-Schelfeises, die an der Kante des Ekström-Schelfeises in der Antarktis vorbeitreiben, haben eine lange Reise um den antarktischen Kontinent hinter sich. Kollidiert ein Eisberg mit dem Schelfeis, können Stücke herausbrechen und noch in größerer Entfernung Risse verursachen. Eine einzigartige interdisziplinäre Datengrundlage aus Fernerkundung, Geophysik, Meteorologie, Ozeanographie und Ozeanakustik liefert neue Erkenntnisse über die Mechanik des Eises und die Rissausbreitung im Schelfeis.

Iceberg collides in Atka Bay

Fragments of the Ross Ice Shelf, which drift past the edge of the Ekstrom Ice Shelf in Antarctica, have a long trip around the Antarctic continent behind them. Colliding with the shelf, they can break large chunks out of the shelf and cause extensive cracks of some distance in the ice shelf. A unique interdisciplinary compilation of data obtained from remote sensing, geophysics, meteorology, oceanography and ocean acoustics provides new insights into the mechanics of the ice and crack propagation in the ice shelf.

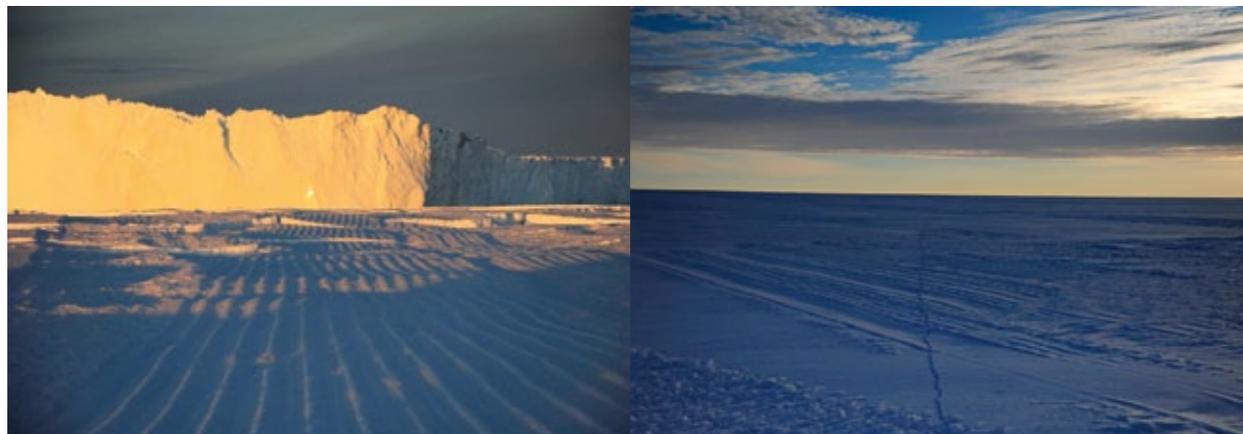


Abb.1: links: Ein Eisberg prallt auf die Eiskante des Ekström-Schelfeises an der Atka-Bucht.

rechts: Riss im Schelfeis: Nach der Kollision zieht sich ein Riss durch das Schelfeis bei der ‚Neumayer-Station III‘, der von Wissenschaftlern und Logistikern vor Ort in der Antarktis und in Bremerhaven weiter beobachtet wird.

Fig. 1: left: Iceberg B15-K collides with the Ekstrom Ice Shelf in the Atka Bay.

Right: Crack in the ice shelf: A fissure caused by the collision runs through the ice shelf near the ‚Neumayer Station III‘. It is being studied by scientists and logisticians on site and in Bremerhaven. (Photos: H. Heuck, AWI)

Abb.2: Satellitenaufnahme
Der Eisberg C19-C kollidierte östlich der Atka-Bucht mit dem Schelfeis und brach ein knapp 30 Kilometer langes und sieben Kilometer breites Stück, den Eisberg A61, heraus.

Fig. 2: Satellite Image

Iceberg C19-C collided with the ice shelf east of Atka Bay and broke off a piece, the new iceberg A61, about 30 kilometres long and seven kilometres wide. (Satellite image: ENVISAT-ASAR, European Space Agency (ESA))

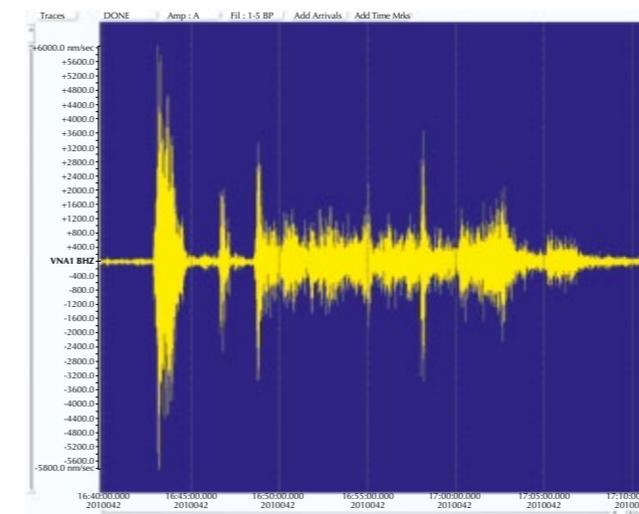
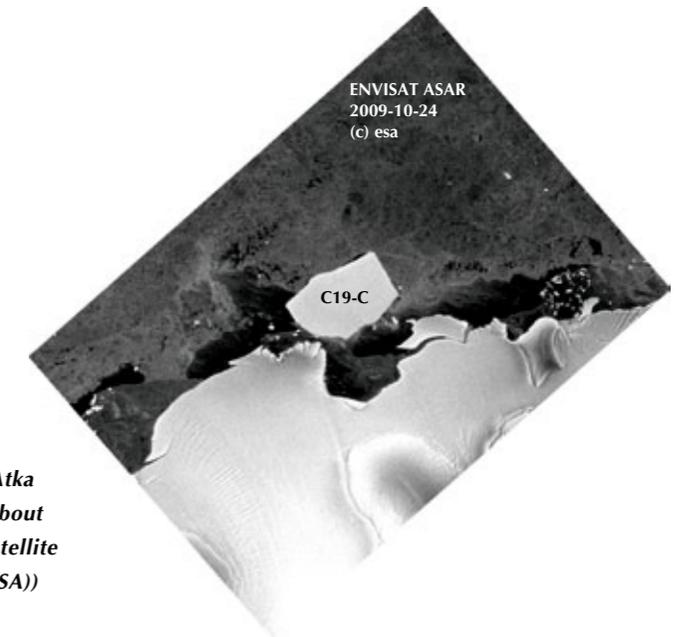


Abb. 3: Aufzeichnung des geophysikalischen Observatoriums Seismische Registrierung des ersten Aufpralls des Eisberges B15-K im geophysikalischen Observatorium der ‚Neumayer-Station III‘. Nach rechts läuft die Zeit und die Y-Achse zeigt die Geschwindigkeit, mit der der Untergrund infolge des Aufpralls schwingt. Wäre dies die Registrierung eines Erdbebens, dann hätte es die Magnitude 2,5 auf der Richter-Skala. Die Energie eines jeden Aufpralls entsprach einer Sprengstoffmenge von etwa fünf bis zehn Tonnen.

Fig. 3: Note from the geophysical observatory Seismic registration of the first collision of the iceberg, B15-K by the geophysical observatory of the ‚Neumayer Station III‘. The x-axis towards the right, shows the time and the y-axis shows the speed at which the earth vibrates due to the impact. If this had been an earthquake, it would have attained a magnitude of 2.5 on the Richter scale. (Graphic: Alfred Wegener Institute)

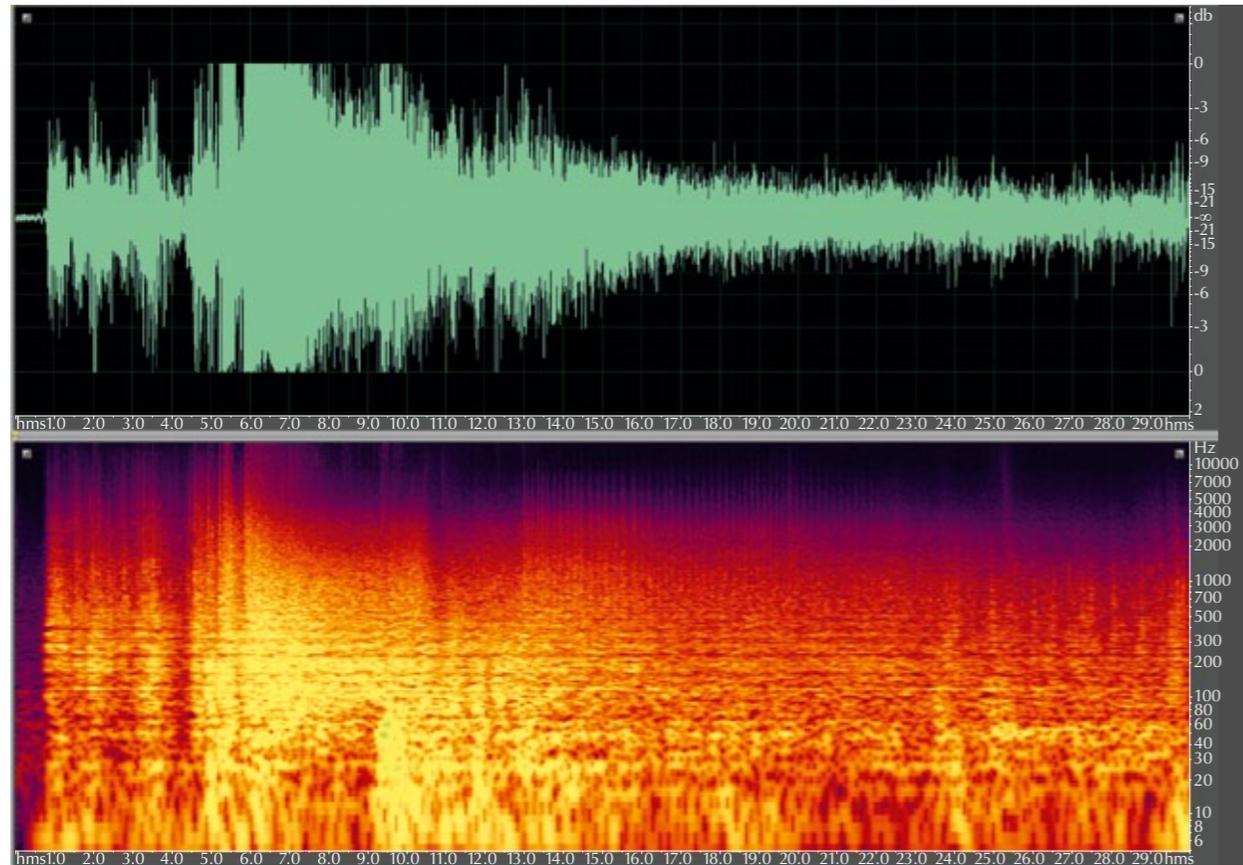


Abb. 4: Aufzeichnung des akustischen Observatoriums
Ein 30 Sekunden langer Ausschnitt des Unterwassergeräusches der Kollision, aufgezeichnet vom PALAOA Observatorium am 11.02.2010 um 16:48 Uhr. Die Verstärker sind zeitweise durch die große Lautstärke des Signals übersteuert (oben), das Observatorium ist primär ausgelegt, die viel leiseren Rufe von Walen und Robben in bis zu hundert Kilometern Entfernung zu entdecken. Das Spektrogramm (unten) zeigt die Frequenzbestandteile, aus denen das Geräusch besteht. Es liest sich ähnlich wie eine musikalische Partitur, oben sind die hohen Töne, unten die tiefen. Die Helligkeit markiert die Lautstärke.

Fig. 4: *Recording of the acoustic observatory*
A 30-second excerpt of the underwater sound released by the collision, PALAOA recorded by the Observatory. The sound is temporarily over amplified by the strong signal (the observatory is primarily designed to record the much quieter sounds of whales and seals up to one hundred kilometres away. The spectrogram (below) shows the frequency components comprising the sound. It reads like a musical score, the high notes above, the low ones below. The brightness depicts the volume. (Graphics: L. Kindermann, AWI)

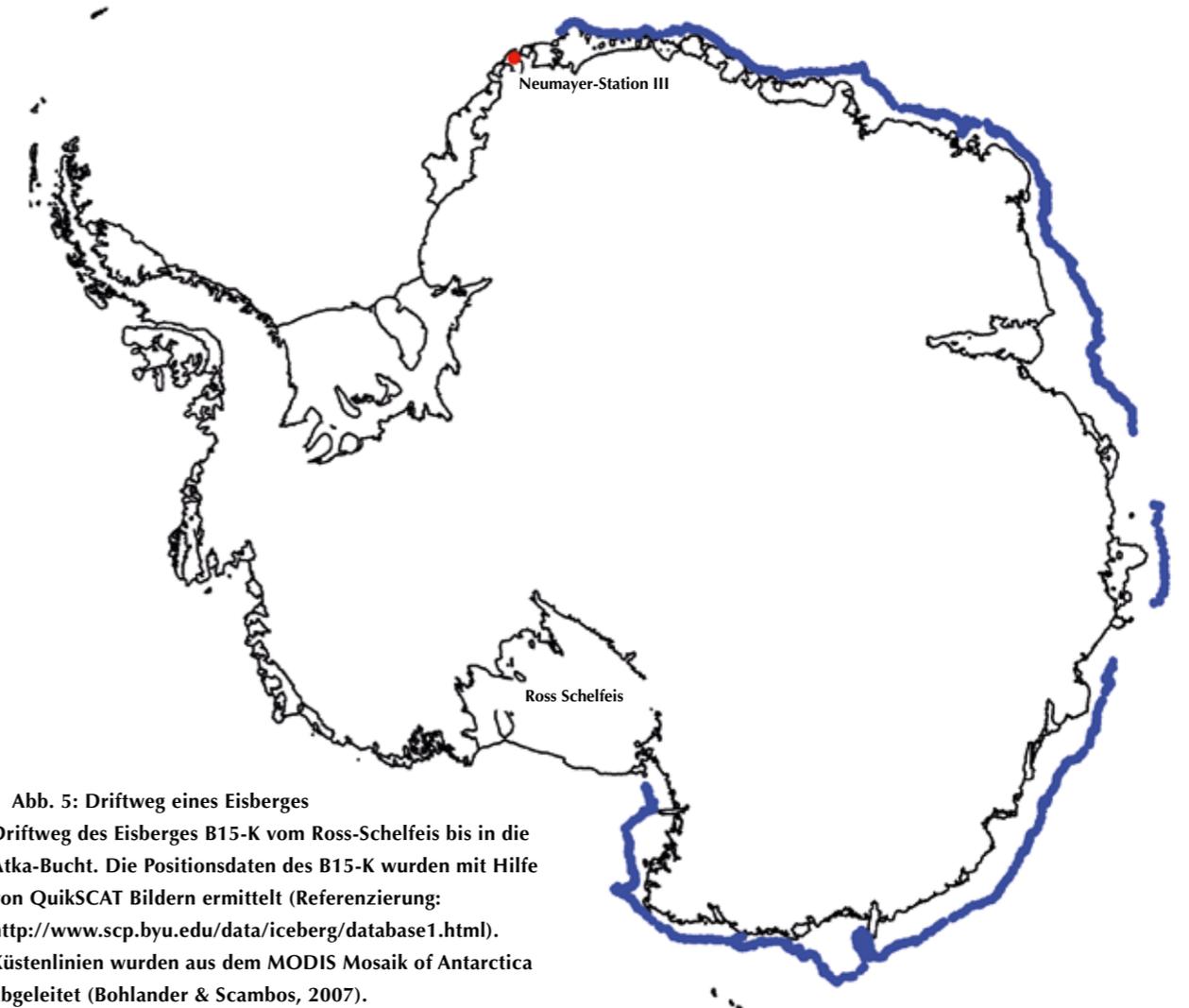


Abb. 5: Driftweg eines Eisberges
Driftweg des Eisberges B15-K vom Ross-Schelfeis bis in die Atka-Bucht. Die Positionsdaten des B15-K wurden mit Hilfe von QuikSCAT Bildern ermittelt (Referenzierung: <http://www.scp.byu.edu/data/iceberg/database1.html>). Küstenlinien wurden aus dem MODIS Mosaik of Antarctica abgeleitet (Bohlander & Scambos, 2007).

Fig. 5: *Iceberg trajectory*
Path of the iceberg, B15-K from the Ross Ice Shelf to Atka Bay. The positions of B15-C were determined with the aid of QuikSCAT images (referencing: <http://www.scp.byu.edu/data/iceberg/database1.html>). Coastlines were derived from the MODIS Mosaic of Antarctica (Bohlander & Scambos, 2007). (Figure: C. Wesche, AWI)

In großer Tiefe und auf der Höhe der Zeit – Die Forschungsjahre 2008 und 2009

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft (AWI) gehört zu den weltweit führenden Einrichtungen der Polarforschung und liefert signifikante Beiträge zur internationalen Erdsystem- und Klimaforschung in den Polarregionen und Küstengewässern. Als Helmholtz-Zentrum unterstützt es die Mission der Helmholtz-Gemeinschaft, Lösungen für große und drängende wissenschaftliche Herausforderungen mit gesellschaftlicher Relevanz zu erarbeiten.

Die Beobachtungen der Temperaturveränderungen in den Polarregionen zeigen eine etwa doppelt so rasche Erwärmung in der Arktis und auf der Antarktischen Halbinsel im Vergleich zum globalen Mittel. Diese rasche Erwärmung betrifft nicht nur die Polarregionen, sondern hat weltweite Auswirkungen. Das Schmelzen der Eisschilde in Grönland und in der Westantarktis beschleunigt den Meeresspiegelanstieg, die Verringerung des Meereises beeinflusst das globale Klima, der Verlust von Permafrostregionen ändert ganze Landschaften und setzt Klimagase frei und tiefgreifende Veränderungen des polaren Ökosystems sind als Folge zu erwarten. Im September 2009 betrug die Ausdehnung des arktischen Meereises am Ende des Sommers nur noch etwa 70 % des langfristigen Mittelwertes der Jahre 1979 bis 2000 und bestätigte damit die Entwicklung der letzten drei Jahre.

In Great Depth and up to Date – Research in 2008 and 2009

The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in the Helmholtz Association (AWI) is one of the worlds leading institutions in polar research and contributes significantly to international earth system and climate research in Polar Regions and coastal waters. As a Helmholtz centre it supports the mission of the Helmholtz Association to develop solutions for the major and urgent scientific challenges with social relevance.

Observations of the temperature changes in the Polar Regions show that the Arctic and the Antarctic Peninsula are getting warmer twice as fast as the rest of the world (global mean). This rapid warming not only affects the Polar Regions but has a global impact. The melting of the ice sheets in Greenland and the western parts of Antarctica increases the rise of sea level, the reduction of sea ice influences the global climate, the loss of permafrost regions changes whole landscapes and emits greenhouse gases, and severe alterations of the polar ecosystems are expected as a result.

In September 2009, the sea ice cover in the Arctic at the end of summer reached only 70% of the long term mean value from 1979 to 2000, thereby confirming the trend of the last three years. This develop-

Diese Entwicklung kann in Zukunft den Zugang zu den arktischen Gewässern und Schifffahrtsrouten erleichtern, wodurch verstärkte politische und wirtschaftliche Interessen auf diese Regionen gelenkt werden. Arktisforschung ist daher ein Thema von hoher Dringlichkeit und wird international stark unterstützt. Das Alfred-Wegener-Institut sieht es als eine seiner wichtigsten Aufgaben an, die raschen Veränderungen in den Polarregionen zu verfolgen. Auch die fortschreitenden Änderungen durch menschliche Nutzung und Klimawandel an den Küsten der Nordsee und der Arktis sind zentrale Themen. Gute Beobachtungssysteme sind dabei notwendig, um die treibenden Prozesse zu analysieren und Modelle für die Erfassung dieser Veränderungen und für Vorhersagen zu entwickeln. Diese Beiträge der Forschung sind grundlegend, um den Schutz der Umwelt sichern zu können.

Der globale Klimawandel und seine regionalen Ausprägungen bilden den Schwerpunkt im aktuellen Forschungsprogramm PACES (Polar Regions and Coasts in Changing Earth System). Dieses Forschungsprogramm, das nach intensiver Vorbereitung 2008 von einer externen Gutachtergruppe der HGF sehr positiv begutachtet wurde, tritt nun an die Stelle des ersten MARCOPOLI Programms und wird die Forschungen des AWI bis 2013 leiten. Es werden zwei neue Themen im PACES Programm aufgegriffen: Veränderungen der arktischen Küsten werden im Vergleich zu Änderungen der heimischen Küsten analysiert; die Einzelergebnisse werden im neuen TOPIC 4 in übergreifenden Modellen zusammengeführt.

ment may ease access to arctic waters and shipping routes, leading to heightened political and economic interest in these regions. Arctic research is therefore an issue of great urgency and is strongly supported internationally. The Alfred Wegener Institute considers work on the rapid changes in the Polar Regions as one of its most important tasks. The increasing changes to the coasts of the North Sea and the Arctic due to human use and climate change are central themes as well. Good observation systems are therefore necessary to analyse the driving processes and to generate models which capture the changes and predict future developments. These contributions of our research are necessary to be prepared for measures to protect the environment.

Global climate change and its regional characteristics are the focus of the current research programme PACES (Polar Regions and Coasts in Changing Earth System). This research programme, after intensive preparations in 2008, was evaluated extremely positively by an external Helmholtz review group. It replaces the first programme MARCOPOLI and will guide research at the AWI until 2013. Two new themes were taken up in the PACES programme: changes of the Arctic coasts are analysed in comparison with coasts of the temperate regions; the individual results are merged in overarching models under the new TOPIC 4.

Seit Oktober 2009 stärkt der neue Helmholtz-Verbund „Regionale Klimaänderungen“ (REKLIM), an dem unter AWI-Koordination sieben Helmholtz-Zentren beteiligt sind, den Schwerpunkt der regionalen Klimaänderung. Das 2008 am AWI eröffnete Regionale Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg sorgt für den Transfer der wissenschaftlichen Ergebnisse in die Gesellschaft.

FS ‚Polarstern‘ konnte als erstes konventionelles, nicht atomar angetriebenes Schiff im Sommer 2008 den Nordpol in einer Saison umrunden. Für Forschungen auf dem sibirischen Schelf fuhr das Schiff durch die kanadische Nordwestpassage und kehrte über die russische Nordostpassage zurück. Diese Fahrt zeigt deutlich, welcher Rückgang des Meereises zu verzeichnen ist. Das neue Forschungsflugzeug ‚Polar 5‘ hat in einer großen Kampagne eine umfangreiche Vermessung der Meereisstärke nördlich von Grönland, Kanada und den USA durchgeführt, die wichtige Daten für die Modellierung der Schmelzprozesse des Meereises liefern.

Nach 17 Jahren zuverlässiger Nutzung wurde die alte Antarktisstation Neumayer II geschlossen und der Bau der neuen Station konnte nach harter und schwieriger Bauzeit, die sich über zwei Saisons hinzog, abgeschlossen werden. Am 28. Februar 2009 nahm Bundesforschungsministerin Prof. Annette Schavan die neue ‚Neumayer-Station III‘ in Betrieb, mit der der deutsche Beitrag zum Internationalen Polarjahr (IPY) 2007/2008 realisiert wurde. Die neue Antarktisstation schafft hervorragende Voraussetzungen für langfristige Forschung und ist ein wichtiger Bestandteil der internationalen wissenschaftlichen und logistischen Zusammenarbeit in der Antarktis. ‚Neumayer-Station III‘ hat ihren ersten antarktischen Winter

Since October 2009, the new Helmholtz Regional Climate Change Initiative (REKLIM), supported by seven Helmholtz Centres under the leadership of the AWI, strengthens the focus on regional climate change. The transfer of the results to society is carried out by the Climate Service Center for Polar Regions and sea level rise, established at the AWI in October 2008.

In summer 2008, the RV ‚Polarstern‘ became the first conventional, not-nuclear powered, vessel able to circumnavigate the North Pole in one season. In order to carry out research on the Russian-Siberian shelf, the vessel passed through the Northwest Passage off Canada and returned via the Northeast Passage off Russia. This cruise demonstrated clearly the extensive decrease in sea ice. The new research aircraft ‚Polar 5‘ carried out a large campaign to comprehensively measure the thickness of sea ice north of Greenland, Canada and the USA, which provided important data for modelling of sea ice melting processes.

The old Antarctic research station Neumayer II was closed after 17 years of reliable use. The construction of the new station was completed after two seasons of hard and difficult work. On 28 February 2009, the German Minister of Education and Research, Prof. Annette Schavan, officially put the new ‚Neumayer Station III‘ into service, thereby realising the German contribution to the International Polar Year (IPY) 2007-2008. The new Antarctic station offers outstanding conditions for long-term research and is an important component of the international scientific and logistic cooperation in Antarctica. ‚Neumayer Station III‘ has endured its first Antarctic winter successfully. We are grateful to our

erfolgreich überstanden. Wir sind unseren Zuwendungsgebern und auch dem Bauteam sehr dankbar, dass diese technisch innovative Infrastruktur errichtet werden konnte.

Am 19. Juni 1959 kehrte die Biologische Anstalt Helgoland (BAH) mit der offiziellen Einweihung ihrer neuen Gebäude, die die im Krieg zerstörten Häuser ersetzen, auf die Insel Helgoland zurück. Am 20. Juni 2009 haben wir dies mit einem Festakt, sowie einem Tag der offenen Tür gefeiert. Auch wenn sich die Schwerpunkte der Forschung in den vergangenen 50 Jahren geändert haben, ist die Hauptaufgabe der BAH das Ökosystem der Nordsee und die Effekte anthropogener Einflüsse auf dieses System zu untersuchen und Langzeitänderungen zu dokumentieren. Änderungen in den Wechselwirkungen zwischen Räuber- und Beuteorganismen sind dabei genauso wichtig wie die Effekte von neuen Arten und neuen Habitaten. Auch innerhalb des AWI entwickelt sich die BAH ständig weiter. Mit Hilfe diverser Machbarkeitsstudien planen wir jetzt die komplette Renovierung der in den 50er Jahren entstandenen Gebäude, damit wir das Ziel, in den nächsten Jahren unsere Klimafolgenforschung klimafreundlich zu gestalten, erreichen können.

Viele interessante wissenschaftliche Ergebnisse werden in diesem Zweijahresbericht präsentiert. Wir danken Zuwendungsgebern, Mitarbeitern, Freunden und Förderern, die diese Forschungsarbeit ermöglicht haben.

financial supporters, as well as the building team, which made it possible to erect this technically innovative infrastructure.

On 19 June 1959 the Biologische Anstalt Helgoland (BAH) returned back to Heligoland, officially opening the new buildings, which replaced those that were destroyed during the war. With a celebration followed by an open day of the institute this 50th anniversary was commemorated on 20 June 2009. Despite the changes in the main scientific interests during the last decennia, the main focus of the BAH remains: to investigate the North Sea ecosystem, understand the effects of anthropogenic influences, and document long-term changes. Shifts in the interactions between predators and prey, as well as the effects of changes in community composition and habitat structure are our main interest. The BAH continues to develop constantly. Several studies were carried out to investigate the possibilities to renovate the buildings that are now 50 years old. For the future we aim to produce as little CO₂ as possible in our studies on the effects of global change on ecosystems.

This biennial report would like to present many interesting scientific results. We thank the funding agencies, staff, friends and supporters, who enabled this research.

Mehr Informationen

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

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

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

More information

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

AWI also publishes ‘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 the ‘Helgoland Marine Research’ journal (formerly Helgoländer Meeresuntersuchungen), published by Springer-Verlag.

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



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

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

Bearbeitung der Texte:

**Folke Mehrrens
Margarete Pauls
Ralf Röchert
Constanze Sanders**

Redaktion:

**Claudia Pichler
Margarete Pauls (verantwortlich)**

Copyright:

2010, Alfred-Wegener-Institut

Gestaltung:

**KLEMM Kommunikation | Design
Bremen**

Fotografie:

**H. Krumbeck, AWI (Titelseite)
R. Kuhlenkamp, AWI (Rückseite)
Solvin Zankl (Seite 5)
U. Schilling, AWI (Seite 75)
Alfred-Wegener-Institut (Seite 77)**

Druck:

BerlinDruck, Achim



