

3.3 POLAR

In diesem Teil des AWI-Forschungsprogramms werden Prozesse und Wechselwirkungen im polaren Bereich des Erdsystems anhand von Beobachtungen und Modellsimulationen auf verschiedenen Zeitskalen von Jahren bis zu Jahrmillionen interdisziplinär untersucht.

POL1: Prozesse und Wechselwirkungen im polaren Klimasystem

Physikalische Prozesse in polaren Regionen

Zum Verständnis von Klimaprozessen in Polarregionen ist es notwendig, Meer- und Schelfeis sowie deren Wechselwirkung mit ozeanischen und atmosphärischen Prozessen zu untersuchen. Unsere Forschung in diesem Bereich konzentrierte sich auf Beobachtungen der Dicke, Verteilung und Oberflächentopographie des Meereises (z.B. Kampagne SVALEX) in unterschiedlichen polaren Regionen und auf die Modellierung des Einflusses inhomogener Meereisbedeckung auf die atmosphärische Strömung. Ferner wurden die Drift und das Abschmelzen antarktischer Eisberge sowie ozeanischer Prozesse in der Schelfeisregion modelliert. Der spektakuläre Abbruch des Larsen-B Schelfeises in 2002 wurde mit Hilfe von Satellitenfernerkundung analysiert.

Bei Expeditionen in die Arktis, Antarktis (Projekt ISPOL, s. detaillierter Bericht) und zur Ostsee wurde die helikoptergetragene Elektromagnetik Sonde („HEM-Bird“) eingesetzt. So erfolgten Messungen der

3.3 POLAR

This part of the AWI research programme deals with processes and interactions in the polar region of the Earth System using interdisciplinary observations and model simulations on time scales ranging from years to millions of years.

POL1: Processes and Interactions in the Polar Climate System

Physical processes in polar regions

An understanding of climate processes in polar regions requires a detailed study of sea ice and shelf ice as well as their interaction with the oceanic and atmospheric processes. Research in this field concentrated on observations of the thickness, distribution, and surface topography of sea ice (campaign SVALEX) in different parts of the polar regions and on the modelling of the atmospheric flow influenced by inhomogeneous sea ice cover. Furthermore, the drift of Antarctic icebergs and their decay, as well as oceanic processes close to shelf ice regions have been modelled. The spectacular collapse of the Larsen-B ice shelf in 2002 was analysed in detail by means of satellite imagery.

Expeditions to the Arctic, Antarctic (project ISPOL, detailed description in this two-years report) and Baltic Sea were carried out using the helicopter borne electromagnetic sensor („HEM-Bird“) for sea ice thickness measurements, e.g. in 2004 between Spitsbergen and the North Pole. Previous observati-

Eisdicke zwischen Spitzbergen und dem Nordpol. Frühere Beobachtungen in derselben Region ergaben zwischen 1991 und 2001 eine Abnahme der Eisdicke. In 2004 wurde jedoch derselbe Wert (2 Meter) für die Eisdicke gemessen wie in 2001. Messungen nördlich von Ellesmere Island, einer Region mit der größten Eisdicke in der gesamten Arktis, ergaben dagegen zwischen 2004 und 2005 eine Zunahme der Eisdicke von 3,9 auf 4,2 Meter. Diese Ergebnisse belegen die Notwendigkeit zukünftiger kontinuierlicher Dickenmessungen in weiten Gebieten der Arktis.

Charakteristisch für Meereis auch in Gebieten mit hoher Packeisbedeckung ist das Auftreten teils offener, teils mit dünnem Eis bedeckter Rinnen. Das Modell METRAS wurde benutzt, um die atmosphärische Strömung im Bereich von Rinnen der Framstraße auf sehr kleiner Skala zu modellieren. Die Modellergebnisse belegen eine starke Variabilität der Strömung und der Energieflüsse im Rinnenbereich sowie die Notwendigkeit der Entwicklung einer für Klimamodelle geeigneten Parametrisierung des Rinneneffektes.

Das Wettervorhersagemodell LM des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurde zum ersten Mal unter antarktischen Bedingungen angewendet, und es wurde damit begonnen, Wolken- und Niederschlagsbildung in Dronning Maud Land zu untersuchen. Es zeigte sich, dass die Niederschlagsverteilung auf dem Plateau eine Folge des Zusammenwirkens von topographischem und synoptischem Antrieb ist.

ons in the same region revealed a decrease of ice thickness between 1991 and 2001. However, in 2004 the same value was observed as in 2001 (2 meters). Observations north of Ellesmere Island, a region with the largest sea ice thickness in the entire Arctic, revealed an increase of thickness from 2004 to 2005 from 3.9 to 4.2 meters. These results document the need of future continuous thickness observations over wide areas of the Arctic.

A typical sea ice feature, even in polar regions with large concentration of pack ice, is the existence of leads, which are free of ice or covered with very thin ice only. The METRAS model was used to simulate the atmospheric flow in the environment of leads in the Fram Strait on a small scale. The model results show a strong variability of the flow and of the energy fluxes over leads and the necessity to develop a parameterization of the lead effect suitable for climate models.

The LM weather forecast model of the German Weather Service was applied for the first time to Antarctic conditions and the investigation of cloud and precipitation formation in Dronning Maud Land was started. It was found that the precipitation distribution on the plateau is due to a combined effect of topographical and synoptic forcing.

Atmospheric circulation structures and scenarios of polar climate changes

A new sea-ice and snow albedo treatment has been investigated within the regional climate model HIRHAM, which results in a more realistic temperature simulation and changed regional circulation patterns. With a global coupled model it has been shown that such changes of the Arctic radiative sur-

Atmosphärische Zirkulationsstrukturen und Szenarien des polaren Klimawandels

Im regionalen Klimamodell HIRHAM wurde eine neue Behandlung der Albedo von Meereis und Schnee untersucht. Diese bewirkte eine realistischere Simulation der Temperatur sowie eine geänderte regionale Zirkulation. Mit einem globalen gekoppelten Modell wurde gezeigt, dass eine Änderung der Arktischen Oberflächenstrahlungsbilanz einen starken Einfluss auf das Klima der mittleren und hohen Breiten hat, weil sie die Stärke der Westströmung in den mittleren Breiten sowie die Bahnen der Stürme modifiziert.

Eine Serie von Sensitivitätsstudien erfolgte mit dem gekoppelten Regionalmodell, um die Modellbedingungen herauszufinden, welche wesentlich für eine realistische Simulation der arktischen Meereisbedeckung sind. Eine realistische Reproduktion des Rückzuges von Meereis während des Sommers wird wesentlich durch die Meereisdickenverteilung zu Beginn der Schmelzperiode bestimmt. Die simulierte Eisdickenverteilung hängt wiederum von verschiedenen Modellparametern ab, aber besonders von der Parametrisierung der Gefrierprozesse in den Rinnen zwischen den Eisschollen.

Ein neues Landoberflächen/boden Schema in HIRHAM verbesserte die Ergebnisse bezüglich der regionalen atmosphärischen und bodenbezogenen Variablen, aber auch die großskaligen Zirkulationsmuster über dem arktischen Ozean. Letzteres hat Auswirkungen auf globale Modellsimulationen. Die Wahl des neuen Landoberflächenschemas hat einen signifikanten Einfluss auf die Berechnung der zukünftigen arktischen Temperaturen, des Niederschlags und des Luftdrucks. Die zukünftige Änderung der bodennahen Lufttemperatur weicht bei Verwendung des neuen

face budget exert a strong influence on the mid and high-latitude climate by modulating the strength of the mid-latitude westerlies and the storm tracks.

A series of sensitivity experiments has been conducted with the coupled regional model in order to identify those model conditions that are essential for a realistic simulation of the Arctic sea-ice cover. A realistic reproduction of the sea-ice retreat during summer is substantially controlled by the ice thickness distribution at the beginning of the melting period. The simulated ice thickness distribution, in turn, depends on several model parameters, but particularly on the parameterization of freezing processes in the leads between the ice floes.

A new land-surface/soil scheme within HIRHAM improved the regional soil and atmospheric variables but also the large-scale circulation patterns over the Arctic Ocean with implications for global model simulations. The choice of the new land surface scheme has a significant influence on the future projection of the Arctic temperature, precipitation and mean sea level pressure. The projected surface air temperature changes differ by ~2 K, when the new scheme is applied, with a stronger warming of the Siberian coast compared to previous model estimates.

Trace constituents in the polar atmosphere

The research concentrated on the observation of stratospheric ozone loss in both hemispheres, on the observation of stratospheric water vapour and on aerosol measurements. It was found that the severe Arctic ozone loss during the past decade occurred as a result of the anthropogenic increase in stratospheric halogens, but also due to long-term climate change. The winter 2004/05 showed the most severe

Schemas um etwa 2 K ab, wobei eine im Vergleich zu früheren Ergebnissen stärkere Erwärmung der sibirischen Küste prognostiziert wird.

Spurenstoffe in der polaren Atmosphäre

Die Forschung konzentrierte sich auf die Beobachtung des stratosphärischen Ozonabbaus in beiden Hemisphären, des stratosphärischen Wasserdampfes und auf Aerosolmessungen. Es zeigte sich, dass der starke arktische Ozonabbau im letzten Jahrzehnt sowohl ein Ergebnis des anthropogen verursachten Anstiegs stratosphärischer Halogene, aber auch des Klimawandels ist. Der Winter 2004/05 zeigte den stärksten Ozonabbau in der Arktis während des letzten Jahrzehnts. Es konnte belegt werden, dass maximale Ozonabbauraten pro Sonnenscheinstunde für die arktische und antarktische Stratosphäre gleich sind. In der Antarktis wird der Ozonabbau in einem größeren Gebiet beobachtet, und die Perioden des Abbaus dauern länger als in der Arktis.

Der Stratosphärische Wasserdampf beeinflusst das arktische Klima sowie den Ozonabbau über die Polaren Stratosphärischen Wolken (PSC). Während einer internationalen Vergleichsstudie wurde eine moderne, verlässliche Ballonsonde ausgewählt, welche nun für Langzeitbeobachtungen an der Koldewey-Station eingesetzt wird.

Troposphärisches Aerosol in polaren Regionen hat verschiedene Effekte auf das Klima. Während der Kampagnen ASTAR 2004 und SVALEX 2005 wurden der Ursprung, die Transportwege und die vertikale Struktur der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Aerosols mit Hilfe von boden- und fluggestützten Messungen untersucht. Die erste Messung dauerte von Mai bis Juni 2004, wobei zwei AWI Flug-

ozone loss in the Arctic during the last decade. It was shown that maximum ozone reduction rates per sunshine hour are the same for the Arctic and Antarctic stratospheres. In the Antarctic, ozone loss is observed over a larger region, and the reduction periods last longer than in the Arctic.

The stratospheric water vapour content influences the Arctic climate as well as ozone loss via Polar Stratospheric Cloud (PSC) formation. During an international intercomparison campaign, a modern, reliable balloon sonde was identified, which is used now for long term observations of water vapour at the Koldewey station.

Tropospheric aerosols in the polar region have several effects on climate. During the ASTAR 2004 and SVALEX 2005 campaigns the origin, transport pathways, and the vertical structure of the aerosol physical and chemical properties were studied with surface-based and airborne measurements. The first one lasted from May 10th to June 10th, 2004, employing the two AWI aircrafts, which carried unique payloads, addressing both aerosol and cloud measurements. Simultaneous ground-based measurements took place in Ny-Ålesund, Spitsbergen. The observations showed very clean aerosol summer conditions, reflecting an early shift from the spring to the summer season. The second campaign with the ' Polar 2 ' aircraft in April 2005 covered a period of high aerosol load and revealed the orographic dependence and temporal development of the Arctic Haze phenomenon in Spitsbergen.

zeuge mit einzigartiger Messinstrumentierung sowohl für Aerosol als auch für Wolkenpartikelmessungen benutzt wurden. Simultane bodengebundene Messungen fanden in Ny-Ålesund statt. Die Beobachtungen belegten eine typische Sommersituation mit wenig Aerosol; die zweite Kampagne mit Polar 2 im April 2005 überdeckte eine Periode mit hoher Aerosollast. Es zeigte sich dabei eine orographische und zeitliche Abhängigkeit des Arctic Haze Phänomens auf Spitzbergen.

Eisschilddynamik, Massenbilanz und lithosphärische Reaktion

Das neue flugzeuggetragene SAR Interferometric Radar Altimeter System (ASIRAS) wurde in Zusammenarbeit mit der ESA auf Polar 4 installiert und getestet. Verschiedene, vom AWI koordinierte Messgruppen internationaler Institutionen untersuchten die Schneemorphologie während ASIRAS Überflügen in Grönland, Spitzbergen, und der kanadischen Arktis. Die Validierungsaktivitäten ergaben erste Ergebnisse bezüglich der Eindringtiefe und der Streueigenschaften von Radarwellen im Frequenzbereich zukünftiger Radaraltimeter Satelliten wie CryoSat-2.

Um die Akkumulation auf den polaren Eisschilden zu bestimmen, wurden die einzelnen Schichten des Eises mit Hilfe des bis zum Untergrund dringenden Radars für die so genannte Trockenschneezone der Antarktis analysiert. Durch Kombination mit abbildendem Radar ergab dies die erste hochaufgelöste Akkumulationskarte der Umgebung der EPICA Bohrstation auf Kohlen. Im Programm VISA wurden vom Flugzeug aus Messungen der Eisdicke, des Erdmagnetfeldes und des Schwerfeldes in Dronning Maud Land fortgesetzt. Ferner erfolgte eine Kombination mit bodengebundenen Vergleichsmessungen.

Ice sheet dynamics, mass balance and lithospheric response

In cooperation with ESA the new Airborne SAR Interferometric Radar Altimeter System (ASIRAS) was installed and tested on Polar 4. Several AWI-coordinated field groups of international institutions investigated the snow morphology during ASIRAS overflights in Greenland, Spitsbergen and the Canadian Arctic. The validation activities yielded first results on penetration depth and scattering characteristics of the radar wave in the frequency range of future radar altimeter satellites like CryoSat-2.

In order to assess the accumulation on polar ice sheets, internal horizons from ground penetrating radar measurements were analysed for the dry snow zone in Antarctica. Combined with imaging radar this yielded the first high resolution map of accumulation in the surrounding of the EPICA drill site at Kohlen station. Within the VISA program, airborne ice thickness, earth magnetic and gravity measurements in Dronning Maud Land were continued. This program was combined with ground based reference measurements.

A 3-D time-dependent thermomechanical ice sheet/ ice shelf/ lithosphere model was integrated over the last 740,000 years using the temperature forcing from the Dome C record. A remarkable feature of the forcing records is the apparent regime change prior to 450,000 years (stage 11), with a less clear signature of glacial cycles with less warm interglacials. The model results indicate that this regime change did not only occur in the forcing, but also in the evolution of the Antarctic ice sheet: after stage 11 the Antarctic ice sheet shows a clear and more or less regular pattern of glacial cycles. But obviously, in the period before stage 11, the Antarctic ice sheet remained mostly in a glacial mode.

POL2: Southern Ocean Climate and Ecosystem

Ein 3-dimensionales, zeitabhängiges, thermomechanisches Eisschild-/Schelfeis-Lithosphärenmodell wurde über die letzten 740 000 Jahre integriert, wobei als Temperaturantrieb die Daten von Dome C benutzt wurden. Ein bemerkenswertes Charakteristikum dieser Antriebsdaten ist der offensichtliche Wechsel des Regimes vor 450 000 Jahren (stage 11) zu einer Episode mit weniger klar ausgeprägten Eiszeiten und weniger warmen Zwischeneiszeiten. Die Modellergebnisse zeigen, dass dieser Regimewechsel nicht nur in den Antriebsdaten auftritt, sondern auch in der Entwicklung des Antarktischen Eisschildes sichtbar ist: Nach stage 11 zeigt der Antarktische Eisschild ein klares und mehr oder weniger regelmäßiges Muster von Eis- und Zwischeneiszeiten. Aber vor stage 11 blieb der Antarktische Eisschild offensichtlich meist im glazialen Modus.

POL2: Klima- und Ökosystem im Südozean

Die Zusammenarbeit von Biologen und Paläoozeanographen hat das Verständnis von Prozessen, die den globalen Kohlenstoffkreislauf und die Konzentrationen des Treibhausgases CO₂ in der Atmosphäre regulieren, wesentlich verbessert. Aus der Verknüpfung von Ergebnissen aus Eisendüngungs-Experimenten und Untersuchungen der Verbreitung von kieseligem Mikroplankton in der Wassersäule und Sedimenten konnten Szenarien abgeleitet werden, die die biologische Produktion und den Export von Kohlenstoff in den tiefen Ozean unter glazialen und interglazialen Bedingungen beschreiben. Das Vorkommen

The cooperation between biologists and paleoceanographers in POL2 has furthered our understanding of processes controlling the global carbon cycle and concentration of the greenhouse gas CO₂ in the atmosphere. Glacial scenarios of biological productivity and organic carbon export have been derived from the results of iron fertilization experiments and the distribution patterns of siliceous microorganisms in plankton and sediments. The distribution pattern of the hitherto overlooked resting spores of the diatom Chaetoceros shows that the glacial productivity regime in the Atlantic sector of the Southern Ocean was dominated by fast-growing, weakly silicified diatoms and non-siliceous primary producers such as the flagellate Phaeocystis, which enhances organic carbon export. During a glacial winter, iron-rich dust deposited on the sea-ice cover, which was twice as extensive as today, is released during spring into shallow meltwater lenses. Efficient nutrient utilization by higher primary production results in high export of organic carbon, which is estimated to be ten-fold higher than today. The calculations are based on abundances of the mesopelagic radiolarian Cycladophora davisiana. The present day, interglacial productivity regime, is characterized by low iron supply and correspondingly low productivity. This productivity regime is dominated by slow-growing, strongly silicified diatoms that lead to enhanced accumulation of biogenic silica in the sediments but contributes less to the CO₂ drawdown in the ocean. Scientists from the Alfred Wegener Institute partici-

von bislang wenig beachteten Dauersporen der Diatomeengattung *Chaetoceros* zeigt, dass glaziale Produktionsregime im atlantischen Sektor des Südozeans durch schnell wachsende, dünn verkieselte Diatomeen und skelettlose Primärproduzenten, wie die zu den Flagellaten gehörende Gattung *Phaeocystis*, charakterisiert waren und damit Kohlenstoff effektiv aus der Deckschicht exportiert werden konnte. Dabei spielt der äolische Eintrag des Mikro-Nährstoffes Eisen und seine Speicherung auf der Meereisdecke eine wesentliche Rolle. Das auf der Wintermeereisdecke, die im Glazial etwa doppelt so weit wie heute ausgedehnt war, abgelagerte Eisen wird pulsartig während der Frühjahrseisschmelze in das stratifizierte Oberflächenwasser abgegeben. Effektive Nutzung der Nährstoffe führt zu hoher Primärproduktion und organischen Kohlenstoffexport, der mindestens 10fach höher war als heute. Das kann aus den Häufigkeitsmustern der im Mesopelagial angesiedelten Ra-diolarie *Cycladophora davisiana* abgeleitet werden. Unter heutigen interglazialen Bedingungen, die durch hohe Nährstoffkonzentrationen und relativ geringe Produktion gekennzeichnet sind, wird das Produktivitätsregime durch langsam wachsende und stark verkieselte Diatomenarten dominiert, die zwar zu einer erhöhten Akkumulation von biogenem Silikat im Se-diment führen, aber wenig zur CO₂-Abspeicherung im Ozean beitragen.

Im Wissenschaftsmagazin *Nature* wurde unter Mitwirkung von Wissenschaftlern des Alfred-Wegener-Instituts eine internationale Studie veröffentlicht, die zeigt, dass die Aufnahme anthropogenen Kohlendioxyds (CO₂) durch den Ozean zu relativ großen pH-Absenkungen führt, vor allem in polaren Gebieten. Diese von 13 Rechenmodellen vorhergesagte Ver-

pated in an international study recently published in the science magazine "Nature". This study shows that the uptake of anthropogenic CO₂ by the ocean strongly affects seawater chemistry and will lead to large decreases in the ocean's pH, especially in polar regions. The seawater acidification predicted by 13 different carbon cycle models will occur much faster than previously thought and will result in undersaturation for the mineral aragonite in the Southern Ocean surface water by the year 2050. Within 50 to 100 years there could be severe consequences for marine calcifying organisms, which build their external skeletal material out of calcium carbonate. Most threatened are cold-water calcifying organisms, including sea urchins, cold-water corals, coralline algae and plankton known as pteropods—winged snails that swim through surface waters. And because these organisms provide essential food and habitat to others, their demise could affect entire ocean ecosystems.

The oceanographic measurements in the Weddell Sea indicate that the bottom water temperature increased steadily during the last decades. This is in contrast to the warm deep water, which enters from the Antarctic Circumpolar Current and has been cooling since 1996 after an earlier warming. The measurements indicate that climate related fluctuations from the upper layers reach the Antarctic deep sea and affect the properties of the sea water, which feeds the global thermohaline circulation.

As a successor to the Bremerhaven Regional Ice-Ocean Simulations (BRIOS) model, a Finite Element Sea ice-Ocean Model (FESOM) has been developed. The sea-ice component is based on the dynamic-thermodynamic AWI sea-ice model, which has been

sauerung der kalten Oberflächenwässer verläuft viel schneller als bisher vermutet und wird schon im Jahre 2050 im Südozean zu einer Untersättigung für das Mineral Aragonit führen. Aragonit bildet die Grundlage für die Gehäuse vieler wichtiger Meeresorganismen wie Seegurken, Kaltwasserkorallen und im Wasser schwebende Flügelschnecken, und es ist zu befürchten, dass es schon in naher Zukunft zu einem Verschwinden dieser Organismen in manchen Meeresregionen kommt. Da diese Tiere eine wichtige Nahrungsquelle für andere Tiere von Krebsen über Lachse bis zu Walen darstellen, sind schwerwiegende Auswirkungen auf das gesamte polare Ökosystem zu erwarten.

Ozeanographische Messungen im Weddellmeer zeigen, dass sich das Bodenwasser in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich erwärmt hat. Dies steht im Gegensatz zum Warmen Tiefenwasser, das aus dem Antarktischen Zirkumpolarstrom einströmt und nach einer Erwärmung seit 1996 kälter wird. Die Messungen weisen darauf hin, dass die Tiefsee in der Antarktis längerfristigen Temperaturschwankungen unterliegt, die im Zeitraum von Jahrzehnten von den oberen Wasserschichten bis in die Tiefsee übertragen werden. Damit werden der Weg und der Zeitraum erkennbar, auf dem sich Veränderungen der klimatischen Bedingungen in der Antarktis auf die Eigenschaften des globalen Bodenwassers auswirken können.

Als Nachfolger des zirkumpolaren Modells des Südpolarmeeress, das im Rahmen des Bremerhaven Regional Ice-Ocean Simulations (BRIOS) betrieben wurde, entstand ein gekoppeltes Meeres-Ozean-Modell auf der Basis der Methode der Finiten Elemente. Dieses Finite Element Sea-Ice Ocean Model (FESOM) basiert wieder auf dem dynamisch-thermodynamischen

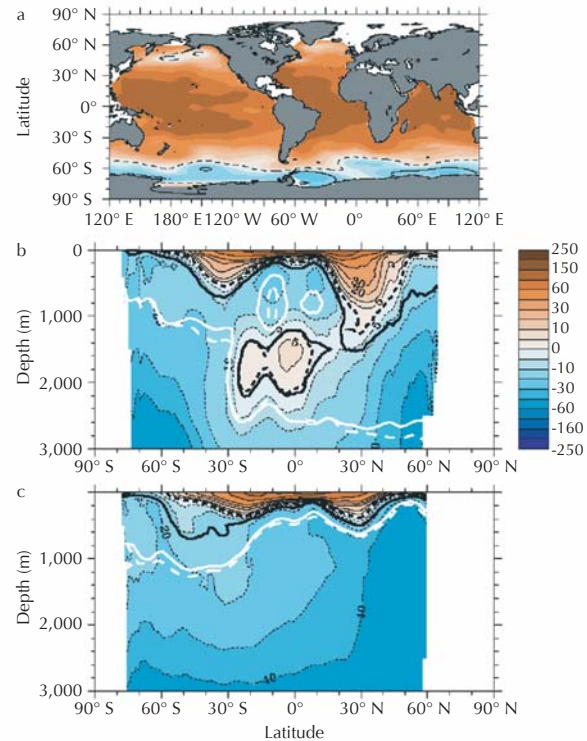


Abb. 1: Der Aragonit Sättigungsgrad im Jahr 2100, vorhergesagt von 13 OCMIP-2 Modellen: a Oberflächenkarte; b zonale Mittelwerte für den Atlantik und c Pazifik. Positive $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A$ Werte zeigen Übersättigung an (rot); negative $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A$ Werte stehen für Untersättigung (blau).

Fig. 1: The aragonite saturation state in the year 2100 as predicted by 13 OCMIP-2 models: a surface map; b Atlantic and c Pacific zonal averages. Positive $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A$ indicates supersaturation (red); negative $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A$ indicates undersaturation.

schen AWI-Meereismodell, dessen Modellcode in weiten Teilen neu formuliert wurde. Die Ozean-Komponente gründet auf dem Finite Element Ocean Model (FEOM), das bisher in einer regionalen Konfiguration für den Nordatlantik betrieben wurde. In einem ersten Schritt wird FESOM in einer zirkumpolaren Version mit einer mittleren Auflösung von 1,5 ° und einem offenen Rand bei 48 °S betrieben. Dieses Modell wurde für mehrere Jahrzehnte integriert und liefert sehr realistische Resultate. Eine globale Version steht kurz vor der Fertigstellung. In Zusammenhang mit laufenden und zukünftigen Forschungsarbeiten zur Zirkulation und Biogeochemie des Südpolarmees wird dieses Modell mit lokal verfeinerten Gittern eingesetzt werden. Hierbei ist eine derzeit in Entwicklung befindliche Konfiguration mit einem wirbelauflösenden Gebiet im atlantischen Sektor des Antarktischen Zirkumpolarstroms besonders hervorzuheben.

POL3: Veränderungen der physikalischen Umwelt im Nordpolarmeer

Langzeitbeobachtungen der Konvektionsaktivität in der zentralen Grönlandsee wurden fortgesetzt. Die jährliche hydrographische Aufnahme wurde dabei 2004 und 2005 durch nährstoffchemische und optische Untersuchungen ergänzt. Automatische Tiefsee-Profiler setzten den operationellen Betrieb fort. Zusätzlich wurde mit der Universität Cambridge ein akustisches Array zur Bestimmung des Konvektionsablaufs verankert. Bemerkenswerte Ergebnisse sind

recovered with a discretization on finite elements. The ocean component is a modified version of the Finite Element Ocean Model (FEOM), which was previously used in a North Atlantic configuration. As a first step, the coupled model has been run in a circumpolar Southern Ocean domain with a mean horizontal resolution of 1.5 °. It has yielded stable integrations for many decades and gives very reasonable results. To overcome limitations due to the (closed) northern boundary at 48 °S, a global version is developed. In the context of future research projects aiming at, e.g., a thorough understanding of circulation variability and physical-biological interaction in the Southern Ocean, the finite element approach allows for an easy and individual refinement of the grid to the regions of specific interest.

POL3: Variations of the Physical Environment of the Arctic Ocean

The long term survey of the convection state in the Greenland Sea was continued with yearly campaigns in 2004 and 2005 and complemented by nutrient chemistry and ocean optics. The autonomous deep sea profilers continued their year-round measurements. Additionally, an acoustic array was installed in cooperation with the University of Cambridge, which identifies convective activity in detail. Among the main results are the absence of Pacific Waters in the East Greenland Current in the last years, the dominating role of Atlantic Waters for water mass modifications and convection in the Greenland Sea,

das nun mehrjährige Fehlen von Pazifischen Wassermassen im Ostgrönlandstrom, die dominierende Rolle des Atlantischen Wassers für die Wassermassenmodifikation und Konvektion in der Grönlandsee, die Fortsetzung des Trends zu höheren Temperaturen und Salzgehalten im Tiefenwasser, sowie der Nachweis der mehrjährigen Lebensdauer von kleinskalierten Wirbeln.

Um den Einfluss der Variabilität des atmosphärischen Antriebs, der Meereisbedeckung und des Strömungsregimes im Arktischen Ozean auf den Wasser- und Sedimenttransport in den sibirischen Schelfmeeren zu untersuchen, haben Wissenschaftler des AWI zusammen mit russischen und US-amerikanischen Wissenschaftlern an zwei NABOS-Expeditionen (Nansen and Amundsen Basins Observational Systems) teilgenommen. Dabei wurden in der Lapteewsee im Bereich der Großen Sibirischen Polynja, einem der Hauptbildungsgebiete von arktischem Meereis, zwei Verankerungen ausgebracht. Sie werden durch Verankerungen des NABOS-Programms auf dem Kontinentalhang ergänzt und sollen 2006 wieder geborgen werden.

Um den Gebrauchswert von benthischen Foraminiferen als Anzeiger von fossilen Methanfreisetzungen in der Arktis zu untersuchen, wurde die Zusammensetzung stabiler Isotope gemessen und zwar in Gehäusen lebender und toter Individuen der epibenthischen *Fontbotia wuellerstorfi* von einer aktiven Methan-Heraussickerung vor Nordnorwegen (Håkon-Mosby-Schlammvulkan, HMS). Diese Art wird wegen ihrer Verlässlichkeit als Aufzeichner des $\delta^{13}\text{C}$ von im Bodenwasser gelöstem anorganischem Kohlenstoff (DIC) bevorzugt für paläoozeanographische Rekonstruktionen verwendet. Am HMS in 1250 Metern

the continuing trend to higher temperatures and salinities of the deep waters, and the verification of a multi-year lifetime of small scale eddies.

The influence of the changing atmospheric forcing and sea ice cover on the circulation and the sediment transport in the Siberian shelf seas was studied in cooperation with Russian and US scientists. During two NABOS (Nansen and Amundsen Basins Observational Systems) expeditions in 2004 and 2005, two moorings were deployed in the range of the persistent Siberian Polynya in the Laptev Sea, which is the most productive sea ice formation site of the Arctic. The moorings are combined with the NABOS array and will be recovered with the Russian RV 'Kapt. Dranitsyn' in 2006.

*To investigate the use of benthic foraminifera as a means to document ancient methane release in the Arctic, the stable isotopic composition of tests of live and dead specimens of epibenthic *Fontbotia wuellerstorfi* from an active methane-venting seep off northern Norway (Håkon Mosby Mud Volcano, HMMV) was determined. Because of its reliability in recording $\delta^{13}\text{C}$ values of bottom-water dissolved inorganic carbon (DIC) this species is preferentially used in palaeoceanographic reconstructions. At the HMMV in 1250 meters water depth, $\delta^{13}\text{C}$ values of *F. wuellerstorfi* are by up to 4.4 ‰ lower than at a control site outside the volcano, thus representing the lowest values hitherto reported for this species. The comparison suggests that low test $\delta^{13}\text{C}$ values of *F. wuellerstorfi* are the result of incorporation of heavily $\delta^{13}\text{C}$ depleted methanotrophic biomass that these specimens feed on, rather than due to low bottom-water $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$.*

Wassertiefe sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *F. wuellerstorfi* um bis zu 4.4 ‰ niedriger als die von einer Kontrolllokation außerhalb des Vulkans. Dies sind die bisher niedrigsten für diese Art gemessenen Werte. Aus dem Vergleich ergibt sich, dass die niedrigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *F. wuellerstorfi* von der Aufnahme stark in $\delta^{13}\text{C}$ angereicherter methanotropher Biomasse herrühren und nicht vom niedrigen $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ des Bodenwassers.

Eine Komponente des marinen Methankreislaufs ist die mikrobielle Methanproduktion und -oxidation in der Wassersäule. Im Storfjord sind im Winter Konzentrationen deutlich über dem normalen Hintergrundwert von $< 5 \text{ nM}$ festgestellt worden. Da die Konzentrationen von der Oberfläche zum Meeresboden hin zunehmen, kann man von einer submarinen Freisetzung ausgehen. Durch Arbeiten während ARKXXII ist das Auftreten einer solchen Anomalie auch im Sommer nachgewiesen worden und es konnte gezeigt werden, dass das Methan rezent durch bakterielle Aktivitäten gebildet wird.

POL4: Makroorganismen im Klimawandel

Marine Organismen in polaren Nahrungsnetzen

Küstengewässer und Kontinentalschelfe sind weltweit die produktivsten Meeresgebiete, gleichzeitig verbinden sie Land und offenen Ozean. Daher spielen sie auch in den Polargebieten eine zentrale Rolle im Verständnis von Gegenwart und Zukunft mariner Ökosysteme. Die Insel Bouvet ist eine der wenigen abgelegenen Inseln im offenen antarktischen Ozean, etwa 1600

The marine methane cycle is influenced by microbial in situ methane production and oxidation in sea water. Observations in shallow parts of the Barents Sea (Storfjord) during winter showed methane concentrations exceeding considerably the background values of $< 5 \text{ nM}$. The concentration increase from the sea surface to the bottom points to a release of submarine methane during resuspension events of sediments, while the methane originates from recent bacterial activities. Samples obtained during ARKXXI/1a show anomalously high methane concentration in Storfjorden also during summer. However, in contrast to the winter situation, in summer the methane maxima are located in the upper water column supporting bacterial in situ production of methane in the euphotic zone.

POL4: Response of Higher Marine Life to Change

Organisms in polar marine food webs

On a global scale as well as in polar regions coastal and shelf oceans are the most productive marine areas and at the same time, they link land and sea. They are therefore essential for an understanding of present and future developments of marine ecosystems.

Bouvet Island is one of the few remote islands within the open ocean of Antarctica, about 1600 kilometers away from the nearest land mass. A first analysis of the surrounding marine ecosystem re-vealed a rather uncommon structure of the coastal food web.

Kilometer vom Festland entfernt. Das küstennahe Ökosystem dieser Insel ist ungewöhnlich, denn es fußt auf suspendiertem organischem Material, hauptsächlich Phytoplankton, als nahezu einziger Nahrungsquelle. Zwar entspricht der pelagische Teil des Nahrungsnetzes dem im offenen Ozean, wir finden die gleichen Arten und die gleichen Nahrungsbeziehungen. Das Benthos besteht jedoch fast ausschließlich aus Suspensionsfressern und ihren Räubern. Substratfresser und Arten, die im Boden leben, fehlen völlig. Der schnell fließende Zirkumpolarstrom verhindert, dass Material aus der Wassersäule sedimentiert und somit Weichböden entstehen, die Substratfresser einen Lebensraum bieten. Die bodenlebenden Tiere müssen daher ihre Nahrung aus dem Wasser filtern und konkurrieren somit direkt mit den Bewohnern des Pelagials.

Im Pelagial der arktischen Karasee sind Ökologie und Stoffflüsse komplexer, als bisher vermutet. Süßwassereintrag über Flüsse und Advektion aus dem Arktischen Ozean und der Barentssee definieren vier faunistisch unterschiedliche Regionen. Die bisherigen Schätzungen der Primärproduktion sind viel zu niedrig, um den Nahrungsbedarf des Gesamtsystems, abgeleitet aus Biomassedaten und Stoffwechselraten des Zooplanktons, des Benthos und der Bakterien, zu decken. Entweder wird die Primärproduktion deutlich unterschätzt, oder andere Quellen, vor allem durch Advektion, spielen eine wichtigere Rolle als angenommen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ein wesentlicher Schluss ziehen: Das Schelfökosystem der Karasee hat einen derart hohen Nahrungsbedarf, dass mit großer Wahrscheinlichkeit wenig Material für den Export in die zentralen Becken des Arktischen Ozeans übrig bleibt.

The system is centred on one single primary food source, suspended particulate organic matter, i.e. basically phytoplankton. The pelagic part of the food web does not exhibit any specific coastal features but resembles the self sustaining open ocean system. The benthic part of the food web consists of filter feeders and their predators, deposit feeders and infauna are completely missing. Thus Bouvet Island constitutes a shallow water 'oasis', where the fast flowing Antarctic Circumpolar Current prevents sedimentation and soft bottom formation. The benthic fauna just tries to get their share from the food drifting by, in direct competition with the pelagic consumers.

Pelagic ecology and energy flow in the Arctic Kara Sea are much more complex than thought previously. Riverine input and advection from the Arctic ocean as well as the Barents Sea define four distinct faunistic regions. Current estimates of primary production appear much too low to balance food requirements of the whole system as derived from biomass and metabolic rates of zooplankton, benthos and bacteria. Either primary production is seriously under-estimated, or other sources of food input, e.g. by advection, play a more significant role than thought previously. From these findings we can draw one major conclusion: Food requirements within the Kara Sea shelf ecosystem are so high that little will be left for export towards the central deep basins of the Arctic Ocean.

Die Rolle von Temperatur, Sauerstoff und Kohlendioxid in der Evolution

Erstmals wurde bei einem Tintenfisch, *Sepia officinalis* aus mitteleuropäischen Schelfmeeren, an den Grenzen des Temperatur-„Fensters“ eine mangelnde Kapazität des Sauerstofftransports durch das Herz-Kreislauf-System und das Blutpigment (Hämocyanin) nachgewiesen. Diese Befunde bestätigen die allgemeine Gültigkeit des Konzepts der sauerstofflimitierten Temperaturtoleranz für wasseratmende Tiere.

Die Auftrennung einer Art in physiologisch unterschiedliche Populationen ermöglicht ihr eine größere geographische Verbreitung. Unterschiede zwischen Populationen des atlantischen Kabeljaus (*Gadus morhua*) werden in der optimalen Leistungskapazität sichtbar, die durch die Anpassung des Herz-Kreislauf-Systems mitbestimmt wird. Vergleiche der venösen Blutgaswerte legen nahe, dass die arktische Population aus der Barentssee ein niedrigeres Temperaturoptimum aufweist als die der Nordsee. Bei niedriger Umgebungstemperatur verfügt arktischer Kabeljau über höhere Kapazitäten mitochondrialer Atmung. Die Kapazität zur Expression mitochondrialer Gene ist dementsprechend im Muskel deutlich erhöht, ein Hinweis auf unterschiedliche Genregulation in den Populationen. Ein Hypoxie-induzierter Transkriptionsfaktor (HIF-1) trägt über die Verbesserung der Blutversorgung zur Temperaturanpassung bei. HIF-1 wurde mittlerweile bei Fischen aus der Nordsee und der Antarktis nachgewiesen und sequenziert.

Die Spezialisierung antarktischer Tiere auf ein eng begrenztes Temperaturfenster in der Kälte findet sich auf allen Ebenen biologischer Organisation, ist jedoch auf der Ganztierebene besonders ausgeprägt. Untersuchungen an isolierten Leberzellen verschiedener

Role of temperature, O₂ and CO₂ in evolution

*It was shown for the first time for a cephalopod, the European cuttlefish *Sepia officinalis*, that the capacity for oxygen transport by the circulatory system and the blood pigment (haemocyanin) becomes limited at the border of the thermal envelope. This lends further support to the general validity of the concept of oxygen limited thermal tolerance in animals.*

*Separation into physiologically distinct populations supports a wider geographical distribution of a species, e.g. of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Cod populations differ in their level of optimum performance, which is co-defined by circulatory capacity. As shown by comparison of venous oxygen tensions, Arctic cod from the Barents Sea displays a lower thermal optimum than North Sea cod, even when both populations were acclimated to 10°C. At low acclimation temperature, Arctic cod possess a higher capacity of mitochondrial respiration than the respective North Sea population. At the same time gene expression capacity of mitochondrial enzymes in muscle tissue is enhanced, providing evidence for different patterns of gene regulation in both populations. During temperature adaptation a hypoxia inducible transcription factor (HIF-1) causes improved blood oxygen supply. HIF-1 has been sequenced from fish species of the North Sea and the Antarctic.*

*Specialization of Antarctic animals in a narrow thermal window in the cold can be found on all levels of biological organization, but is most expressed at the whole animal level. Windows are somewhat wider at lower hierarchical levels, as seen in isolated Antarctic fish liver cells (Figure 2). Growth rate depends on protein synthesis capacity, which is cold compensated in the Antarctic eelpout (*Pachy-**

antarktischer Fischarten bestätigen, dass Zellen ein etwas breiteres Temperaturfenster abdecken als der Gesamtorganismus (Abb. 2).

Das Wachstum eines Organismus wird unter anderem durch die Kapazität der Eiweißsynthese limitiert. Diese ist bei der antarktischen Aalmutter (*Pachycara brachycephalum*) kältekompensiert, und zwar durch Steigerung der Translationskapazität, d.h. der Fähigkeit, die Eiweiße aus einzelnen Aminosäuren zusammenzubauen. Dementsprechend erfolgt der maximale Größenwuchs der stenothermen antarktischen Aalmutter bereits bei 4 °C, während die eurytherme Aalmutter (*Zoares viviparus*) aus der Nordsee erst bei 12 °C optimal wächst. Die antarktische Aalmutter kann zudem ihre Nahrung weit effizienter verwerten und nutzt Lipide in größerem Ausmaß als die Nordseeart.

Sauerstoffradikale tragen zur Begrenzung der Langlebigkeit von Tieren bei und werden durch Antioxidantien abgefangen. Dabei liegt das Glutathion im Mantelgewebe langlebiger polarer Muscheln (*Adamussium colbecki*, Antarktis, ~45 Jahre, *Arctica islandica*, Sub-Arktis, >375 Jahre) in höheren Konzentrationen vor als in borealen Arten (*Aequipecten opercularis*, ~8 - 10 Jahre).

Reaktion polarer Meeresorganismen auf aktuelle Veränderungen

Um die Wiederbesiedlung des antarktischen Meeresbodens nach Eisbergstrandungen zu simulieren und die Bedeutung biologischer Wechselwirkungen zu beurteilen, wurden numerische und konzeptionelle Modelle entwickelt. Die beobachtete hohe makrobenthische Biodiversität kann durch Ausbreitung von Jungstadien über sehr geringe Distanzen aufrechter-

cara brachycephalum). This is achieved through higher translation capacity, i.e. the capacity to form protein molecules from individual amino acids. Accordingly, maximum growth of the stenothermal Antarctic species occurs at 4°C, while the eurythermal species (*Zoares viviparus*) grows maximally only at 12°C. The Antarctic eelpout displays a higher food conversion efficiency associated with a higher use of lipid metabolism than the North Sea species.

Oxygen radicals contribute to lifespan limitation and are destroyed by antioxidants like glutathione. Glutathione levels are higher in long-lived polar bivalves (*Adamussium colbecki*, ~45 years, *Arctica islandica* >375 years) than in boreal species (*Aequipecten opercularis*, ~8-10 years).

Response of polar marine life to recent change

Numerical and conceptual models were developed to simulate Antarctic benthic recolonisation processes after iceberg groundings and to verify the relevance of biological interactions. Short distances of juvenile dispersal are suitable to maintain the high macrobenthic biodiversity evaluated from field data. This strategy saves energy and minimizes the risk of drift loss and is considered advantageous due to the homogeneity of the Antarctic environment, which is, however, exposed to disturbances (Figure 3). The high species richness within ecological guilds can not only be explained by the occupation of distinct niches and pure chance, but also by mechanisms that suppress competition between species, such as predation, disturbance, unlimited resources and the lack of long-term barriers to dispersal.

Conceptual analysis suggests an increasing interaction of temperature and CO₂ effects on marine

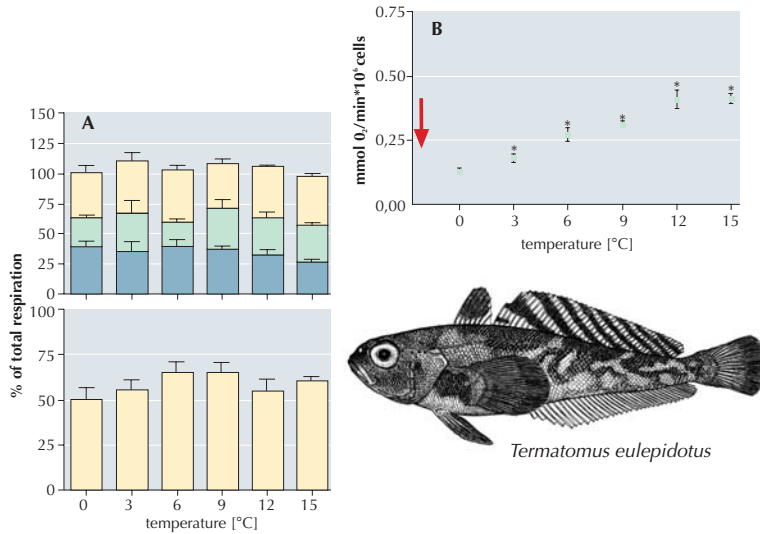


Abb. 2: Der Antarktische Nothotheniide *Trematomus eulepidotus* überlebt Umgebungstemperaturen über 6 °C nicht. Isolierte Leberzellen zeigen jedoch ein stabiles Energiebudget bis 15 °C (A; als Anteil der Gesamtatmung, blau: Proteinsynthese; grün: RNA/DNA Synthese; gelb: Na⁺K⁺-ATPase; beige (untere Abb.): ATP Synthese) bei steigendem zellulären Sauerstoffbedarf (B, Pfeil: Habitat Temperatur)

Fig. 2: The Antarctic nototheniid *Trematomus eulepidotus* cannot withstand temperatures higher than 6 °C. Its liver cells, however, display a stable energy budget up to 15 °C (A; given as fractions of total respiration, blue: protein synthesis; green: RNA/DNA synthesis; yellow: Na⁺K⁺-ATPase; light brown (lower panel): ATP synthesis) at rising cellular oxygen demand (B, arrow: habitat temperature)

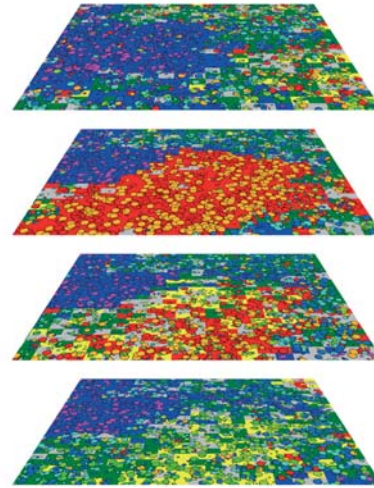
halten werden. Diese Strategie trägt dazu bei, Energie zu sparen und Verluste durch Verdriftung zu minimieren. Sie ist insbesondere in der grundsätzlich homogenen, aber durch Störungen geprägten antarktischen Umwelt für viele Tiere von Vorteil (Abb. 3). Die hohe Artenzahl innerhalb ökologischer Gilden ist nicht nur durch spezifische Einnischung und puren Zufall, sondern auch durch Mechanismen zu erklären, die den lokalen Wettbewerb unterdrücken, wie Fraßdruck, Störungen, unbegrenzte Ressourcenverfügbarkeit und das Fehlen langfristig wirksamer Ausbreitungsbarrieren.

Konzeptionelle Ansätze lassen in marinen Ökosystemen ein Zusammenwirken erhöhter Temperaturen und CO₂-Konzentrationen vermuten. Tatsächlich belegen erste Untersuchungen an der Krebsart *Cancer pagurus*, dass ein CO₂-Anstieg das Temperaturtoleranzfensters einengt. Dies zeigt sich u.a. an einer reduzierten Sauerstoffversorgung der Gewebe. Beim

ecosystems. First results obtained in the brachyuran crab *Cancer pagurus* provide evidence that elevated CO₂ levels cause a narrowing of the window of thermal tolerance as characterized by limitations in the capacity of oxygen supply to tissues. The thermal window of the lugworm *Arenicola marina* was found to shift dynamically between seasons. Windows were identified from patterns of oxygen consumption, ventilation and protein synthesis monitored in an artificial burrow. At the same acclimation temperature thermal windows were narrow in winter associated with lower rates of energy turnover and a very high response to warming compared to the wider windows found in spring.

Wattwurm *Arenicola marina* wurde im Experiment eine starke saisonale Veränderung des Temperaturtoleranzfensters beobachtet. Bei gleicher Umgebungstemperatur weisen die Tiere im Winter engere Toleranzfenster auf als im Frühjahr, verbunden mit verringertem Energieumsatz und erhöhter Temperaturempfindlichkeit.

Die Toleranz von Makroalgen und Amphipoden (Krebsen) aus dem Flachwasser gegenüber ultravioletter Strahlung (UVB) wurde vor Spitzbergen und an der antarktischen Halbinsel untersucht. Die obere Tiefenverbreitungsgrenze arktischer Braunalgentange wird durch die Anfälligkeit ihrer Zoosporen für UV-Stress bestimmt. Karnivore arktische Amphipoden erwiesen sich als weniger UVB-resistent als herbivore Krebse. Ihre Schutzpigmente wurden von der Strahlung erheblich gebleicht, und es kommt zur Photoinhibition antioxidativer Enzyme. Bei antarktischen Amphipoden führt UV-Strahlung und vor allem der kurzwellige UVB-Anteil zu gesteigerten Respirationsraten. Dieser gesteigerte Sauerstoffumsatz könnte ein Grund für den erhöhten oxidativen Stress der Tiere unter UV-Belastung sein.



Potential figure (high priority)

Abb. 3: Das räumlich aufgelöste Modell ermöglicht Analysen komplexer Diversitätsmuster. Kreise zeigen einzelne Tiere, Farben ihre Zugehörigkeit zu einzelnen Arten. Eine ungestörte, aber heterogene Gemeinschaft (oben) mit Arten, die an eine stabile Umwelt angepasst sind (blau, violett), wird in einem Eisbergkratzer zerstört und abrupt durch Erstbesiedler (rot, orange) ersetzt. In der weiteren Entwicklung (von oben nach unten) werden diese Pioniere von Arten abgelöst, die langsamer wachsen und sich fortpflanzen (gelb, grün).

Fig. 3: The spatially explicit model allows analyses of complex diversity patterns. Circles represent single animals, colors indicate their affiliation to individual species. An undisturbed but heterogeneous assemblage (top) with species adapted to a stable environment (blue, pink) is destroyed by an iceberg scour and replaced by first colonisers (red, orange). During further development (from top to bottom) these pioneers are replaced by species with slower growth and reproduction (yellow, green).

POL5: Autökologie planktischer Schlüsselarten und Gruppen

Ein wichtiger Meilenstein war die Durchführung des Europäischen Eisendüngungsexperiments (EIFEX) und die Analyse der Rolle von Schlüsselorganismen im Pelagial bei der Entwicklung der induzierten Planktonblüten und ihrem weiteren Schicksal (siehe spezielle Forschungsthemen). Während EIFEX wurden die im Lebenszyklus der zirkumpolaren Kieselalge *Fragilariopsis kerguelensis* unbekanntes Geschlechtsstadien (Auxosporen und Gametangien) erstmalig beschrieben. Dabei wurden die maximale Größe einer Zelle von *F. kerguelensis* und der Größenbereich der Zellen, in denen Sex induziert werden kann, bestimmt.

Die molekularbiologische Anpassung der psychrophilen Diatomee *Fragilariopsis cylindrus* an erhöhten Salzgehalt im Lebensraum Meereis wurde mittels Salzchockexperimente untersucht. Dabei wurde die Regulation des Osmolytstoffwechsels durch Schlüsselgene der Prolinsynthese analysiert. Im Gegensatz zu höheren Pflanzen ist Ornithin das Ausgangssubstrat für Prolin unter Stressbedingungen.

Eine weitere wichtige Schlüsselgruppe sind Acantharien, frei lebende mikrophagische Protisten, die ein Größenspektrum von 50 µm bis 5 mm im Durchmesser erreichen und Barium-angereicherte (Ba/Sr SO₄) Skelettstrukturen ausbilden. Während EIFEX wiesen Acantharien schon vor der Düngung sehr hohe Abundanzen (50 ind. l⁻¹) auf, und ihre zeitliche Entwicklung folgte der Entwicklung der Phytoplanktonblüte, d.h. diese Organismen waren in der Lage auf erhöhte Nahrungsverfügbarkeit mit Populations-

UVB tolerance was investigated in seaweeds and amphipods from shallow coastal areas of Spitsbergen and the Western Antarctic Peninsula. The upper depth distribution limit of Arctic kelps is determined by the UV susceptibility of their zoospores. Carnivorous Arctic amphipods are less resistant to UVB than herbivores with sun-screening pigments being severely bleached and antioxidant enzymes being photo-inhibited by UV-radiation. Exposure to UV-radiation led to increased oxygen uptake in Antarctic amphipods. The effect was more pronounced under UVB than UVA exposure.

POL5: Autecology of Planktonic Key Species and Groups

*An important milestone was the European Iron Fertilization Experiment (EIFEX) and the analysis of the role of key species for the fate of the iron induced bloom. During EIFEX, previously unknown sexual stages (both auxospores and gametangial cells) of the circumpolar pennate diatom *Fragilariopsis kerguelensis* were recorded for the first time. It was possible to constrain the two cardinal points in the life cycle of *F. kerguelensis*: The maximum cell size (auxospores) and the sex inducible size window (gametangial size range). Acantharia were found frequently during EIFEX. They are delicate, free-living, microphagic, exclusively marine microzooplanktonic protozoa, ranging in size from 50 µm to 5 millimeter in diameter. Due to their barium-enriched celestite (Ba/Sr SO₄) skeletons, Acantharia's sinking*

wachstum zu reagieren. Dies ist wichtig, da es beim Absinken der Acantharienskelette auf noch ungeklärte Weise zu Barit(BaSO_4)-Bildung kommen kann, das in den Sedimenten abgelagert wird. Barit dient als Indikator (Proxi) für die biologische Produktivität in der Deckschicht.

Zur automatisierten Detektion und zur Quantifizierung von Mikroalgen wurde ein sensitiver Fluoreszenztest etabliert. Bei dieser einzigartigen Methode binden fluoreszierende, molekulare Sonden an Zielzellen an. Diese können dann selbst in Umweltproben quantifiziert werden.

Der antarktische Krill *Euphausia superba* hat eine zentrale Stellung im antarktischen Nahrungsnetz. Sein Überleben im Winter ist der Schlüsselfaktor für die Abschätzung der Populationsentwicklung; aber dies ist weitgehend ungeklärt. Es werden gegenwärtig vier Überwinterungsstrategien diskutiert: Reduktion des Metabolismus, Nutzung von Fettreserven und alternativen Nahrungsquellen (Zooplankton, Eisalgen und Schumpfen). Unsere bisherigen Untersuchungen ergaben, dass adulter Krill seinen Stoffwechsel im antarktischen Herbst reduziert und diese Reduktion nicht nahrungsinduziert ist. Die jährliche Photoperiode in der Antarktis scheint interne physiologische Funktionen bei adultem Krill zu beeinflussen oder zu induzieren. Die Larvenstadien dagegen zeigen keine Überwinterungsstrategien. Sie haben nur eine geringe Hungertoleranz und hohe metabolische Raten, so dass sie stetig Nahrung aufnehmen müssen (Abb. 4). Untersuchungen im nahrungsarmen antarktischen Herbst haben ergeben, dass die Larven die Eisbiota nutzen müssen, um zu überleben. Bei dieser Nahrung zeigen sie hohe Fress- und Wachstumsraten (Abb. 5). Inwieweit Zooplanktonorganismen von den

may deposit barite (BaSO_4) in ocean sediments. This process is not fully understood, but is important as a proxy for biological productivity of the overlying water column.

AWI scientists have developed a fast and sensitive fluorescence test for the automated detection and quantification of microalgae. To date, this method is the only technique to enumerate cells automatically with the possibility to validate these cells directly afterwards microscopically. In this fast detection system, fluorescence labelled molecular probes stick to its target cells and these fluorescence labelled cells are afterwards automatically counted by solid phase cytometry. Those target cells can then easily be quantified even in field samples.

Antarctic krill, Euphausia superba (hereafter krill), plays a key role in the ecosystem of the Southern Ocean. The population size of krill seems to be driven by recruitment, rather than by predation pressure on postlarvae and recruitment may be related to seasonal sea ice dynamics. We demonstrated that larval and adult krill have fundamentally different over-wintering strategies. Adults are able to survive more than 200 days (i.e. the entire winter) without food by consuming their lipid reserves and reducing their metabolic rates. Larval krill have low lipid reserves and thus are not able to tolerate long starvation periods (Figure 4). Furthermore, adults may switch to benthopelagic or carnivorous feeding, whereas larval krill have to feed on ice algae to survive. Experiments conducted during expeditions with RV Polarstern have shown that lipid utilisation in starving furcilia does not seem to be linear but a more exponential process over time (Figure 5). Krill larvae have high metabolic rates and cannot survive

Larven als Nahrung genutzt werden und welche energetische Ausbeute dies für die Larven bringt, ist noch nicht ausreichend geklärt. Erste Experimente haben ergeben, dass die Krilllarven, die Zooplanktonorganismen, gegenüber dem Phytoplankton, nicht bevorzugt, sondern opportunistisch aufnehmen.

Gegenspieler von Krill in Ökosystemen der antarktischen Gewässer sind Salpen. Diese Tiere haben ihr Verbreitungsgebiet in den letzten Jahrzehnten weiter nach Süden ausgeweitet und kamen während der Polarsternexpedition 2005 nahe der Schelfeiskante vor. Die Auswirkungen dieser Faunenverschiebung auf Struktur und Funktion pelagischer Ökosysteme ist noch nicht abzusehen und wird daher weiter untersucht.

Nach der Entdeckung von außergewöhnlichen Lipiden in der Flügelschnecke *Clione limacina* wurden Untersuchungen zur Ernährungsphysiologie durchgeführt. *Clione* nutzt bis zu 80 % ihrer Nahrung, die ausschließlich aus einer anderen Flügelschnecke, *Limacina helicina*, besteht, und baut den überwiegenden Teil der Lipide selbst auf. Andererseits ist *Clione* aber auch in der Lage, extrem lange Perioden von bis zu einem Jahr völlig ohne Nahrung zu überstehen, was für ein aktives Tier, das permanent mit den Flügeln schlagen muss, um nicht abzusinken, einzigartig ist. Während des Hungerns werden alle Körperbestandteile genutzt, was zu einem starken Schrumpfen des Tieres führt.

In der Arktis werden in der Framstraße im AWI Langzeit-Untersuchungsgebiet „HAUSGARTEN“ seit 2000 kontinuierlich die zeitlichen und räumlichen Muster in der Produktion, Modifikation und Sedimentation von organischer Substanz mit Umweltparametern in Beziehung gesetzt. Die Sedimentationsmuster der biogeochemischen Parameter scheinen relativ gleich im Jahresverlauf. In den letzten Proben (2004-

without feeding. We used several physiological parameters to characterize fitness of larval krill in different areas of Antarctica. Such data sets were not available so far but are of great importance for the development of biochemical models on the life cycle of krill.

Salps are counter players for krill in Antarctic pelagic ecosystems. Their area of distribution has extended south during the last decades, which currently cannot be explained sufficiently. On the expedition with Polarstern in 2005 salps were found close to the shelf-ice edge. As the feeding habit of salps differs from krill, the effects on the structure and function on pelagic ecosystems might be great, another fact that will be investigated in the coming years.

The pelagic pteropod Clione limacina carries strange lipids. We tested the food spectrum of Clione and found that they feed with 80 % on another pteropod Limacina helicina. The lipids are de novo produced by Clione and help the animal to sustain extreme long periods (up to one year) without food. This is remarkable, as Clione has to swim actively the entire time to prevent sinking. During starvation periods the body and organs shrink immensely.

Since 2000, sediment traps have been continuously deployed in the Arctic Ocean in the area of the Fram Strait at the "HAUSGARTEN" long-term observing station. Seasonal patterns in production, modification and sedimentation of particulate organic matter in relation to changing abiotic conditions are recorded on an annual basis. On the background of an almost similar seasonal pattern in biogeochemical parameters a change in the "swimmers" composition in the trap material was recorded for the period 2004-2005. Whether this is accompanied by a change in the hydrographical regime has to be tested.

2005) deutet sich eine Artenveränderung im abgesunkenen Material aus den oberen 200 Metern der Wassersäule an. Vor allem die Zusammensetzung der „Schwimmer“ hat sich offensichtlich verändert. Inwieweit dies mit einer veränderten Hydrographie, eventuellen Veränderungen in der Artenzusammensetzung, unter dem Einfluss von Klimaveränderungen, einhergeht, muss noch geprüft werden.

Gelöstes organisches Material (DOM) hat wegen seiner vielfältigen Struktur und großen Menge eine enorme Bedeutung für globale Stoffkreisläufe und Interaktionen mit Organismen. Wegen der großen Komplexität ist die chemische Struktur immer noch weitgehend unbekannt, und daher gibt es auch nur unzureichende Informationen über Quellen, Bioverfügbarkeit, Abbau- und Bildungsprozesse. Seit einigen Jahren wurde am AWI die Fourier Transformation Ionen Zyklotron Resonanz Massenspektrometrie (FT-ICR-MS) auf diesem Gebiet etabliert, mit der sich das Gewicht einzelner Moleküle außerordentlich genau bestimmen lässt. Aus einzelnen Molekülen mit extremer Elementzusammensetzung (z.B. sehr niedriger Gehalt an Wasserstoffatomen) lassen sich direkt Strukturinformationen ableiten: So zeigte DOM in der Tiefsee einen signifikanten Anteil an polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (PAHs), die vermutlich aus Verbrennungs- oder thermischen Prozessen stammen, wie sie zum Beispiel in Hydrothermalquellen stattfinden. Mehr als 200 PAHs konnten in Proben aus der Tiefsee identifiziert werden. DOM besteht schätzungsweise zu mindestens 2,4 % aus diesen Verbindungen, die wahrscheinlich aus Sedimenten und Böden mobilisiert werden und deren Mineralisierung eine signifikante Quelle im globalen Kohlenstoffkreislauf sein kann.

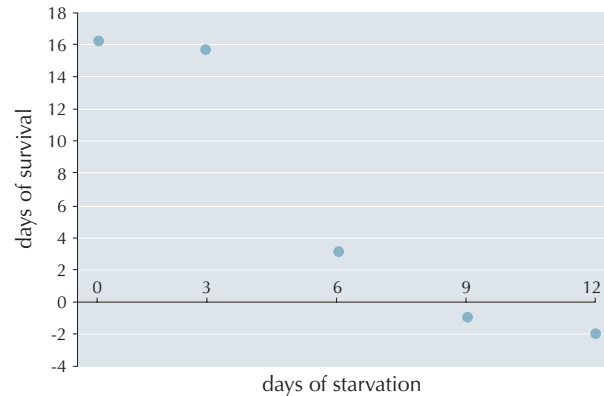


Abb. 4: *Euphausia superba*: Furcilia IV Larven. Die Überlebenszeit wurde berechnet, indem die Abnahme der Lipide des Tieres während der Hungerphase gemessen wurde. Hierbei wurden folgende Faktoren berücksichtigt: a) Minimal sind 3 % Lipide notwendig b) Bis zum Tag 6 des Hungerns wurde ein RQ von 0,72 angenommen (Lipidmetabolismus); danach wurde ein RQ von 0,9 angesetzt (Proteine und Lipide werden katabolisiert).

Fig. 4: *Euphausia superba*: furcilia IV larvae. Calculated survival time on the basis of body lipid content measured during the starvation experiment. For the calculation the following factors were taken into account: a) a minimum of 3 % of lipids are essential b) a RQ of 0.72 was used until the 6th day of starvation (lipids were preferentially catabolised) and thereafter a RQ of 0.9 was used (a mix of protein and lipids were metabolised).

POL6: Klimavariabilität seit dem Pliozän

Im Zentrum der Arbeiten steht die Dokumentation der vergangenen Klimaentwicklung aus terrestrischen, marinen und Eiskern-Klimaarchiven in einer zeitlichen Auflösung von jahreszeitlichen Änderungen bis zu Jahrtausenden. Durch Verknüpfung der Klimasignale aus der Atmosphäre und polaren Ozean- und Landgebieten werden Mechanismen entschlüsselt, die die Klimaentwicklung der Erde steuern und verstärken. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für realistische numerische Simulationen der vergangenen und zukünftigen Entwicklung von Klima und Meeresspiegelstand. Die Arbeiten stehen in engem Zusammenhang mit anderen Untersuchungen innerhalb des MCP-Programmes, insbesondere der Arbeitsfelder MAR1, MAR2, POL2, POL3, POL7 und New Keys.

Die Paläoklimarekonstruktionen an polaren Eisbohrkernen konzentrierten sich auf die multinationalen Tiefbohrprojekte "North Greenland Ice Core Project (NGRIP)" und das "European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA)", deren Ergebnisse bereits zu Meilensteinen der Eiskernforschung geworden sind. Darüber hinaus wurden die Arbeiten an einem Eiskern von der 720 Metern mächtigen Eiskappe auf Severnaya Zemlya (russische Arktis) fortgesetzt. Die hohe Jahresschichtdicke des NGRIP-Eiskerns erlaubt nunmehr Rekonstruktionen des letzten Vereisungszyklus in bisher unerreichter Auflösung. Mit dem NGRIP-Eiskern ist es erstmals auch möglich, die Temperaturen in Grönland am Ende der letzten Warmzeit (Eem) mit Hilfe von Wasserstoffisotopenmessungen zu

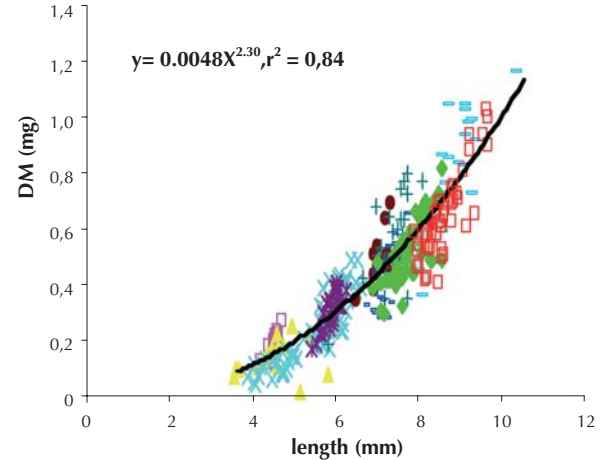


Abb. 5: Korrelation zwischen Körperlänge (mm) und Trockengewicht (DM) von Krilllarven von verschiedenen Gegenden und Jahreszeiten.

Fig. 5: Correlation between body length (mm) and body dry mass (DM) of larval krill from different study areas and years.

The fate of the large amount of dissolved organic material (DOM) in seawater influences global geochemical cycles. As it is composed by a variety of complex organic structures - most of which are still unknown - it also interacts with organisms. AWI scientists have established the Fourier Transformation Ion Cyclotron Resonance Mass-Spectrometry (FT-ICR-MS) to determine molecular mass with high precision to allow reconstruction of molecular structures. DOM from the deep-sea contains a significant amount of poly-aromatic carbon hydrates (PAHs). More than 200 PAHs were detected, some of which might have originated from deep-sea vents. It was estimated that up to 2.4 % of DOM worldwide originated from sediments, which, if remineralised, is significant for the global carbon budget.

POL6: Earth Climate Variability since the Pliocene

rekonstruieren. Es zeigt sich, dass dieser Zeitraum bis zu 5 °C wärmer als heute war. Die Eiskappe auf Severnaya Zemlya hat sich erst nach einer Warmphase in der jüngeren Bronzezeit (um 2700 J. v.h.) entwickelt und dokumentiert damit detailliert die arktische Klimaentwicklung in historischen Zeiten. Nach einer Warmperiode um 400 v. Chr. wurden die kältesten Temperaturen in der Endphase der „Kleinen Eiszeit“ um 1800 erreicht. Daran anschließend zeigen die an einer 150-jährigen Zeitreihe der Lufttemperatur in Nord-Norwegen (Vardø) geeichten Isotopenwerte bis 1930/40 einen Temperaturanstieg von 1,6 °C an.

Der EPICA-Dome C (EDC) Eiskern aus dem indischen Sektor der Antarktis erweitert den durch Eiskerne dokumentierten Zeitraum vergangener Klimaentwicklung auf mehr als 740 000 Jahre v.h., und damit auf das Doppelte des durch den Vostok-Eiskern abgedeckten Zeitfensters. Auffällig an den neuen EDC-Klimazeitreihen ist, dass die Warmzeiten im Zeitraum zwischen 750 000 und 450 000 J. v.h. deutlich kühler waren als nachfolgende, wie die derzeitige Warmzeit (Holozän). Aus Befunden zu einer Warmzeit vor ca. 400 000 Jahren, die dem Marinen Isotopenstadium 11 entspricht, kann abgeleitet werden, dass die holozäne Warmzeit, auch ohne Einfluss des Menschen, noch weitere 15 000 Jahre andauern wird. Eine zweite EPICA Eiskern-Bohrung, die vom AWI in Dronning Maud Land (Atlantischen Sektor der Antarktis) durchgeführt wird, wurde bereits bis zu einer Tiefe von 2564 Metern beprobt und verschiedenste chemische und isotopische Parameter gemessen. Die EPICA-Dronning-Maud-Land (EDML) Bohrung wurde im Januar 2006 erfolgreich beendet, wobei der Felsuntergrund in einer Tiefe von 2774 Metern erreicht worden ist. Vorläufige Datierungen

Central to the studies is the generation and inter-correlation of well-tuned climate records from polar continental ice, permafrost, lake and marine sediments to document past climate change at seasonal to millennial time scales. The combination of marine, atmosphere and land data is needed to decode mechanisms driving and amplifying the Earth's climate variability, an essential prerequisite for the establishment of realistic numerical simulations of past and future climate and sea level development. This research is closely related with studies accomplished in other MARCOPOLI work packages, such as in MAR1, MAR2, POL2, POL3, POL7 and New Keys.

Palaeoclimate reconstructions from polar ice cores concentrated on the two multinational deep ice core drilling projects, North Greenland Ice Core Project (NGRIP) and the European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA), which both led to milestone results in ice core research. In addition, studies on a core from the 720 meter thick Severnaya Zemlya ice cap (Russian Arctic) were continued. With the NGRIP ice core it was possible for the first time to reconstruct Greenland temperatures at the very end of the penultimate interglacial, the Eemian. Based on the stable water isotope record it was revealed that the Eemian was approximately 5 °C warmer than today. The high annual layer thickness of the NGRIP ice core allowed for climate reconstruction in unprecedented resolution over the last glaciation. The Akademii Nauk ice cap (Severnaya Zemlya) began to accumulate only after a warm period about 2700

des ältesten Eises ergeben ein Alter um 900 000 Jahre. Der EDML-Kern stellt ein direktes Pendant zu den grönländischen Eiskernen dar und liefert höher aufgelöste Zeitreihen über die letzten 80 000 Jahre. Diese Periode ist durch schnelle Klimaschwankungen (Dansgaard-Oeschger Ereignisse) im Nordatlantik charakterisiert, welche durch die thermohaline Zirkulation mit dem Klima des Südozeans gekoppelt sind. An der EDML-Bohrlokation konnte erstmals auch eine kontinuierliche Aerosolbeprobung durchgeführt werden. Der über einen 2-Jahreszeitraum gewonnene Datensatz ergibt deutliche Unterschiede im Eintrag von marinem biogenem Schwefel und Seesalzareosolen, obwohl beide Komponenten dieselbe Quellregion haben sollten. Dieser unerwartete Befund deutet darauf hin, dass hauptsächlich die Transporteffizienz und weniger Prozesse an der Signalquelle selbst die Eintragsmenge der Aerosole in das Klimaarchiv Eis regulieren.

Marine Klimazeitreihen wurden an holozänen und pleistozänen Sedimentabfolgen aus dem Arktischen Ozean, dem Ochotskischen Meer, dem pazifischen und atlantischen Sektor des Südozeans und dem Europäischen Nordmeer entwickelt. Die Arbeiten an Bohrkernen von der Ocean Drilling Program (ODP) Reise 177 in den atlantischen Sektor des Südozeans ergeben erstmals Zeitreihen, welche die holozäne und pleistozäne Südozeanentwicklung in hoher zeitlicher Auflösung auf einem latitudinalen Schnitt über den Südozean dokumentieren. Es wurden Parameter wie Oberflächenwassertemperatur, Meereisverbreitung und Nährstoffnutzung rekonstruiert. Die Zeitreihen der Wassertemperaturen, die für den Zeitraum der letzten 650 000 Jahre vorliegen, zeigen hohe Übereinstimmung mit der Temperaturabfolge aus Eis-

years ago and thus documents climate evolution during historic time at high sensitivity. After a warming around 400 BC, coldest temperatures were reached around 1800 AD, the late "Little Ice Age". The stable isotope derived temperatures calibrated with a 150-year air temperature record from northern Norway (Vardø) indicate a 1.6 °C temperature increase since 1800 AD until the 1930's.

The EPICA Dome C (EDC) ice core, located in the Indian Ocean sector of Antarctica, extended the time interval covered by ice core records for the first time to more than 740,000 years, which is nearly twice as much as in the previous Vostok ice core. The most enigmatic features of the new EDC record are the interglacials encountered in the time interval 740,000 - 450,000 years BP, which are significantly cooler than our current interglacial, the Holocene. Based on the analogue of Marine Isotope Stage (MIS) 11, a warm period at around 400,000 years BP, we estimate that (even without human interference) our current warm period would last for another 15,000 years. The second EPICA drilling, carried out by AWI, provides the first deep ice core from the Atlantic sector of Antarctica (Dronning Maud Land). Various chemical and isotopic parameters of the EPICA Dronning Maud Land (EDML) ice core have been measured down to a depth of 2564 meters. The EDML drilling was completed in January 2006, when bedrock was reached at a total depth of 2774 meters. Preliminary dating of the basal ice yields an age of around 900,000 years BP. The EDML core represents a direct Antarctic counterpart to the Greenland ice core records and provides high-resolution climate records over the last 80,000 years. This time period is characterized by rapid climate changes (Dansgaard-

kernen (u.a. EDC). Auch im Südozean waren die warmzeitlichen Temperaturen im Zeitraum vor 450 000 Jahren geringer als während jüngerer Warmzeiten. Damit kann die Temperatur zur Korrelation von Klimazeitreihen aus Eiskernen und marinen Abfolgen genutzt werden. Zeiten maximaler Winter- und Sommermeereisverbreitung stimmen mit Zeiten kältester Eiskerntemperaturen und Anstieg des Staubeintrages überein. Nicht nur wegen seines Einflusses auf die Albedo und die Produktion von Wassermassen stellt das Meereis einen wesentlichen Steuerungsfaktor im globalen Klimageschehen dar: In Kaltzeiten erreicht das antarktische Meereis eine doppelt so große Verbreitung wie in der heutigen Warmzeit und beschränkt damit den Austausch zwischen Atmosphäre und Südozean; mit seiner Ausdehnung verbundene Änderungen der atmosphärischen Zirkulation verstärken den Eintrag von Staub und den für die biologische Produktion benötigten Mikronährstoff Eisen in den Ozean; Staub und Eisen werden auf der Meereisdecke angesammelt und bei Abschmelzen des Meereises in das stratifiziertes Oberflächenwasser freigesetzt. Das wiederum regt eine erhöhte Algenproduktion an, die beim Absinken effektiv Kohlenstoff aus der Deckschicht des Südozeans zieht und damit zur Reduzierung des klimawirksamen Treibhausgases CO₂ beiträgt. Durch Korrelation von Klimasignalen aus Eis- und Sedimentkernen wurde die Phasenbeziehung der Klimaentwicklung in nördlichen und südlichen polaren Breiten in zeitlich hoher Auflösung erfasst. Damit konnte das komplexe Zusammenspiel von Änderungen der Insolation, der physikalischen Eigenschaften der Wassersäule und der Wassermassenzirkulation (u.a. durch Schmelzwasser eintrag), der Atmosphärenzirkulation und dem Export

Oeschger events) in the North Atlantic coupled to Southern Ocean climate by the thermohaline circulation. A continuous two-year monitoring of aerosol deposition at the EDML drill site reveals a surprisingly efficient biogenic sulfur transport, in contrast to sea salt aerosols, although the source region of both compounds is the marine boundary layer. Such patterns may indicate that aerosol signals in ice cores primarily depend of transport efficiency and differential deposition losses en route, rather than of the source strength itself.

Marine climate records have been generated on Holocene and Pleistocene sediment sections from the Arctic Ocean, the Sea of Okhotsk, the Pacific and Atlantic sectors of the Southern Ocean and the Nordic Seas. Our study of Ocean Drilling Program (ODP) Leg 177 sedimentary sequences from the Atlantic sector of the Southern Ocean provides the first records documenting Holocene and Pleistocene climate variability at high-resolution from a transect across the Southern Ocean. This includes parameters such as sea surface temperature, sea ice extent and nutrient utilization. Sea surface temperature records of the past 650,000 years compare remarkably well with atmospheric temperatures obtained from Antarctic ice cores (e.g. EDC), including the shift from lower to higher interglacial temperature regimes around 450,000 years. As such, temperature has been selected as a tool for correlation of marine and ice core records. Maximum winter and summer sea ice extents coincide with coldest ice core temperatures and increased dust deposition. Sea ice represents a major player in global climate development because of its impact on the albedo, water mass production and atmospheric CO₂ concentration. The

von organischem Kohlenstoff in polaren Breiten dokumentiert und in seiner Auswirkung auf die Klimaentwicklung interpretiert werden. Zusammenspiel und Wechselwirkungen der klimarelevanten Prozesse, die auf die polaren Breiten wirken oder von dort ausgehen, führen zu einer insgesamt uneinheitlichen Klimaentwicklung während der verschiedenen pleistozänen Glazial/Interglazialwechsel, aber auch zu hemispherischer und regionaler Differenzierungen der Klimaentwicklung. Ein Beispiel dafür ist eine unerwartet starke Aktivität des Agulhas Stromes während einer Kaltzeit vor ca. 350 000 Jahren. Dabei wurde Warmwasser aus dem indo-pazifischen Raum in den glazialen Südatlantik eingebracht, was dort regional zu Abweichungen gegenüber der globalen Entwicklung führte. Die Erfassung der Mechanismen, die den Austausch von Wassermassen und Nährstoffen zwischen polaren Ozean- und küstennahen Auftriebsgebieten in mittleren und niederen Breiten steuern, wurde mit einer Studie begonnen, die sich mit dem Benguela Auftriebsgebiet und seiner Beziehung zum Südozean während der letzten 350 000 Jahren befasst. Diese Arbeiten werden im Rahmen eines Projektes innerhalb des DFG-Forschungszentrums „Ozeanränder“ (RCOM) weiter ausgebaut. Marine Klimazeitserien, die die Entwicklung im nordatlantischen Raum während der letzten 3 bis 4 Millionen Jahre in hoher zeitlicher Auflösung dokumentieren, werden derzeit bearbeitet. Sie wurden 2005 während der Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Reise 306 erbohrt und stellen einen neuen Eckpfeiler für die Erforschung bipolar wirksamer Klimamechanismen dar. Die im polaren Atlantik durchgeführten Arbeiten werden derzeit auch auf die bislang wenig erforschten polaren Gebiete des Pazifiks ausgedehnt. So wur-

Antarctic sea ice field expanded during glacials to twice the present extent. It restricted atmosphere/ocean exchange, enhanced glacial dust generation and acted as a storehouse of dust-Fe for seasonal release during melting into a stratified water column, which launched a biological productivity regime characterized by high carbon export efficiency. The high-resolution studies combining marine and ice core records document the in- and out-of-phase periods of northern and southern high latitude climate development that can be related to the complex interplay of processes involving insolation, physical properties of the water column and water mass circulation (e.g. via melt water injections), atmospheric circulation and biological export of organic carbon. This results in non-uniform amplitudes and sequences of events at the glacial/interglacial transitions and hemispheric/regional differentiation of climate development. An unexpected glacial increase of Agulhas Current activity was documented around 350,000 years ago, which allowed intensified Agulhas spillover into the Atlantic, flushing the glacial South Atlantic Ocean with heat previously accumulated in the Indo-Pacific tropics. The study of mechanisms controlling the exchange of water mass and nutrients between high-latitude ocean and mid-low latitude upwelling areas has begun with a survey of the Benguela upwelling area and its relation with the Southern Ocean during the past 350,000 years. This work continues within a project connected to studies within the DFG Research Center Ocean Margins (RCOM). Further enhancement of the understanding of the complex bipolar processes comes from the study of new sediment cores recovered in 2005 during the Integrated Ocean Drilling Program (IODP)

den bereits paläoozeanographische Rekonstruktionen an Sedimentkernen aus dem ost-pazifischen Sektor des Südozeans durchgeführt. Darüber hinaus wurden für zukünftige Probennahmen marin-geologische Expeditionen mit ‚Polarstern‘ und FS ‚Sonne‘ in süd- und nordpazifische Polargebiete geplant und ein Vorschlag zur Bohrung von zeitlich hochauflösenden pleistozänen-neogenen Sedimentabfolgen im pazifischen Südozean im Rahmen von IODP entwickelt.

Rekonstruktionen des Landschaftswandels und der Permafrostdynamik in den Periglazialräumen der Nordhemisphäre konzentrierten sich auf klimarelevante Schlüsselregionen in Ostsibirien und eine Pilotstudie in zwei Permafrosttunneln in Alaska. Paläoökologische und geokryologische Studien an Permafrostabfolgen der letzten 200 000 Jahre, die an der Küste der Laptewsee aufgeschlossen sind, zeigen Phasen der Permafrostbildung während Kaltzeiten und der Degradation während Warmzeiten wie Eem und Holozän. Permafrostbohrungen im Elgygytgyn-Meteoritenkratersee (Tschukotka) lieferten neue Erkenntnisse über die Hangdynamik in Abhängigkeit vom spätpleistozän-holozänem Klimawandel und die Nutzung von Textur-Eis als Klimaindikator. Die Daten vom gefrorenen Kraterstand sind eine wichtige Grundlage für die paläolimnologische Interpretation von Bohrkernen aus dem Elgygytgynsee, die im Rahmen eines ICDP (International Continental Drilling Program) durchgeführt werden. Umweltindikatoren aus zeitlich hochaufgelösten Seesediment-, Torf- und Eiskeil-Abfolgen Zentraljakutiens (Ostsibirien) deuten auf ausgeprägte Klimaschwankungen in der seit 10 000 Jahren andauernden Warmphase (Holozän) hin. Vor 8000 bis 4500 Jahren waren mildere Winter und höhere Sommertemperaturen als im späten Holo-

Leg 306 at key locations in the North Atlantic. These records represent a benchmark to extend the present knowledge of North Atlantic millennial-scale climate variability over the last few million years. The studies done in the Atlantic are now extended to the little explored Pacific polar regions. This work has begun with palaeoceanographic reconstructions of Pleistocene sediments in the eastern Pacific sector of the Southern Ocean, the preparation of future marine-geological cruises with RV Polarstern and RV Sonne to the southern and northern polar Pacific and the generation of an IODP proposal for the drilling of high-resolution Pleistocene and Neogene records in the Pacific Southern Ocean.

Reconstruction of the landscape development and permafrost dynamics in the northern-hemispheric periglacial realm focused on climate-sensitive key regions in eastern Siberia and a pilot study in two permafrost tunnels in Alaska. Palaeoecological and geocryological studies on permafrost sections exposed along the Arctic Laptev Sea coast of Yakutia show that permafrost aggregation prevailed during the cold stages of the past 200,000 years, while the Eemian and the Holocene warm stages were characterized by permafrost degradation. Permafrost drill cores and texture ice features in frozen ground from the impact crater rim of Lake El'gygytgyn (Chukotka) yielded insights into climate-related slope dynamics during the late Pleistocene-Holocene. The reconstruction of ancient slope stability is essential for the interpretation of sediment records from Lake El'gygytgyn, to be accomplished in the frame of an International Continental Drilling Program (ICDP). The palaeoenvironmental investigation of lake sediment and peat records and from ice wedges in cen-

zän charakteristisch. Zeitgleiche starke Wasserstandsschwankungen in Thermokarstseen dokumentieren häufige Variationen im Feuchtigkeitshaushalt, die möglicherweise an hochfrequente globale Klimaschwankungen (z.B. Arktische Oszillation, Solarzyklen) gebunden waren. Diese Untersuchungen tragen dazu bei, die holozäne Klimaentwicklung in Polargebieten durch Kombination von Land-, Ozean- und Eisdaten wesentlich zu verbessern.

Im Rahmen des ESF-Programms EUROMARGIN konnte eine Mega-Rutschung am Kontinentalrand von Svalbard mit Hilfe von sedimentechographischen und bathymetrischen Untersuchungen exakt vermessen werden. Mit einer betroffenen Fläche von ca. 10 000 km² und einem Volumen von 2400 km³ Sediment zählt die Yermak-Rutschung weltweit zu den größten bislang bekannten, vergleichbar mit der Storega-Rutschung vor Norwegen. Das mit AMS¹⁴C-Datierungen bestimmte Alter der Yermak-Rutschung von 30 000 Jahren fällt in den Zeitraum der Aufbau-phase des Svalbard-Barentssee-Eisschildes.

In enger Anbindung an laufende und geplante Paläoklimarekonstruktionen wurden neue technische Voraussetzungen und Methoden zu Weiterentwicklung und Ausbau der bestehenden Proxy-Palette geschaffen. Um Parameter der sibirischen Klimaentwicklung (u.a. Sommertemperatur, Niederschlag, Vegetationszonierung) mit Hilfe statistischer Methoden quantitativ rekonstruieren zu können, wurden Referenzdatensätze entwickelt, die die Verbreitung von terrestrischen und aquatischen Bioindikatoren (Makropflanzenreste, Pollen, Diatomeen, Zuckmückenlarven, Muschelkrebse) und ihre Beziehung zu ökologischen und klimatischen Parametern beschreiben.

tral Yakutia (eastern Siberia) point to pronounced climate variations during the past 10,000 years (Holocene). The period between 8000 and 4500 years before present was characterized by less severe winters and warmer summer temperatures than today. Marked fluctuations of thermokarst lake levels document repeated changes in summer humidity. This variability is likely related to high-frequent seesaw effects and tele-connections in the global climate system (e.g. Arctic Oscillation, sun-spot cycles). These studies are part of a common effort to significantly augment the knowledge on polar Holocene climate development, combining land, ocean and ice core records.

As part of the ESF Program EUROMARGINS the extent of the Yermak Slide at the Spitsbergen continental margin (Arctic Ocean) has been revised based on new echosounding and bathymetric data. With an affected area of at least 10,000 km² and more than 2400 km³ involved sedimentary material this megaslide ranges among the largest exposed submarine slides worldwide, comparable to the Storegga Slide off central Norway. AMS¹⁴C dating places the main slide event around 30,000 years BP, which coincides with the build-up phase of the Svalbard-Barents Sea Ice Sheet (SBIS).

Closely related to the reconstructions of past climate development techniques for the reconstruction of past environments were improved through the development of new methods and proxies. To enhance the quantitative reconstruction of parameters such as temperature, precipitation and vegetation zonation from Siberian climate using statistical techniques, reference data sets have been set up including the distribution pattern of terrestrial and aquatic

Die Entwicklung eines Permafrost-Isotopenthermometers für die Rekonstruktion von Wintertemperaturen wurde durch umfangreiche Beprobung rezenter und holozäner Eiskeile sowie den Ausbau von Messfeldern zur Beobachtung der Eiskeilentstehung im Lenadelta und bei Jakutsk fortgesetzt. Da kieselige Mikrofossilien wesentliche Signalträger zur Rekonstruktion der Klima- und Umweltentwicklung in polaren Meeresgebieten und Seen darstellen, wurden technische Voraussetzungen und Methoden zur Bestimmung von stabilen Isotopenverhältnissen ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{30}\text{Si}$, $\delta^{18}\text{O}$) an biogenem Opal und eingeschlossener organischer Substanz geschaffen. Diese Messungen erlauben Rekonstruktionen der Nährstoffnutzung und Wassermasseneigenschaften (Temperatur, Salzgehalt). Es wurden bereits Routineverfahren zur quantitativen Abtrennung von kieseligen Mikrofossilien und Mikrofossilgruppen aus Sedimenten entwickelt. Neue Informationen zur paläo-ozeanographischen Nutzung von Radiolarien wurde durch die Bearbeitung von Planktonfängen und Oberflächensedimenten aus dem Ochotskischen Meer gewonnen. Da sich dieses nordpazifische Randmeer durch einzigartige hydrographische Bedingungen auszeichnet, die Ähnlichkeit mit Bedingungen in glazialen polaren Meeresgebieten aufweisen, stützt diese Untersuchung die Entwicklung von Szenarien zur Beschreibung der glazialen Hydrographie und biologischen Produktionsregime in polaren Breiten.

bioindicators (macroplant remains, pollen, diatoms, chironomids, ostracodes) and their relation to the present-day ecological and climate boundary conditions. The development of a permafrost isotope thermometer for the reconstruction of winter temperatures was advanced through a dense sampling of recent and Holocene ice wedges and the establishment of observation sites near Yakutsk and in the Lena Delta. Considering that siliceous microfossils are prominent carriers of past environmental conditions in polar oceans and freshwater environments, technical capacities and methods for the measurements of the stable isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{30}\text{Si}$, $\delta^{18}\text{O}$) of biogenic opal and the organic matter occluded therein have been established. Such measurements provide information on nutrient cycling and water mass properties (e.g. temperature, salinity). Workable techniques for the separation of siliceous microfossil and species groups for isotope measurements have been elaborated and are being tuned towards the separation of samples as monospecific as possible. This was accompanied by a critical assessment of the opal stable isotope proxies in order to identify key areas where improvements could be made to the proxies. New information on the significance of radiolarians for past environmental reconstructions have been extracted from a quantitative study of assemblages collected from the water column and surface sediments in the Sea of Okhotsk. Because this marginal sea is characterized by specific hydrographic conditions that may have affinities to glacial conditions of polar oceans, the study helps to generate scenarios describing glacial hydrographic and productivity regimes in polar latitudes.

POL7: Vom Permafrost in die Tiefsee der Arktis

Das Arbeitspaket POL7 hat die prozessorientierte Untersuchung der Küstendynamik arktischer Regionen, speziell im Hinblick auf den Stofftransport von gelösten und partikulären Komponenten, zum Ziel. Ein Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung des Methankreislaufs in Böden und Sedimenten hoher nördlicher Breiten. Hierfür werden die Bildung und Zehrung dieses Spurengases und die Transportpfade untersucht, um die Bedeutung der arktischen Region für den globalen Methankreislauf zu identifizieren. Die Transportpfade sollen von der Küstenregion über die Ozeanränder bis in die Tiefsee verfolgt werden. Die Untersuchungen in der arktischen Tiefsee zielen auch darauf ab, die biologischen, geologischen und geochemischen Schlüsselfaktoren zu identifizieren, die für die benthische Biodiversität prägend sind. Für diese Untersuchungen werden so genannte "free falling lander" Systeme eingesetzt und Langzeitexperimente durchgeführt. Neben schiffsgebundenen Arbeiten werden für Vermessungen und Beprobungen auch ROVs und AUVs eingesetzt.

Die Rolle der Permafrostküsten im arktischen System

Eisreiche Permafrostablagerungen arktischer Tiefländer reagieren sehr sensibel auf Klimaänderungen. Fernerkundung, GIS-Methoden und digitale Geländemodelle haben sich als hervorragende Werkzeuge erwiesen, um die durch Permafrostdegradation geprägten Küstenebenen der Laptevseeregion zu klassifizieren und die Veränderungen zu quantifizieren. Mit Hilfe von Landsat-7-Daten und Felddaten wurde

POL7: From Permafrost to the Deep Sea in the Arctic

The work package aims to identify and understand the key processes controlling Arctic coastal dynamics and especially the associated material fluxes and methane emissions and their role in the entire Arctic System. One objective is to study formation, pathways and fate of methane in different Arctic terrestrial and marine environments and to assess their contribution to the global methane cycle. We will extend our research into the arctic deep-sea to identify key factors governing functional benthic biodiversity from a biological, geological and geochemical perspective using free falling lander systems, long-term experiments and observations with ROVs and AUVs.

The role of permafrost coasts in the Arctic system

Ice-rich permafrost deposits of Arctic coastal lowlands are sensible to climatic changes. Remote sensing, GIS-methods and digital terrain models are efficient tools to classify the thermokarst affected coastal plain of the Laptev Sea region as well as to quantify the landscape dynamics. According to analyses of Landsat-7 and field data, up to 78 % of the coastal plain near the COAST drill transect is affected by permafrost degradation. This thawing results in increasing fluxes of sediment, freshwater and carbon to the hydrosphere and atmosphere, accelerated coastal retreat and changes of existing biocoenoses.

The surface in permafrost regions is characterized by a high spatial variability. This is manifested by the occurrence of patterned ground phenomena, such as

ermittelt, dass bis zu 78 % der Küstenebene nahe der COAST Bohrung von Permafrostdegradation betroffen sind. Das Auftauen führt zu erhöhtem Stoffeintrag (Sediment, Süßwasser, Kohlenstoff) in die Hydro- und Atmosphäre, zu beschleunigtem Küstenrückgang, sowie zu Veränderungen bestehender Biozönosen.

Ein wesentliches Merkmal von Permafrostlandschaften ist die Oberflächenstrukturierung durch Frostbodenformen, z.B. Polygone, Kreise oder Streifen. Die Bildung dieser Formen wird in erster Linie durch das Klima bestimmt, das eine Vielzahl kryopedogener Prozesse zur Folge hat. Demzufolge sind Frostbodenformen auch Zeiger von Klima- und Umweltveränderungen. Unsere Ziele sind (i) die quantitative Beschreibung der Frostbodenformen mittels geometrischer Funktionen aus der statistischen Physik und (ii) die Untersuchung der Wärme- und Wassertransportprozesse, die zur Bildung und Erhaltung der Strukturen führen.

Methan Budgets in der polaren terrestrischen und marinen Umwelt

Für das Verständnis und die Einschätzung der gegenwärtigen und zukünftigen terrestrischen Kohlenstoffdynamik in der sibirischen Arktis wurden zwei Expeditionen in das Lenadelta – LENA 04 und LENA 05 – durchgeführt, um die Methanflüsse sowie die mikrobiellen Prozesse und Lebensgemeinschaften in Permafrostböden zu studieren. Die Langzeituntersuchungen zum Kohlenstoffumsatz zeigten große Unterschiede in der Methanemission aus den unterschiedlichen Landschaftseinheiten im Permafrost, die zwischen 1 bis 362 mg Methan (CH₄) m⁻² d⁻¹ schwanken. Diese Unterschiede auf der Ökosystemskala konnten der unterschiedlichen Aktivität der beteilig-

polygons, sorted polygons and stripes. Environmental changes can possibly be identified by observing changes (such as surface changes and process changes) of these self organized natural systems. Thus our research focus is twofold: (i) quantitative geometric description of patterned ground surfaces and (ii) identification of seasonal and spatial behaviour of water, temperature and solute concentration within a soil pattern.

Methane Budgets in Terrestrial and Marine Polar Environments

During the past two years terrestrial environments were investigated in the Lena Delta and marine environments were studied by cruises to the Haakon Mosby Mud Volcano and coastal waters off Svalbard.

For the understanding and assessment of the recent and future terrestrial carbon dynamics of the Siberian Arctic two expeditions into the Lena Delta – LENA 04 and LENA 05 – were carried out to study the methane fluxes as well as the microbial processes and community structures in permafrost environments. The long-term studies on carbon turnover showed large differences in methane emission from the different permafrost landscapes varying between 1 to 362 mg CH₄ m⁻² d⁻¹. These differences on the ecosystem-level were attributed to the different activities of the involved microbial communities as well as of the plant-mediated CH₄ transport. The microbial community composition in the permafrost habitats was analyzed by fluorescence in situ hybridization (FISH) and RNA-based approaches, which indicated high cell numbers and a high diversity of the different investigated microbial groups. For the first

ten Gemeinschaften von Mikroorganismen sowie dem pflanzenvermittelten Methantransport zugeschrieben werden. Die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften in den Permafrosthabitaten wurde mittels Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) und RNA-basierten Methoden analysiert. Damit konnte eine hohe Anzahl und eine hohe Diversität für die unterschiedlichen Mikroorganismengruppen angezeigt werden. Erstmals konnte die Methanemission für das gesamte Lenadelta mit Hilfe von Fernerkundungs- und GIS-Methoden bilanziert werden. Die Untersuchungen zeigen, dass die jährliche Methanfreisetzung aus dem Lenadelta (nördlich von 70 °N) ungefähr 80 000 Tonnen beträgt. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Yukon-Kuskokwim-Delta, das in niedrigeren Breiten liegt (südlich von 65 °N). Es kann aus unseren Ergebnissen gefolgert werden, dass das Lenadelta eine wichtige Quelle des atmosphärischen Methans darstellt. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass die mikrobiellen Lebensgemeinschaften in Permafrosthabitaten von allen drei Domänen des Lebens (Bacteria, Archaea, Eukarya) gebildet werden, mit einer Biomasse, die mit Bodenökosystemen in gemäßigten Klimaten vergleichbar ist.

Der am Kontinentalhang der westlichen Barentssee gelegene Haakon Mosby Mud Volcano (HMMV) ist der einzige bisher bekannte aktive Schlammvulkan in hohen nördlichen Breiten. Während der Polarstern Expedition ARK-XIX3b wurde der HMMV mit dem ROV Victor 6000 untersucht. Hierbei wurden eine detaillierte mikrobathymetrische Vermessung mit einer vertikalen Auflösung von weniger als 10 Zentimeter durchgeführt und georeferenzierte Videomosaik des Meeresbodens aufgezeichnet. Die Videomosaik ermöglichen eine Kartierung der räum-

time the methane emission was balanced for the whole Lena Delta by using remote sensing and GIS methods. The investigations show that the annual methane release of the Lena Delta (north of 70 °N) amounts to about 80,000 tons, which is comparable for instance to the Yukon Kuskokwim Delta located in lower latitudes (south of 65 °N). It can be concluded from our results firstly that the Lena Delta represents an important source of atmospheric methane and secondly that the microbial communities in permafrost environments are composed by members of all three domains of life (Bacteria, Archaea, Eukarya), with a total biomass comparable to temperate soil ecosystems.

In the marine environment of the Håkon Mosby Mud Volcano (HMMV), located at the continental slope of the western Barents Sea fan, is the only active mud volcano reported for high northern latitudes. During a 'Polarstern' ARK-XIX3b, the HMMV was investigated by several dives with the Remotely Operated Vehicle Victor6000 (IFREMER). A high resolution microbathymetric map with a vertical resolution of better than 10 centimeters was derived during these dives and video streams of the bottom camera were converted into georeferenced mosaics. This provides a detailed image about the spatial distribution of seafloor features as chemoautotrophic bacterial mats, pogonophorans and mud flows. The activity of chemoautotrophic communities regulates the release of methane from the sediment into the bottom water. Based on spatial analysis of the georeferenced mosaics, different biogeochemical habitats were identified and quantified on a m² basis. Investigation of the flat area in the centre of HMMV revealed that approximately 16 % (115,165 m²) is nearly void

lichen Verteilung von chemoautotrophen Organismen wie Bakterienmatten und Pogonophoren („Röhrenwürmern“) sowie von Mud Flows. Die mikrobielle Aktivität dieser chemoautotrophen Vergesellschaftungen reguliert die Freisetzung von Methan aus dem Sediment in das Bodenwasser. Basierend auf der räumlichen Analyse der georeferenzierten Videomosaik wurden unterschiedliche biogeochemische Habitats identifiziert und deren Flächen und Nachbarschaftsbeziehung analysiert. Die Untersuchung der nahezu ebenen Region im Zentrum von HMMV zeigte, dass ungefähr 16 % der Fläche (115 165 m²) nahezu unbesiedelt von benthischen Organismen ist. Für diesen Bereich sind die höchsten Methanfreisetzungsraten zu verzeichnen. Im süd-östlichen Bereich des HMMV ist eine Fläche von ca. 5 % (38,244 m²) dicht mit *Beggiatoa* besiedelt. Der hügelige Randbereich von HMMV ist vorwiegend mit Pogonophoren (37.3 % auf 276,121 m²) und nur vereinzelt mit *Beggiatoa* besiedelt. Unsere geochemischen und hydro-akustischen Untersuchungen zeigen, dass Gasblasen vom Meeresboden aufsteigen. Hierbei handelt es sich um Methangasblasen, die mit einer dünnen Hülle von Gashydrat ummantelt sind. Die „Gas-Plumes“ steigen vom Meeresboden aus 1250 Metern Wassertiefe um mehr als 750 Metern auf. Diese Tiefe entspricht der Obergrenze des Methanhydrat-Stabilität Feldes. Es ist anzunehmen, dass ein Teil des freigesetzten Methans in das Oberflächenwasser und anschließend in die Atmosphäre transportiert wird.

*of any benthic communities. This area is considered as a region of high methane discharge into the bottom water. An area of 5% (38,244 m²), located in the south-eastern part, is densely inhabited by *Beggiatoa*. The hummocky outer part is colonised dominantly by pogonophoran tube worms (37.3%; 276,121 m²) and only occasionally by *Beggiatoa*.*

Our geochemical and hydro-acoustic observations revealed the discharge of gas hydrate-coated methane bubbles and gas hydrate flakes forming huge methane plumes extending from the seabed at a depth of 1250 meters up to 750 meters above ground into the water column. This depth coincides with the upper limit of the temperature-pressure field of gas hydrate stability. This suggests that a significant portion of the methane from the discharged methane bubbles can reach the upper water column and may be transported towards the surface and released into the atmosphere.

Benthic Diversity and Fluxes in the Polar Deep-Sea

One of the hypotheses we follow is that small-scale biogeochemical and physical gradients at the sediment-water interface, to a yet unknown extent influenced or even generated by large motile organisms (biogenic engineering), lead to a persistent mosaic of microhabitats allowing coexistence of numerous species especially at small spatial scales. Our recent results on the influence of deep-sea sponges (as an example of a biogenic structure) on the small-scale distribution pattern of benthic deep-sea nematodes clearly support these considerations. The comparison of the nematode communities from sponge samples and control samples (without sponges) shows an influence of the “sponge” biogenic structure on the

Benthische Diversität and Flüsse in der polaren Tiefsee

Eine unserer Hypothesen geht davon aus, dass hohe Biodiversität in der Tiefsee durch kleinskalige biogeochemische und physikalische Gradienten an der Sediment-Wasser-Grenzschicht begünstigt bzw. hervorgerufen wird. Zu einem bislang unbekanntem Grad führt die Grab- und Wühlaktivität, aber auch das Vorhandensein größerer Makrofaunaorganismen zu einem langlebigen Mosaik von Mikrohabitaten. Diese relativ dicht beieinander liegenden Mikrohabitate können ihrerseits die Koexistenz zahlreicher Arten auf kleinen räumlichen Skalen erklären. Neue Ergebnisse unserer Arbeiten zum Einfluss von Tiefseeschwämmen (als ein Beispielorganismus für biogene Strukturen) auf kleinskalige Verteilungsmuster von benthischen Nematoden bestätigen diese Überlegungen. Der Vergleich der Nematoden-Gemeinschaften aus Kontroll- und Schwammprobenkernen zeigt einen Einfluss der biogenen Struktur „Schwamm“ auf Diversitätsmuster und Lebensraum-Heterogenität. Die funktionelle Struktur der Nematodengemeinschaft aus den Kontroll- und Schwammkernen unterscheidet sich vor allem in den Fraß- und Körperformtypen. Tendenziell sind in den Schwammkernen selektive Partikelfresser mit interstitieller Lebensweise und in den Kontrollkernen nicht-selektive Partikelfresser mit grabender Lebensweise häufiger. Insgesamt zeigt die Nematodengemeinschaft aus den Schwammkernen eine höhere funktionelle Divergenz und damit einen höheren Grad an Nischenaufteilung.

diversity pattern and the habitat heterogeneity. The functional structure of the nematode communities from sponge and control cores differs mainly in feeding and bodyform types. On average there is a higher proportion of selective deposit feeders with a rather interstitial life style in the sponge core communities, whereas in the control core communities non-selective deposit-feeders with a burrowing life style are more abundant. Overall the nematode communities from the sponge samples show a higher functional divergence and thus a higher degree of niche differentiation.